

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование защитных свойств ингибирующего покрытия на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали в коррозионных средах

УДК : 669.15-194.2:620.197.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цзян Шуай		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Дубинина О.В.	к.х.н		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Дубинина О.В.	к.х.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И. В.	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД, ИШНКБ	Сечин А. И.	д.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель специализации «Наноструктурные материалы»	Г.В.Лямина	к.т.н.		

**Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FЗадачи... EANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 Г.В.Лямина
 (Ф.И.О.)

 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Цзян Шуай

Тема работы:

Исследование защитных свойств ингибирующего покрытия на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали в коррозионных средах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 32-49/С от 01.02. 2022
Срок сдачи студентом выполненной работы:	8 июня 2022 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать ингибирующие свойства глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выполнить литературный обзор по направлениям: изучение литературы, посвященное рассмотрению классификации ингибиторов коррозии, факторам, определяющим защитные свойства ингибиторов коррозии и современным ингибиторам коррозии на основе глюконата кальция. 2. Подобрать оптимальную концентрацию ингибитора, чтобы обеспечить высокие защитные свойства для стали в коррозионных средах. 3. Оценить защитные свойства ингибитора в процессе травления низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах методом гравиметрии. 4. Оценить морфологию поверхности стали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. 5. Оценить защитные свойства ингибитора, методом потенциометрии.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И. В., доцент, к.т.н
Социальная ответственность	Сечин А. И., профессор ОКД, ИШНКБ, д.т.н
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2022г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дубинина О.В	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цзян Шуай		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
154Б82		Цзян Шуай	
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>		<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>		<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>		<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>		<i>Анализ конкурентоспособности</i>	
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>		<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>	
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>		<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>	
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>		<i>Интегральный показатель ресурсоэффективности.</i>	
Перечень графического материала			
1. Оценка конкурентоспособности ИР			
2. Матрица SWOT			
3. Диаграмма Ганта			
4. Бюджет НИ			
5. Основные показатели эффективности НИ			
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			13.04.2022 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цзян Шуай		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
154Б82		Цзян Шуай	
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Исследование защитных свойств ингибирующего покрытия на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали в коррозионных средах	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: Ингибитор коррозии на основе глюконата кальция для защиты низкоуглеродистой стали в агрессивных средах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. 5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2022 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А. И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цзян Шуай		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы Отделение материаловедения
 Уровень образования: бакалавриат
 Период выполнения: весенний семестр 2021/2022 учебного года
 Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:		8.06.2022 г.
Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2022	1. Литературный обзор по теме бакалаврской работы	20
15.04.2022	2. Выполнение эксперимента по теме работы	20
15.05.2022	3. Обсуждение результатов и оформление работы	35
10.05.2022	Финансовый менеджмент	15
10.05.2022	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Дубинина О.В.	к.х.н.		10.02.22

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Г.В.Лямина	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 95 с., 43 рис., 28 табл., 48 источников.

Ключевые слова: коррозионная среда, низкоуглеродистая сталь, коррозия металлов, потенциометрия, граница раздела.

Объектом исследования является: низкоуглеродистая сталь Ст3

Цель работы – исследовать защитные свойства ингибитора коррозии на основе глюконата кальция для низколегированной стали Ст3 в коррозионных средах.

В процессе исследования проводились: изучение литературы, посвященное рассмотрению классификации ингибиторов коррозии, факторам, определяющим защитные свойства ингибиторов коррозии и современным ингибиторам коррозии на основе глюконата кальция; оценка защитных свойств глюконата кальция для стали Ст3 в коррозионных средах методами гравиметрии, потенциометрии и испытаниями во влажной камере.

Методы исследования: гравиметрия, оптическая микроскопия, растровая электронная микроскопия, потенциометрия, исследование коррозионных свойств во влажной камере.

В результате исследований оценены защитные свойства ингибитора коррозии на основе глюконата кальция (коммерческого и полученного методом распылительной сушки) для низкоуглеродистой стали Ст3 методами гравиметрии, потенциометрии и испытание во влажной камере. Установлено, что в различных коррозионных средах в присутствии Са-ГК скорость коррозии стали Ст3 снижается. Добавка частиц коммерческого Са-ГК позволяет в 1,5 раза увеличить коррозионную устойчивость стали в кислой среде, в 1,03 раз в щелочной среде и в 1,09 раза нейтральной среде.

Степень реализации: НИР

Сфера применения: данное исследование представляет интерес для предприятий, активно эксплуатирующих изделия из низкоуглеродистой стали Ст3.

Экономические преимущества: исследование защитных свойств глюконата кальция является экономически выгодным, так как он изготавливается из дешевого, доступного сырья, производимого на территории Российской Федерации.

Список условных сокращений

РЭМ – растровая электронная микроскопия

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

Са-ГК – кальция глюконат

ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота

ИОВ – искусственно-созданная охлаждающая вода

ЦТАБ – катионное поверхностно-активное вещества N-гексадецил-N, N, N-триметиламмонийбромид

ИК – инфракрасная спектроскопия

УФ – ультрафиолетовая спектроскопия

ГЗДК-1 – гидроксизтан-1, дифосфорной кислоты

ЭИ – эффективность ингибирования

ПАВ – поверхностно-активное вещество

РС – распылительная сушка

НЧ - наночастицы

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	14
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Классификация ингибиторов коррозии.....	15
1.1.1 Ингибиторы анодной коррозии.....	16
1.1.2 Ингибиторы катодной коррозии.....	16
1.1.3 Смешанные ингибиторы коррозии.....	17
1.1.4 Органические ингибиторы коррозии.....	17
1.1.5 Неорганические ингибиторы коррозии.....	18
1.1.6 Полимерные ингибиторы коррозии.....	19
1.1.7 Ингибиторы коррозии оксидно-пленочного типа.....	20
1.1.8 Ингибиторы коррозии в виде осажденной пленки.....	20
1.1.9 Ингибиторы коррозии абсорбирующего пленочного типа.....	21
1.2 Факторы, определяющие защитные свойства ингибиторов коррозии.....	21
1.3 Современные ингибиторы коррозии.....	22
1.4 Ингибиторы на основе глюконатов.....	23
1.4.1 Ингибирование коррозии низкоуглеродистой стали глюконатом кальция в искусственной охлаждающей воде.....	23
1.4.2 Эффект ингибирования коррозии глюконатом кальция на примере низкоуглеродистой стали в искусственной морской воде.....	24
1.4.3 Анतिकоррозийное и вычислительное исследование низкоуглеродистой стали в соляной кислоте с использованием глюконата кальция в качестве ингибитора.....	26
1.4.4 Влияние катионного поверхностно-активного вещества на эффективность ингибирования системы глюконат кальция - Zn^{2+}	29
1.4.5 Усиленное синергетическое ингибирование глюконата кальция в разбавленных кислых средах.....	31

1.4.6	Влияние 1-гидроксиэтана-1,1-дифосфоновой кислоты на ингибирующие свойства глюконата кальция для защиты низкоуглеродистой стали.....	34
1.4.7	Глюконат кальция, как ингибитор коррозии для алюминия.....	35
1.4.8	Влияние природы катионов металлов на ингибирующие свойства глюконатов для защиты низкоуглеродистой стали в коррозионной среде.....	38
1.4.9	ПАВ на основе комплекса из глюконата кальция с экстрактом картофеля (<i>Solanum Tuberosum</i>), как ингибитор коррозии для нержавеющей стали в кислой среде.....	41
1.5	Методология эксперимента.....	43
2.	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ.....	45
2.1	Приборы и материалы.....	45
2.2	Объекты исследования.....	45
2.3	Методика подготовки образцов и ингибиторов.....	46
2.4	Методы исследования.....	46
3.	РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	48
3.1	Гравиметрические испытания.....	48
3.2	Потенциометрические испытания.....	50
3.2.1	Ингибитор коррозии на основе коммерческого Са-ГК.....	50
3.2.2	Ингибитор коррозии на основе Са-ГК, полученного методом распылительной сушки.....	52
3.3	Корреляция результатов потенциометрических испытаний.....	54
3.4	Коррозионные диаграммы для стали с ингибитором коррозии.....	55
3.5	Коррозионные испытания в атмосфере солевого тумана.....	57
4.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	59
	Введение.....	59
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	59

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	59
4.1.2 SWOT-анализ.....	61
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	64
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	64
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	65
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	68
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	68
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	68
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	69
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
4.3.5 Накладные расходы.....	71
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	73
4.5 Выводы по разделу.....	76
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	77
Введение.....	77
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	77
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	77
5.2 Производственная безопасность.....	78
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	79
5.2.1.1 Анализ показателей шума.....	79
5.2.1.2 Анализ показателей микроклимата.....	80
5.2.1.3 Анализ электробезопасности.....	82
5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны.....	83
5.3 Экологическая безопасность.....	84

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
5.5 Выводы по разделу.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	88
ВЫВОДЫ.....	89
СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ.....	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	91

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня, одной из важнейших научно-технических проблем является коррозия металлического оборудования и установок, применяемых в технологических процессах, при воздействии на них агрессивных (коррозионно-активных) сред. Острота этой проблемы возрастает ввиду того, что темп роста коррозионных потерь значительно превышает темпы роста производства металлов

В настоящее время существует множество способов снижения скорости коррозии, таких, как анодное покрытие, а также ингибиторы коррозии. Наиболее распространенным способом ингибирования является использование ингибитора коррозии в коррозионной среде. Ингибиторы коррозии – это химические вещества, которые изменяют и/или подавляют электрохимические свойства и механизмы реакции агрессивных сред в дополнение к их реакции с металлическими поверхностями, подверженными воздействию окружающей среды. Исследования показали, что экологически чистые, нетоксичные органические производные являются подходящей альтернативой токсичным хроматам, нитратам и некоторым органическим соединениям, которые доминировали на рынке ингибиторов коррозии.

Глюконаты и глюконовая кислота являются эффективными нетоксичными ингибиторами коррозии для изделий из железа и углеродистой стали. Соли натрия, кальция и цинка глюконовой кислоты являются перспективными ингибиторами коррозии для конструкций из олова, железа и углеродистой стали в кислых средах, благодаря своей способности образовывать растворимые комплексы с железом, препятствуя формированию труднорастворимых оксидов железа

Цель работы – исследовать защитные свойства ингибитора коррозии на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В связи с выбранной темой исследования в литературном обзоре были описаны следующие направления: классификация ингибиторов коррозии, факторы, влияющие на их защитные свойства, современные ингибиторы коррозии, ингибиторы на основе глюконатов металлов.

1.1. Классификация ингибиторов коррозии

Ингибиторы коррозии можно классифицировать по-разному: по методам их применения, по механизму защиты или по составу. Например, по химической функции ингибитора его можно разделить на неорганические ингибиторы, органические ингибиторы и смешанные ингибиторы (рис. 1.1). В зависимости от различных механизмов защиты ингибитор коррозии может быть: анодный, катодный или смешанный [1]. Однако на сегодняшний день наиболее популярная организационная схема состоит из перегруппировки ингибиторов коррозии в функциональную схему: ингибитор анодной коррозии, ингибитор катодной коррозии, органический ингибитор коррозии, ингибиторы преципитации, летучие ингибиторы коррозии [2].

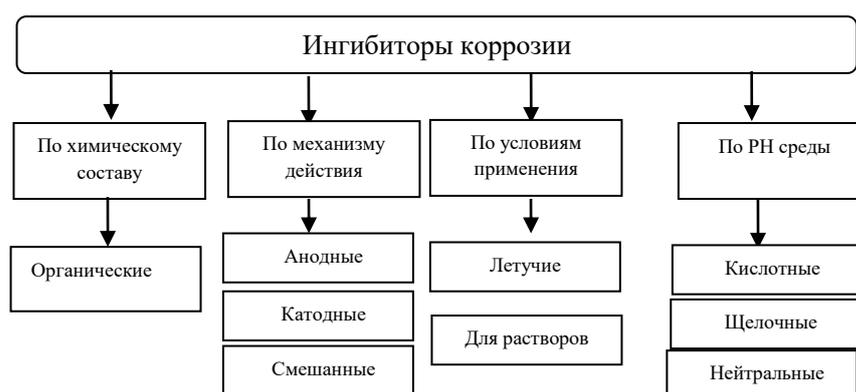


Рисунок 1.1 – Классификация ингибиторов коррозии.

1.1.1 Ингибиторы анодной коррозии

Ингибитор анодной коррозии – это ингибитор коррозии, который снижает скорость коррозии, ингибируя поверхность реакции анода в процессе коррозии. Анодные ингибиторы вызывают большой анодный сдвиг потенциала коррозии, переводя металлическую поверхность в область пассивирования. Существует два типа анодных ингибиторов: окисляющие анионы, такие как хромат, нитрит и нитрат, которые могут пассивировать сталь в отсутствие кислорода, и неокисляющие ионы, такие как фосфат, вольфрамат и молибдат, которые требуют присутствия кислорода для пассивирования стали [2].

Эти ингибиторы являются наиболее эффективными и, следовательно, наиболее широко используемыми. Ингибиторы на основе хромата являются наименее дорогостоящими ингибиторами и до недавнего времени использовались в самых разных областях (например, в системах рециркуляции и охлаждения двигателей внутреннего сгорания, выпрямителях, холодильных установках и градирнях).

1.1.2 Ингибиторы катодной коррозии

Ингибитор катодной коррозии – это ингибитор коррозии, который подавляет катодный процесс и снижает скорость коррозии. Этот вид ингибитора коррозии может увеличить скорость поляризации катодной поляризационной кривой, в то время как анодная поляризационная кривая почти не изменяется, так что потенциал коррозии перемещается в отрицательном направлении, а ток коррозии уменьшается. Катодные ингибиторы либо замедляют саму катодную реакцию, либо выборочно осаждаются на катодных областях, чтобы увеличить поверхностный импеданс и ограничить диффузию восстанавливаемых частиц в эти области. Катодные ингибиторы могут обеспечивать ингибирование за счет трех различных механизмов: в виде катодных осадков; как поглотители кислорода т.д. [3].

Некоторые катодные ингибиторы, такие как соединения мышьяка и сурьмы, работают, затрудняя рекомбинацию и выделение водорода. Другие катодные ингибиторы, ионы, такие как кальций, цинк или магний, могут осаждаться в виде оксидов с образованием защитного слоя на металле. Поглотители кислорода помогают подавить коррозию, предотвращая катодную деполяризацию, вызванную кислородом. Наиболее часто используемым поглотителем кислорода при температуре окружающей среды, вероятно, является сульфит натрия (Na_2SO_3) [4].

1.1.3 Смешанные ингибиторы коррозии

Некоторые азотсодержащие, серо- или гидроксилсодержащие органические ингибиторы коррозии с поверхностной активностью имеют две противоположные полярные группы в своих молекулах, которые могут адсорбироваться на чистых металлических поверхностях с образованием мономолекулярных пленок. Он предотвращает диффузию растворенного кислорода в воде и воде к поверхности металла и играет роль ингибитора коррозии. К этому типу ингибиторов коррозии относятся меркаптобензотиазол, бензотриазол, гексадециламин и др. [5].

1.1.4 Органический ингибитор коррозии

Поскольку химический состав ингибитора коррозии в основном органический, он называется органическим ингибитором коррозии. Органический ингибитор коррозии в основном защищает металл, образуя пленку на поверхности металла. Принцип действия ингибитора имеет три стадии [6]:

(1) Полярный ион, который может адсорбироваться на поверхности металла, образуя мономолекулярную пленку по всей площади анода и катода, тем самым предотвращая или замедляя возникновение электрохимических реакций. Амины, называемые «мембранными аминами», такие как жирный

амин, цетиламин и стеариламин, являются обычными ингибиторами коррозии адсорбционных мембран при очистке воды [7].

(2) Гидрофильные, так и гидрофобные группы, такие как определенные азотсодержащие, серосодержащие или гидроксилсодержащие органические соединения с поверхностной активностью. Молекулы этих соединений адсорбируются на поверхности металла с помощью гидрофильных групп (например, аминогрупп). Образуется плотная гидрофобная пленка, защищающая поверхность металла от водной коррозии. Ингибиторы фосфиновой коррозии в основном основаны на этом принципе [8].

(3) Образуют комплекс с металлом, а затем образуют пленку на поверхности. Такие азолы, как хинолин, ЭДТА, меркаптобензотиазол, бензотриазол и толилтриазол, являются идеальными ингибиторами коррозии цветных металлов (особенно для меди) [9].

В присутствии органических ингибиторов иногда наблюдаются как анодный, так и катодный эффекты, но, как правило, органические ингибиторы воздействуют на всю поверхность корродирующего металла, когда присутствуют в достаточной концентрации. Органические ингибиторы, обычно называемые пленкообразующими, защищают металл, образуя гидрофобную пленку на поверхности металла. Их эффективность зависит от химического состава, их молекулярной структуры и их сродства к поверхности металла.

1.1.5 Неорганические ингибиторы коррозии

Среди неорганических соединений вещества, которые могут окислять поверхность металла и образовывать пассивацию на поверхности металла с образованием однородной, плотной и нерастворимой осажденной пленки, все из которых могут стать неорганическими ингибиторами коррозии [10].

Неорганические ингибиторы коррозии включают:

(1) Вещества, образующие пассивирующую защитную пленку, в основном представляют собой соединения, содержащие анионы типа MeO_4^- ,

такие как Na_2WO_4 , Na_3PO_4 , K_2CrO_4 , Na_2MoO_4 , Na_3VO_4 и т. Д., В дополнение к NaNO_3 , NaNO_2 и другим веществам.

(2) Вещества, образующие пленку осаждения нерастворимых солей. Этот тип ингибитора коррозии включает полифосфат, силикат, бикарбонат, OH^- и т.д. В основном они сочетаются с ионами кальция и ионами железа в воде для образования отложений нерастворимых солей в катодной области для предотвращения коррозии.

(3) Активные анионы – это в основном неорганические соединения, содержащие Cl^- , Br^- , I^- , HS^- , SCN^- и т.д. Они могут оказывать лишь ограниченное ингибирование коррозии при использовании по отдельности, но при использовании в сочетании с другими ингибиторами коррозии они обладают синергическим действием эффект для получения ингибиторов коррозии промышленного значения [11].

1.1.6 Полимерные ингибиторы коррозии

Ингибиторы полимерной коррозии включают полиэтилен, полиаспарагиновую кислоту и другие олигомерные полимерные химические вещества [12].

Полимеры использовались в качестве ингибиторов коррозии в течение долгого времени. Ингибиторы коррозии травления стали, такие как крахмал, сироп, яичный белок, яичный желток и различные натуральные клеи, используемые в первые дни, являются природными полимерными материалами. Акация, растворимый крахмал, агар и другие полимерные полисахаридные соединения могут использоваться в качестве ингибиторов коррозии алюминия в щелоче, а эффективность ингибирования коррозии составляет более 80%. В последние годы продолжает появляться множество новых полимерных ингибиторов коррозии, демонстрирующих превосходные свойства ингибирования коррозии.

1.1.7 Ингибиторы коррозии оксидно-пленочного типа

Хромат, нитрит, молибдат, вольфрамат, ванадат, ортофосфат, борат и т.д. Считаются ингибиторами коррозии типа оксидной пленки. Хромат и нитрит являются сильными окислителями, которые могут реагировать с металлом без помощи растворенного в воде кислорода, образуя плотную оксидную пленку на анодной области поверхности металла. Остальные, либо из-за их слабой окислительной способности, либо потому, что они не являются окислителями, нуждаются в помощи кислорода для образования оксидной пленки на поверхности металла. Поскольку эти ингибиторы коррозии типа оксидной пленки достигают ингибирования коррозии путем ингибирования анодного процесса реакции коррозии, эти ингибиторы анодной коррозии могут реагировать с ионами металлов на аноде с образованием оксидов или оксихлоридов. Нанесение покрытия на анод с образованием защитной пленки. Например, хромат реагирует на аноде с образованием $\text{Cr}(\text{OH})_3$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. После дегидратации он становится смесью CrO_3 и Fe_2O_3 (в основном $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) с образованием защитной пленки на аноде [13].

1.1.8 Ингибиторы коррозии типа осажденной пленки

Карбонат, фосфат и гидроксид цинка, а также карбонат и фосфат кальция являются наиболее распространенными ингибиторами коррозии типа осадочной пленки. Поскольку они образуются в результате реакции цинка, катионов кальция и анионов карбоната, фосфата и гидроксида в воде в катодной зоне поверхности металла с образованием пленки, их также называют ингибиторами катодной коррозии. Ингибитор катодной коррозии может реагировать с родственными ионами в воде, и продукт реакции осаждается на катоде с образованием пленки; взяв в качестве примера соль цинка, он вызывает осаждение $\text{Zn}(\text{OH})_2$ на катоде, которое действует как защитная пленка [13].

1.1.9 Ингибиторы коррозии абсорбирующего пленочного типа

Ингибиторы коррозии типа адсорбционной пленки в основном представляют собой органические ингибиторы коррозии, которые имеют гены полярности и могут адсорбироваться поверхностным зарядом металла с образованием мономолекулярной пленки во всей анодной и катодной областях, тем самым предотвращая или замедляя соответствующую электрохимическую реакцию. Например, некоторые азотсодержащие, серосодержащие или гидроксилсодержащие органические соединения с поверхностной активностью имеют две группы с противоположными свойствами в молекуле: гидрофильные группы и липофильные группы. Молекулы этих соединений адсорбируются на поверхности металла гидрофильными группами (например, аминогруппами) с образованием плотной гидрофобной пленки, защищающей поверхность металла от водной коррозии [14].

1.2 Факторы, определяющие защитные свойства ингибиторов коррозии

Влияние скорости потока

Когда ингибитор коррозии плохо диффундирует и влияет на защитный эффект, увеличение скорости потока среды может заставить ингибитор коррозии равномерно расширяться до поверхности металла, что помогает увеличить скорость ингибирования коррозии. Когда скорость потока увеличивается, скорость ингибирования коррозии может уменьшаться или увеличиваться, а скорость потока увеличивается, увеличивая коррозию, в результате чего ингибитор коррозии становится активатором коррозии. Влияние скорости потока среды на скорость ингибирования коррозии будет меняться в противоположном направлении при изменении концентрации [15].

Эффект концентрации

При фактическом использовании, с точки зрения принципа экономии, следует полностью учитывать эффект защиты и расход ингибиторов коррозии, чтобы подтвердить, что существует предел зависимости между скоростью

действия ингибитора коррозии и концентрацией фактического количества ингибитора коррозии. то есть ингибирование коррозии при определенной концентрации. Эффект является наилучшим, слишком низкая или слишком высокая концентрация снизит скорость ингибирования коррозии [15].

Влияние температуры

Поскольку температура среды снижает количество растворенного кислорода на поверхности, это может в определенной степени снизить скорость реакции отрицательного электрода.

Влияние pH раствора

Например, ингибирующие анионы эффективны в предотвращении коррозии железа только при более щелочных значениях pH, чем критическое значение. Этот критический pH зависит от аниона.

1.3 Современные ингибиторы коррозии

В прошлом ингибиторы коррозии обладали низкой эффективностью ингибирования, высокой токсичностью, небольшим количеством типов и неудобным применением. Современные ингибиторы коррозии во многом решают такие проблемы. Например, ионные жидкости (ИЖ), как экологически чистые и устойчивые соединения, препятствуют коррозии в различных средах. Исследованы эффекты ингибирования коррозии ингибиторов ИЖ на основе имидазолия, триазолия, тиазолия, индолия, пирролидиния, пиридиния, пиколиния, пиперидиния, тиазиния, пиридазиния, аммония, аминокислоты, фосфония, хитозана, акриламида и сульфония [16]. Это благородные, многообещающие, экологически безопасные ингибиторы коррозии. Степень ингибирования коррозии может достигать 99%.

1.4 Ингибиторы на основе глюконатов металлов

1.4.1 Ингибирование коррозии низкоуглеродистой стали глюконатом кальция в искусственной охлаждающей воде

В этой статье проводится эксперимент для изучения эффекта ингибирования коррозии глюконатом кальция на сталь [17]. Было исследовано ингибирование коррозии мягкой стали глюконатом кальция в искусственно-созданной охлаждающей воде (ИОВ), содержащей ионы хлора.

На рисунке 1.2 показано влияние концентрации глюконата кальция на потенциал коррозии после 1 часа погружения. Потенциал коррозии резко возрастал с увеличением концентрации Са-глюконата до 250 ppm, а затем выравнивался для pH 6 и выше. При pH=2 и 4 потенциал коррозии медленно снижался с увеличением концентрации глюконата кальция. При одинаковой концентрации Са-глюконата E_{corr} было выше при более высоким pH.

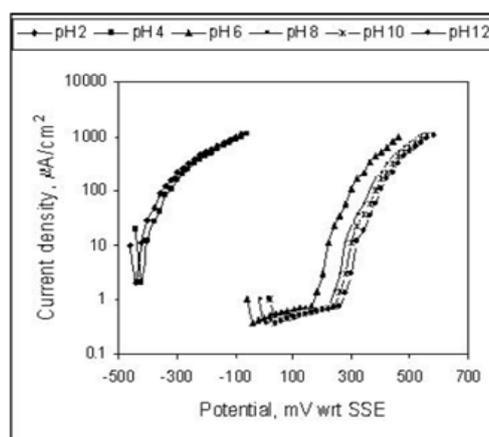
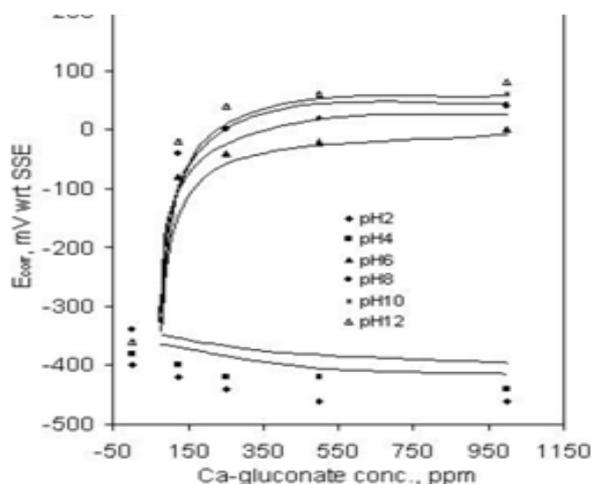


Рисунок 1.2 – Влияние концентрации Са-глюконата на E_{corr} низкоуглеродистой стали, время выдержки 1 час.

Рисунок 1.3 – Влияние pH на анодное потенциодинамическое поведение низкоуглеродистой стали в ИОВ, содержащей Са-глюконат, время выдержки 24 часа.

Поскольку глюконат кальция известен, как ингибитор анодной коррозии, следовательно, увеличение потенциала коррозии является показателем ингибирования коррозии. Таким образом, глюконат кальция работает, как ингибитор коррозии при pH 6 и выше в стоячей ИОВ и усугублял коррозию при

pH 4 или ниже. Потенциодинамический режим исследования низкоуглеродистой стали в ИОВ, содержащей Са-глюконат при pH 4, демонстрирует высокие значения токов при возрастании потенциала, что является признаком протекания активной коррозии.

На рисунке 1.3 показано влияние pH на анодное потенциодинамическое поведение низкоуглеродистой стали в ИОВ, содержащей 250 ppm Са-глюконата. Расширение диапазона процессов пассивации с увеличением pH наблюдается по мере того, как потенциал смещается в сторону более положительных значений. Эти результаты показывают, что Са-глюконат является ингибитором коррозии для низколегированной стали в стоячей ИОВ при pH 6 и выше, и ингибирующая активность возрастает с увеличением концентрации Са-глюконата.

Можно сделать вывод, он препятствует коррозии низкоуглеродистой стали в почти нейтральных и щелочных средах (при pH 6 и выше) и ускоряет коррозию в кислых средах (при pH 4 и ниже).

1.4.2 Эффект ингибирования коррозии глюконатом кальция на примере низкоуглеродистой стали в искусственной морской воде [18]

В этой статье на примере низкоуглеродистой стали в искусственной морской воде (3,5% NaCl) эффекты ингибирования коррозии глюконатом кальция (ГК) при концентрациях 0,75%, 1,25%, 1,75% и 2,25% изучаются с использованием потенциодинамической поляризации и методами взвешивания.

Результаты потенциодинамической поляризации показаны на рисунке 1.4. Скорость коррозии стали без ГК составляет 1,56 мм/год, что соответствует плотности тока коррозии $1,37 \times 10^{-4}$ А/см² из-за электрохимического действия анионов Cl⁻ в электролите, ответственного за окисление поверхности стали, как показано на рисунке 1.4. Механизм является автокаталитическим, потому что повышенная кислотность ускоряет скорость растворения внутри углублений.

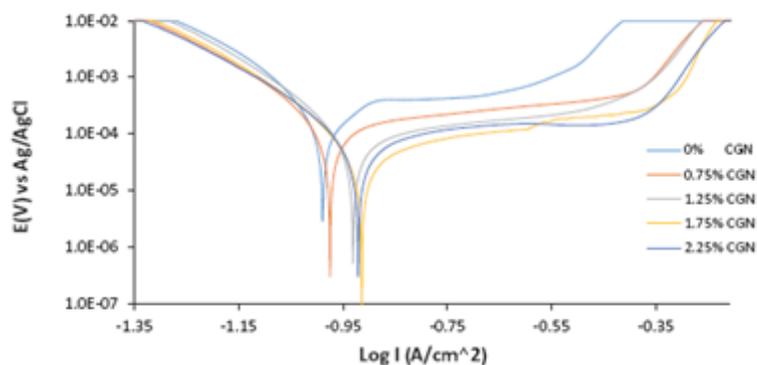


Рисунок 1.4 – Графики потенциодинамической поляризации для ингибирования коррозии стали в искусственной морской воде при концентрации ГК 0-2,25%.

Участки пассивации на поляризационных графиках в присутствии определенных концентраций ГК значительно шире, чем график без ГК, что подтверждает анодное ингибирующее действие ГК на поверхность стали (рис. 1.5). Наличие области пассивации подтверждает покрытие поверхности стали молекулами ГК. Это утверждение дополнительно подтверждается наклоном

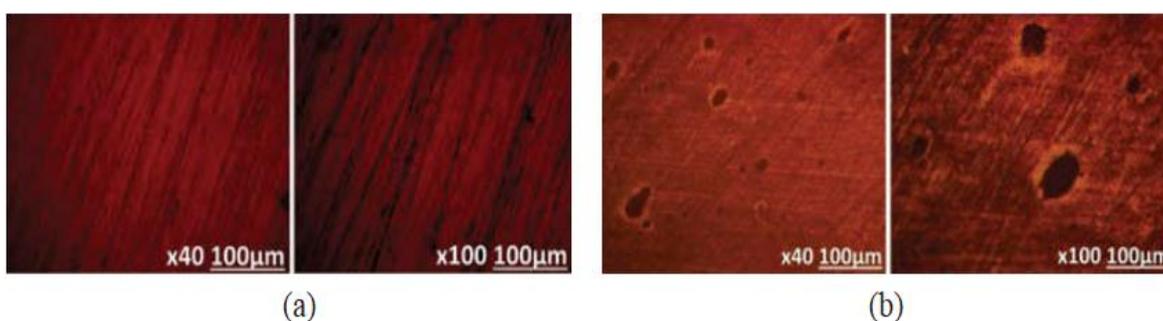


Рисунок 1.5 – Оптические микроскопические изображения (a) поверхности стали до испытания на коррозию и (b) поверхности стали после коррозии в искусственной морской воде без ГК

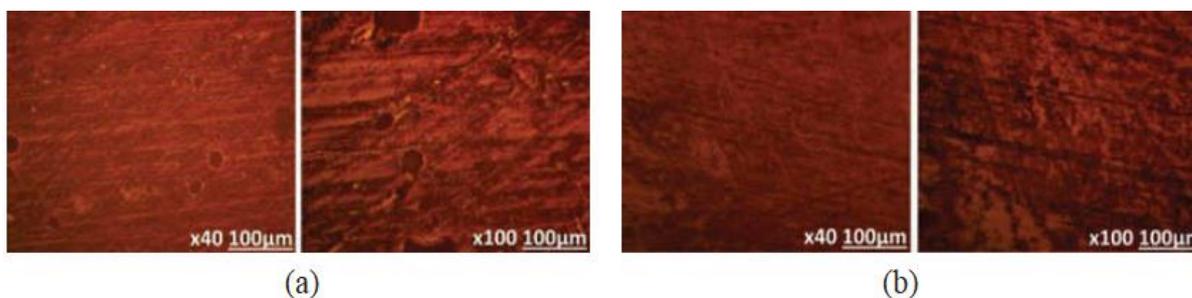


Рисунок 1.6 – Оптические микроскопические изображения поверхности стали в искусственной морской воде при (a) 0,75% ГК и (b) 2,25% ГК

анодных кривых, представленных в координатах Тафеля, которые показывают, что механизм анодного ингибирования связан с покрытием поверхности и осаждением на анодных участках стали ингибитора ГК.

Оптические микроскопические изображения поверхности стали до коррозии и после испытания на коррозию в искусственной морской воде без соединения ГК показаны на рисунке 1.5 (а, б). На рисунке 1.6 (а, б) представлены оптические микроскопические изображения поверхности МС после коррозии в искусственной морской воде при концентрации 0,75% ГК и 2,25% ГК. Оптическое изображение стали (рис. 1.6 а) представляет собой небольшое улучшение изображения рисунка 1.5 б, с меньшим количеством коррозионных углублений и меньшим износом поверхности. Степень морфологического износа на рисунке 1.6 б значительно ниже, зубчатые края из-за механической обработки хорошо видны, а коррозионные язвы полностью отсутствуют.

Результат измерения потери массы стали показал, что эффективность ингибирования ГК при концентрации 0,75% довольно низкая (33%) и не может существенно повлиять на защиту стали от коррозионных анионов Cl^- в искусственной морской воде. Дальнейшее увеличение концентрации ГК (1,25% ГК – 2,25% ГК) понизило значения скорости коррозии стали до 0,00009 мм/год, 0,00002 мм/год и 0,00006 мм/год через 216 часов. Эти значения соответствуют эффективности ингибирования при конечной эффективности ингибирования 90,97%, 97,87% и 94,58%, что означает эффективное ингибирование поверхности стали глюконатом кальция в искусственной морской воде.

1.4.3 Антикоррозийное и вычислительное исследование низкоуглеродистой стали в соляной кислоте с использованием глюконата кальция в качестве ингибитора [19]

В данной статье исследуется коррозионное воздействие глюконата кальция на низкоуглеродистую сталь в среде соляной кислоты. В соответствии

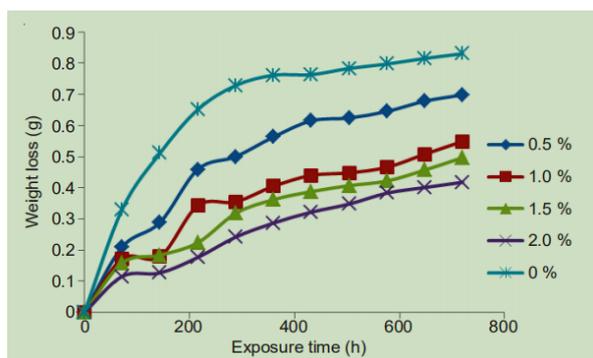


Рисунок 1.7 – Влияние глюконата кальция на потерю массы низкоуглеродистой стали в растворе HCl

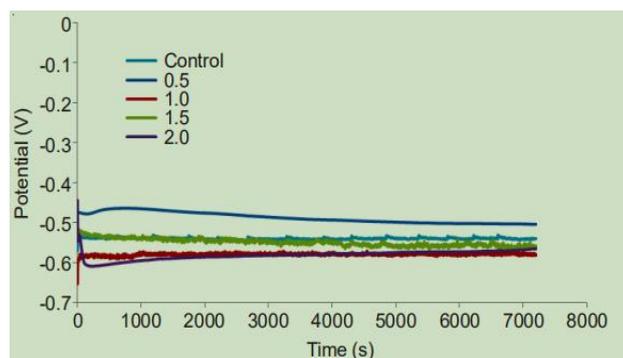


Рисунок 1.8 – Зависимость потенциала разомкнутой цепи от времени для стали с глюконатом кальция и без в 0,5 М растворе HCl.

с полученными результатами, при всех концентрациях, когда количество глюконата кальция увеличивается, скорость коррозии уменьшается. Результаты показывают, что образец с 2,0% об. ингибитора коррозии имеет наименьшую

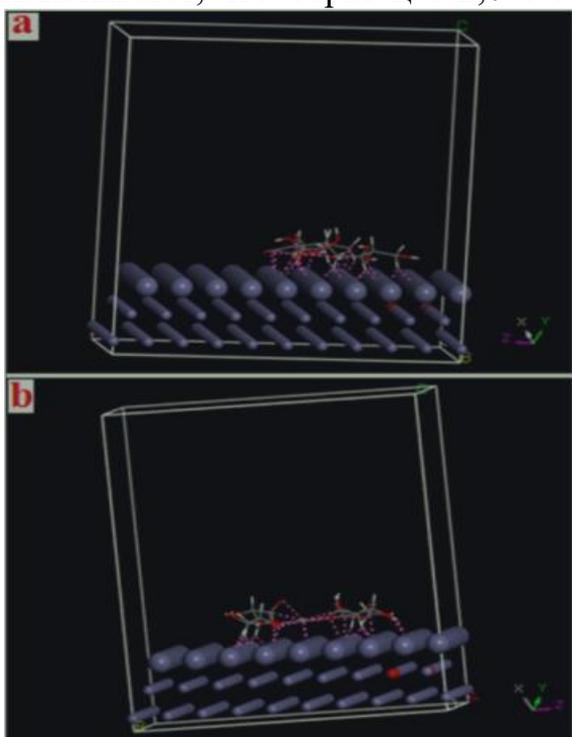


Рисунок 1.9 – Изображения показывают, как молекула ГК адсорбируется на поверхности металла. (а) вид сверху и (б) вид сбоку.

скорость потери веса. Точно так же, когда добавляется 0,5% об. глюконата кальция, скорость коррозии сводится к минимуму. С другой стороны, по мере увеличения концентрации ингибитора коррозии скорость коррозии уменьшается (рис. 1.7).

Эффективность ингибирования увеличивается с увеличением содержания глюконата кальция. При оптимальной концентрации 0,5% об. максимальная эффективность ингибирования 97,55% достигается с помощью метода потенциодинамической поляризации.

Было замечено, что добавление глюконата кальция снижает плотность тока (i_{corr}). Значение потенциала коррозии E_{corr} не изменилось, однако две константы Тафеля претерпели сильные изменения в присутствии ингибитора,

что указывает на то, что глюконат кальция ведет себя как смешанный ингибитор (рис. 1.8).

Посредством молекулярно-динамического моделирования адсорбция молекул глюконата кальция на поверхности металла была проанализирована на молекулярном уровне, и многие различные низкоэнергетические конфигурации были взяты с помощью молекулярной динамики погасания Forcite, и был определен низкоэнергетический минимум.

В кадре моделирования образец размером $30\text{Å} \times 25\text{Å} \times 29\text{Å}$ с периодическими граничными условиями репрезентативная часть моделируемого интерфейса не имеет произвольных граничных эффектов. На рисунке 1.9 представлена элементарная ячейка Fe вырезанная по плоскости (110). Смоделирована оптимизированная структура поверхности глюконата кальция и железа. Из делокализации электронной плотности вокруг молекулы видно, что молекула сохраняет плоскую адсорбционную ориентацию на поверхности Fe. Эта ориентация максимизирует контакт с металлической поверхностью, тем самым увеличивая степень покрытия поверхности.

В статье также охарактеризована коррозия путем изучения морфологии поверхности стали. Морфология поверхности стали с ингибитором глюконата кальция и без него была исследована и представлена на рисунках 1.10-1.13. Они показывают морфологию поверхности образцов стали без добавления ингибитора и с ним. На рисунке 1.10 показана поверхность низкоуглеродистой стали в исходном состоянии. Морфология ингибированной поверхности при 0,5 % ГК указывает на высокую деградацию поверхности по сравнению с рисунками 1.12 и 1.13. Повреждение поверхности в процессе коррозии, как и ожидалось, поверхность шероховатая и неровная и поверхность покрыта трещинами (рисунки 1.12 и 1.13). Видны более серьезные трещины и углубления, особенно на рисунке 1.11.

Однако, на поверхности стали с ингибитором не наблюдалось углублений или трещин. Защитная пленка, сформированная на поверхности

стали, показанная на СЭМ, также подтверждает высокую эффективность ингибирования глюконатом кальция в условиях исследования.



Рисунок 1.10 – СЭМ-микрофотографии низкоуглеродистой стали до коррозии

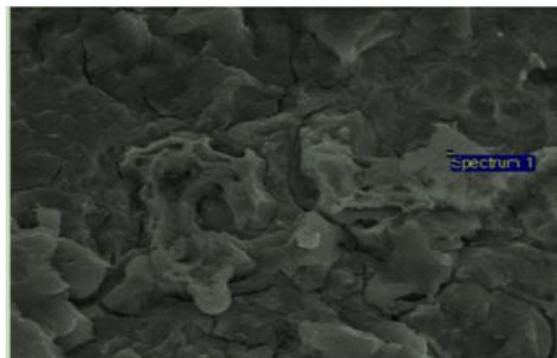


Рисунок 1.11 – СЭМ-микрофотографии поверхности стали с 0,5% ГК в растворе HCl

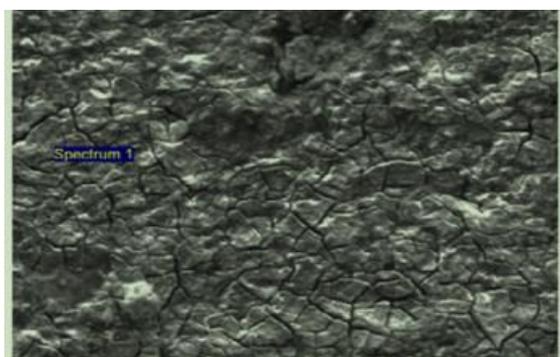


Рисунок 1.12 – СЭМ-микрофотографии поверхности стали с 1% ГК в растворе HCl



Рисунок 1.13 – СЭМ-микрофотографии поверхности стали с 1,5 % ГК в растворе HCl.

Можно сделать вывод, что глюконат кальция оказывает разумное ингибирующее действие на коррозию низкоуглеродистой стали в растворе HCl, и молекула глюконата кальция имеет сильное сродство с поверхностью Fe.

1.4.4 Влияние катионного поверхностно-активного вещества на эффективность ингибирования системы глюконат кальция-Zn²⁺ [20]

В данной статье исследуется влияние катионного поверхностно-активного вещества N-гексадецил-N, N, N-триметиламмонийбромид (ЦТАБ) на ингибитор глюконат кальция-Zn²⁺ в нейтральном водном растворе.

Авторами статьи установлено, что когда период погружения образцов в раствор с ингибитором коррозии составляет один день, состав раствора

ингибитора, содержащий 200 ppm глюконата кальция (ГК) и 50 ppm Zn^{2+} , имеет 82 % эффективности ингибирования. При добавлении 25 ppm поверхностно-активного вещества, ЦТАБ, эффективность ингибирования увеличивается с 82 % до 99 %. Это свидетельствует о синергетическом эффекте, существующем между системой ГК- Zn^{2+} и ЦТАБ. Интересно отметить, что добавление различных концентраций ЦТАБ, а именно 50, 100, 150, 200 и 250 ppm, не снижает эффективность ингибирования; она остается неизменной, то есть 99 %. Это говорит о том, что добавление ЦТАБ облегчает транспортировку ГК, Zn^{2+} и ЦТАБ в виде комплекса Zn^{2+} -ГК и комплекса Zn^{2+} -ЦТАБ из объема раствора на поверхность металла, где происходит анодная реакция:



Реакция контролируется образованием комплекса Fe^{2+} -ГК и комплекса Fe^{2+} -ЦТАБ, а катодная реакция:



контролируется образованием $Zn(OH)_2$ на катодных участках, таким образом

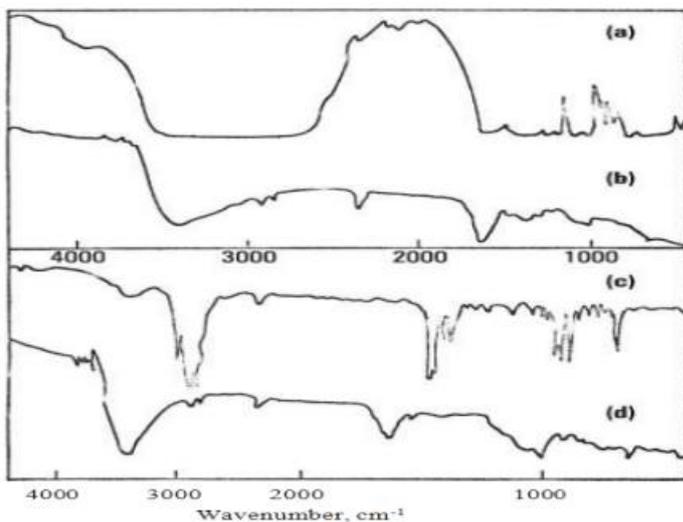


Рисунок 1.14 – ИК-спектры (а) чистый ГК, (б) пленка, образованная на поверхности металла, погруженного в различные среды: Cl^{-} 60 ppm + ГК 200 ppm + ЦТАБ 200 ppm + Zn^{2+} 50 ppm, (с) чистый ЦТАБ, (d) комплекс Fe-ГК, полученный смешением Fe^{2+} и раствора ГК.

контролируя, как анодные, так и катодные реакции.

Этим объясняется повышенная эффективность ингибирования. Во время эксперимента по потере массы стали на поверхности металла была замечена очень компактная тонкая интерференционная пленка. Когда период погружения образца в раствор ингибитора составляет три дня, состав раствора, содержащий 200 ppm ГК и 50 ppm Zn^{2+} , имеет 86

процентов эффективности ингибирования. Когда в эту систему добавляется 25ppm ЦТАБ эффективность ингибирования увеличивается с 86% до 98%.

При анализе ИК-спектров образцов было замечено, что частота валентных колебаний C-N связи ЦТАБ снизилась с 1142,2 см⁻¹ до 1019,7 см⁻¹. Это говорит о том, что электронная плотность C-N связи сместилась в сторону Fe²⁺, в результате чего образование комплекса Fe²⁺-ЦТАБ на анодных участках поверхности металла, контролирует протекание анодной реакции.

Пик на 1369,6 см⁻¹ соответствует Zn(OH)₂, образующемуся на катодных участках, таким образом, контролируя катодную реакцию. Также наблюдается, что спектр защитной пленки (рис. 1.14 b) совпадает со спектром комплекса Fe-ГК, полученного путем смешивания растворов Fe²⁺ и ГК (рис. 1.14 d). Это свидетельствует о наличии комплекса Fe²⁺-ГК на поверхности металла. Это указывает на то, что добавление ЦТАБ к системе ГК-Zn²⁺ улучшает эффективность ингибирования системы ГК-Zn²⁺.

1.4.5 Усиленное синергетическое ингибирование глюконата кальция в разбавленных кислых средах [21]

В статье исследуется усиленное синергетическое ингибирующее действие на глюконат кальция в разбавленных кислых средах.

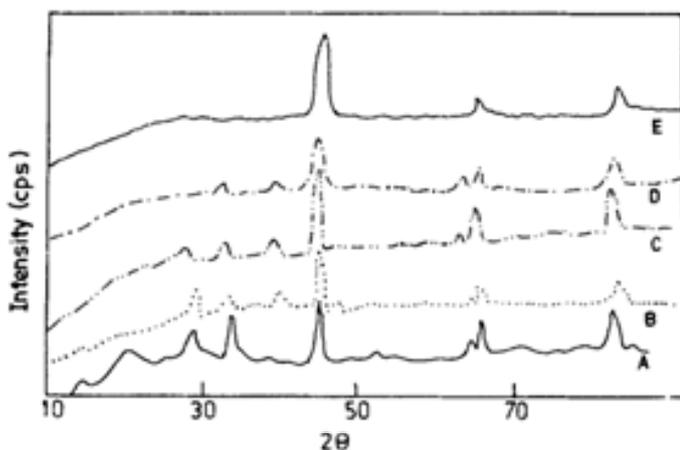


Рисунок 1.15 – Рентгенограммы, полученные на поверхности пленки, сформированной на мягкой стали, погруженной в различные растворы при pH 7 в конце 3 дней. (A) 60 ppm Cl⁻, (B) 60 ppm Cl⁻ + 50 ppm CG, (C) 60 ppm CG Cl⁻ + 50ppm CG + 50ppm 2-СЕРА, (D) 60ppm Cl⁻ + 50ppm Zn²⁺, (E) 60ppm Cl⁻ + 50ppm CG + 50ppm Zn²⁺ + 50ppm 2-СЕРА.

На рентгенограммах поверхностей образцов (рис. 1.15) наблюдались пики Fe₃O₄ при 20 °С, 35 °С и 42 °С и пики - FeOOH при 20°С, 30 °С и 65 °С. Поверхностные

пленки, полученные в растворе Cl^- 60 ppm и 60 ppm. Растворы Cl^- , содержащие 50 м. д. Zn^{2+} , показали присутствие Fe_3O_4 и $\alpha\text{-FeOOH}$.

Поверхностная пленка, полученная после погружения в раствор хлорида с концентрацией 60 ppm, содержащий Zn^{2+} , 2-СЕРА и СГ (каждый по 50 ppm), демонстрировала различное поведение. Картина соответствует исчезновению оксида железа, так как были видны только пики Fe при $2\theta = 44^\circ$, 65° и 82°

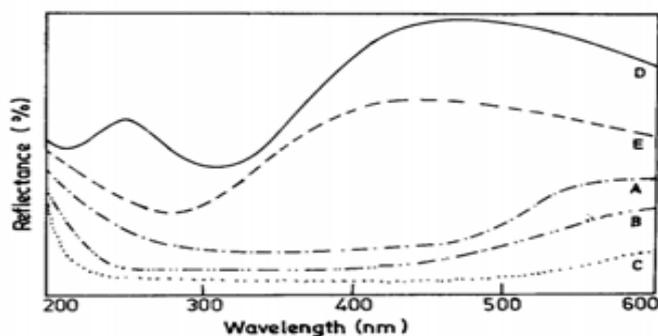


Рисунок 1.16 – Спектры УФ-отражения поверхностной пленки, сформированной на мягкой стали, погруженной в различные растворы с pH 7, по истечении двух дней. (A) 60 ppm Cl^- , (B) 60 ppm Cl^- + 50 ppm Zn^{2+} + 50 ppm СГ, (C) 60 ppm Cl^- + 50 ppm СГ + 50 ppm 2-СЕРА, (D) 60 ppm Cl^- + 50 ppm СГ + 50 ppm 2-СЕРА + 50 ppm Zn^{2+} , (E) 60 ppm Cl^- + 100 ppm Zn^{2+} + 10 ppm 2-СЕРА.

Спектры УФ-отражения (рис. 1.16) поверхности, погруженной в 60 ppm Cl^- и Zn^{2+} с растворами СГ и СГ + 2-СЕРА, показали изменение длины волны 550 нм, указывающее на присутствие оксида железа на поверхности. Поверхность, погруженная

в раствор, содержащий ионы СГ, 2-СЕРА и Zn^{2+} , указывала не только на отсутствие оксида железа, но и на появление нового пика при 305 нм. Поверхности, погруженные в раствор, содержащий Zn^{2+} + 2-СЕРА, показали пик при 290 нм (кривая E на рис. 1.16). Появление пика при 305 нм (кривая D на рис. 1.16) связано с присутствием комплекса железа. Сдвиг длины волны от 290 до 350 нм предполагает, что добавление глюконата модифицирует поверхностную пленку железо-2-СЕРА, уже образовавшуюся на железе в растворах Zn^{2+} + 2-СЕРА.

Спектры поглощения раствора в УФ-видимой области были получены для определения природы комплекса, присутствующего в растворе (рис. 1.17). Образец, погруженный в раствор Zn^{2+} + 2-СЕРА + СГ по истечении 2 дней, показал интересные особенности. Интенсивность пика 255 нм увеличилась по сравнению с пиком 295 нм. Это свидетельствует об образовании комплекса Zn^{2+}

-2-СЕРА-СГ в растворах.

Спектры УФ-люминесценции поверхностей из мягкой стали, погруженных в раствор Zn^{2+} + 2-СЕРА при возбуждении при 404 нм, показали наличие пиков при 445 и 465 нм (рис. 1.18). Комплекс Fe (III) -2-СЕРА показал пик при 445 нм при возбуждении на 404 нм. Это подтверждает, что пик при 445 нм обусловлен комплексом Fe-2-СЕРА. Комплекс Fe (III) -2-СЕРА-СГ демонстрировал пики при 430, 445, 465 и 485 нм при возбуждении на 384 нм. Это говорит о том, что поверхностная пленка, образованная на металле, погруженном в раствор Zn^{2+} СГ + 2-СЕРА, представляет собой комплекс Fe^{2+} -СЕРА-СГ.

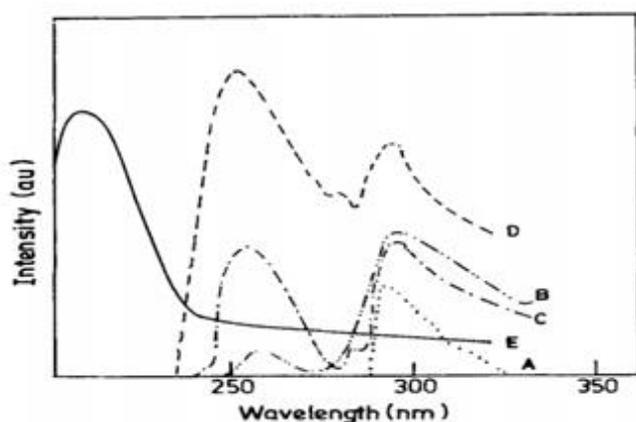


Рисунок 1.17 – УФ-спектры поглощения раствора, содержащего различные катионы и анионы в растворах хлоридов 60 ppm - Влияние времени погружения стали. (A) 50 ppm СГ (10 минут), (B) 50 ppm СГ + 50 ppm Zn^{2+} (10 минут), (C) 50 ppm СГ + 50 ppm Zn^{2+} (2 дня), (D) 50 ppm СГ + 50 ppm Zn^{2+} + 50 ppm 2-СЕРА (2 дня) (E) 100 ppm Zn^{2+} + 100 ppm 2-СЕРА (2 дня).

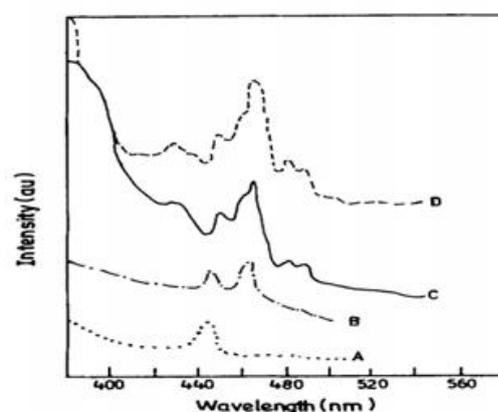


Рисунок 1.18 – Спектры ультрафиолетового излучения различных растворов - влияние времени погружения стали. (A) 100 ppm Fe^{3+} + 100 ppm 2-СЕРА (10 минут), ~ 404 нм, (B) 100 ppm Zn^{2+} + 100 ppm 2-СЕРА (7 дней), ~ 404 нм, (C) 50 ppm Zn^{2+} + 50 ppm СГ + 50 ppm 2-СЕРА (7 дней), ~ 348 нм, (D) 50 ppm Fe^{3+} + 50 ppm 2-СЕРА + 50 ppm СГ (10 минут); 348 нм).

Чтобы подтвердить присутствие комплекса железа, были получены ИК-Фурье-спектры поверхностной пленки на стали, погруженной в различные растворы (рис. 1.19). Частота валентного колебания фосфонильной группы ($-P=O$) давала полосу при 1100 см^{-1} . Асимметричный PO_3 и симметричный PO_3 были обозначены полосами при 1033 см^{-1} и 912 см^{-1} . На присутствие $Zn(OH)_2$ также указывает полоса на 1320 см^{-1} . Полосы при 1033 и 912 см^{-1} обусловлены асимметричной и симметричной частотами валентных колебаний PO_3

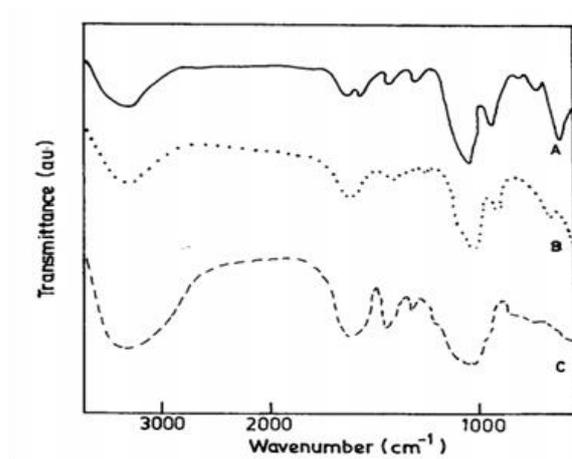


Рисунок 1.19 – ИК-Фурье-спектры различных твердых частиц и поверхностных пленок, образованных на железе • (А) 100 ppm Zn^{2+} + 100 ppm 2-СЕРА (3 дня), (В) 50 ppm Zn^{2+} + 50 ppm CG + 50 ppm 2- СЕРА (3 дня), (С) твердый комплекс Fe (III) -CG-2-СЕРА.

соответственно. Полоса при 1615 см^{-1} может быть связана с группой $COOH$ из 2-СЕРА, а также CG, а полоса при 3420 см^{-1} связана с гидроксильной группой как из 2-СЕРА, так и CG.

Можно сделать следующие выводы: Спектрохимический анализ поверхностной пленки, образованной на стали в

растворах хлорида 60 ppm, содержащих ионы цинка, 2 СЕРА и глюконат кальция показали, что пленка содержала гидроксид цинка вместе с оксидом железа. На поверхности оксидов железа может существовать трехмерный комплекс фосфоноглюконата железа, обеспечивающий большую стабильность поверхностной пленки.

1.4.6 Влияние 1-гидроксиэтана-1,1-дифосфоновой кислоты на ингибирующие свойства глюконата кальция для защиты низкоуглеродистой стали [22]

Целью работы является оценить скорость коррозии 1-гидроксиэтана-1, дифосфорной кислоты (ГЗДК) и глюконата кальция в водопроводной воде с низкой коррозионной активностью.

При высоких концентрациях ГЗДК эффективность ингибирования снижается при использовании отдельно или вместе с глюконатом кальция. Однако наблюдается синергетический эффект, который усиливается при более низких концентрациях ГЗДК.

Потенциал коррозии металла в присутствии глюконата кальция смещается в анодном направлении (рис. 1.20). Отклонение анодного ветвь

поляризационной кривой от теоретического тафелевского поведения может быть связана со спонтанным образованием пористого оксидного слоя на поверхности электрода. Поведение коррозионного тока соответствует результатам испытаний по потере массы.

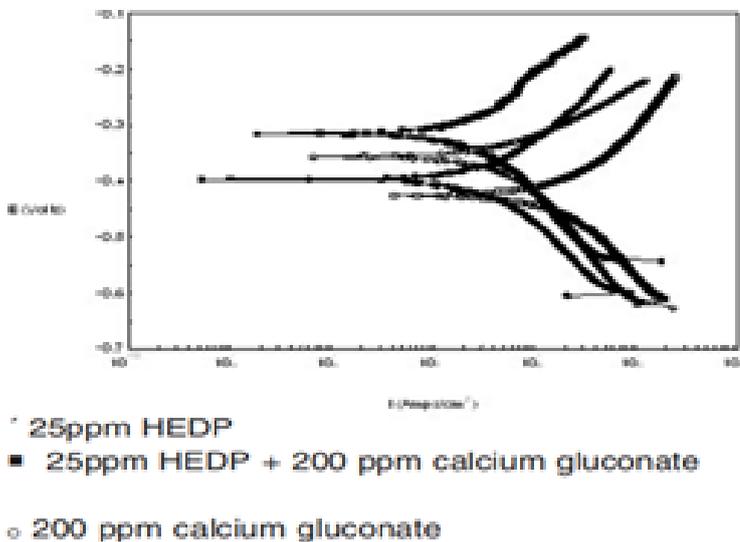


Рисунок 1.20 – Потенциодинамические поляризационные кривые мягкой стали, погруженной в различные растворы ингибиторов.

Можно сделать следующие выводы:

1. Повышенная эффективность ингибирования ГЗДК в защите мягкой стали в присутствии глюконата кальция очевидна из электрохимических испытаний и экспериментов по гравиметрии.

2. Эффективность ингибирования коррозии ГЗДК на мягкой стали может быть значительно улучшена в присутствии глюконата кальция.

3. Анодный эффект ГЗДК и глюконата и катодный эффект ионов кальция положительно влияют на защиту мягкой стали в нейтральных водных средах.

1.4.7 Глюконат кальция, как ингибитор коррозии для алюминия [23]

Целью данной работы является изучение защитного действия глюконата кальция как ингибитора коррозии алюминия в водном растворе, содержащем 60 ppm хлорид-ионов. Экспериментальный образец: обработанный образец металлического алюминия.

ГК показывает некоторую эффективность ингибирования, а эффективность ингибирования (ЭИ) увеличивается при увеличении концентрации. Например, для 50 ppm ГК ЭИ составляет 20%, а для 250 ppm ГК

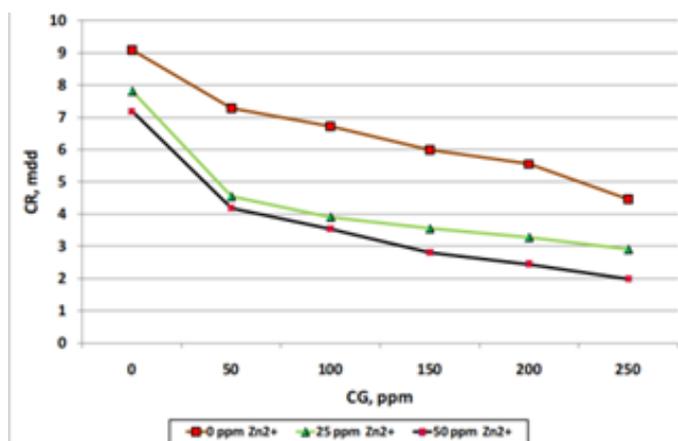


Рисунок 1.21 – Скорость коррозии алюминия, погруженного в различные испытательные растворы.

ЭИ - 51%. Это связано с тем, что с увеличением концентрации ГК защитная пленка (вероятно, комплекс алюминия ГК, образующийся на поверхности металла) продолжает увеличиваться. То есть система переходит из активной области в пассивную (рис. 1.21).

Кривые

потенциодинамической поляризации алюминия, погруженного в водный раствор, содержащий 60 ppm ионов Cl⁻, в отсутствие и в присутствии ингибиторов показаны на рисунке 1.22.

Когда алюминий был погружен в водный раствор, содержащий 60 ч/млн ионов Cl⁻, потенциал коррозии составлял -1305 мВ относительно SCE.

Когда к указанной выше системе добавляли ГК (250 ppm) и Zn²⁺ (50 ppm), потенциал

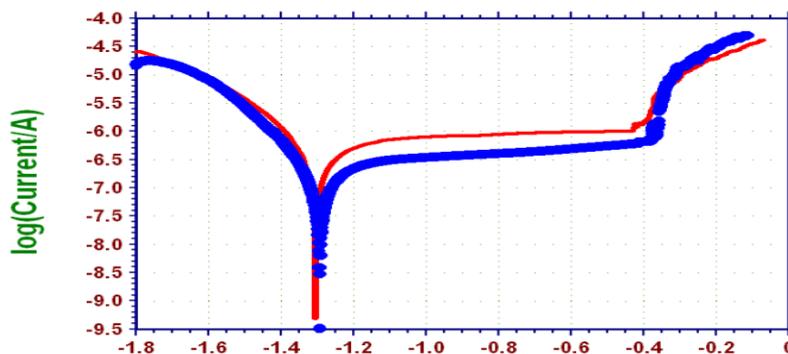


Рисунок 1.22 – Поляризационные кривые металлического алюминия, погруженного в различные тестовые растворы. а) 60 ppm ионов Cl⁻ (пустой) б) 60 частей на миллион Cl⁻ + 250 частей на миллион ГК + 50 частей на миллион Zn²⁺.

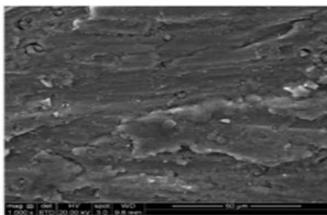
коррозии сдвигался в положительную сторону -1294 мВ по сравнению с SCE. Это свидетельствует об образовании пленки на анодных участках поверхности металла. Эта пленка контролирует анодную реакцию растворения металла, образуя комплекс Al³⁺-ГК на анодных участках поверхности металла. Дальнейшее формирование защитной пленки на поверхности металла. Это подтверждается тем фактом, что наклон анодного тафеля увеличивается с 300

мВ до 311 мВ. Таким образом, поляризационное исследование подтверждает образование защитной пленки на поверхности металла.

СЭМ обеспечивает графическое представление поверхности металла. Чтобы понять природу поверхностной пленки в отсутствие и в присутствии ингибиторов, а также степень коррозии углеродистой стали, исследуются микрофотографии поверхности, сделанные на сканирующем электронном микроскопе.

СЭМ-микрофотографии поверхности металлического алюминия, погруженного в водный раствор, содержащий 60 ppm ионов Cl^- (рис. 1.23 (а)), показывают шероховатость поверхности металла, которая указывает на сильно корродированную область металлического алюминия в водном растворе, содержащем 60 ppm ионов Cl^- . Однако рисунке 1.23 (б) показывает, что в присутствии ингибитора (250 ppm ГК и 50 ppm Zn^{2+}) скорость коррозии подавляется, что можно увидеть по уменьшению площади корродированных участков.

а)



б)

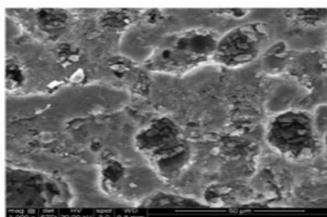


Рисунок 1.23 – СЭМ-анализ: а) металлический алюминий, погруженный в водный раствор, содержащий 60 ч/млн Cl^- (контрольный образец). б) водный раствор, содержащий 60 частей на миллион Cl^- (при $\text{pH} = 11$) + ГК 250 частей на миллион + 50 частей на миллион Zn^{2+} .

Уменьшен
ие коррозии
связано с
образованием
нерастворимого
комплекса на
поверхности
металла. В

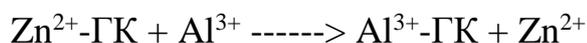
присутствии ГК и Zn^{2+} поверхность покрывается тонким слоем ингибиторов, которые эффективно контролируют растворение металлического алюминия.

Можно сделать следующие выводы:

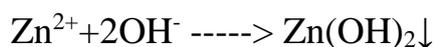
1. Раствор, содержащий водный раствор с 60 ppm ионов Cl^- , 50 ppm Zn^{2+} и 250 ppm ГК, в растворе имеется состав комплекса Zn^{2+} -ГК
2. Металлический алюминий погружается в этот раствор, комплекс Zn^{2+} -ГК диффундирует из объема раствора к поверхности металла.

3. Комплекс Zn^{2+} -ГК диффундирует из объема раствора к поверхности металла и превращается в комплекс Al^{3+} -ГК, который более стабилен, чем Zn^{2+} -ГК.

4. На поверхности металла комплекс Zn^{2+} -ГК превращается в Al^{3+} -ГК на анодных участках, и Zn^{2+} высвобождается.



5. Ионы Zn^{2+} объединяются с OH^- с образованием $Zn(OH)_2$ на катодных участках.



6. Таким образом, защитная пленка состоит из комплекса Al^{3+} -ГК и $Zn(OH)_2$.

1.4.8 Влияние природы катионов металлов на ингибирующие свойства глюконатов для защиты низкоуглеродистой стали в коррозионной среде

[24]

Целью данной работы является изучение влияния природы катионов металлов на ингибирующие свойства глюконата для защиты низкоуглеродистой стали в агрессивных средах.

Авторы статьи анализировали результаты с помощью методов измерения электрохимического импеданса.

На рисунке 1.24 показаны (А) графики импеданса диаграммы Боде и (В) графики фазового сдвига диаграммы Боде EIS мягкой стали после погружения на 24 часа в модельную пресную воду.

Величина импеданса на низких частотах на графиках Боде указывает на коррозионную стойкость мягкой стали в модельной пресной воде, а величина представляет ингибирование ингибиторами. Судя по величине, показанной на рисунке 1.24, глюконат цинка является более эффективным ингибитором, чем другие глюконаты, для ингибирования коррозии мягкой стали в модельной пресной воде.

Это говорит о том, что эквивалентная схема приемлема для состояния

поверхности мягкой стали в модельной пресной воде и что защитные пленки мягкой стали имеют дефекты в модельной пресной воде. Значение R_c , указывает на то, что коррозионная стойкость образцов после погружения на 24 часа в модельную пресную воду уменьшается в порядке $ZnG > CaG > NaG$.

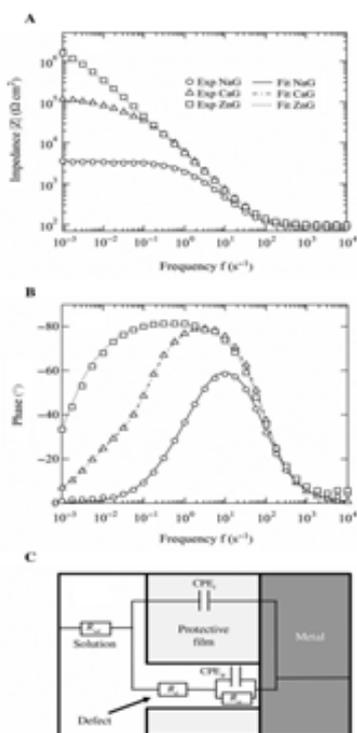


Рисунок 1.24 – (А) импеданс и (В) диаграммы Боде фазового сдвига электрохимической импедансной спектроскопии образцов после погружения на 24 часа в модельную пресную воду; подогнанные линии, рассчитанные по эквивалентной схеме. (С) Эквивалентная схема, наложенная на принципиальную схему электрода из мягкой стали с защитной пленкой, имеющей дефект.

Это предполагает, что катионы металлов с большими значениями Y и глюконаты оказывают синергетическое ингибирующее действие на коррозию мягкой стали в модельной пресной воде. Эти результаты предполагают, что катионы металлов, которые имеют большие значения Y в модельной пресной воде, увеличивают способность глюконатов ингибировать коррозию и что улучшенная способность глюконатов ингибировать коррозию может сохраняться после погружения в течение 24 часов.

На рисунке 1.25 авторами статьи представлены СЭМ-

изображения поверхностей образцов (А) до погружения и после погружения на 24 ч в (В) NaG, (С) CaG и (D) ZnG.

Образец перед погружением имеет гладкую поверхность (рис. 1.25 А). После погружения в NaG на образцах имеется много ямок и продуктов коррозии (рис. 1.25 В). Язвы и продукты коррозии на образце после

погружения в CaG уменьшаются по сравнению с таковыми на образце после погружения в NaG (рис. 1.25 C).

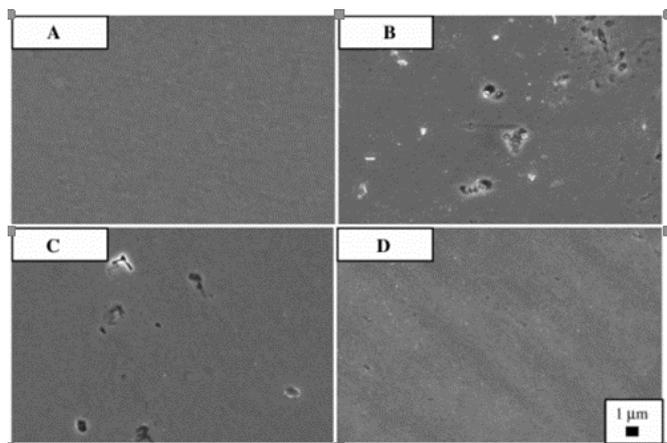


Рисунок 1.25 – СЭМ-изображения поверхности образца (A) до погружения и после погружения на 24 часа в (B) NaG, (C) CaG и (D) ZnG.

После погружения в ZnG на образце наблюдается несколько ямок и гладкая поверхность (рис. 4D). Практически не было обнаружено явного изменения морфологии поверхности в образце, погруженном в ZnG, как показано на рисунке 1.25 D.

Результаты наблюдения с помощью SEM предполагают, что локальная коррозия мягкой стали уменьшается с увеличением значения γ (рис. 1.26). Скорости коррозии, рассчитанные по потере массы после погружения на 24 часа в модельную пресную воду, как функция γ показаны на рисунке 1.26.

Скорость коррозии мягкой стали снижается с увеличением значения γ

Можно сделать следующие выводы:

1. Подавление коррозии глюконатов мягкой сталью улучшается катионами металлов, которые имеют большие значения массы в модельной пресной воде.

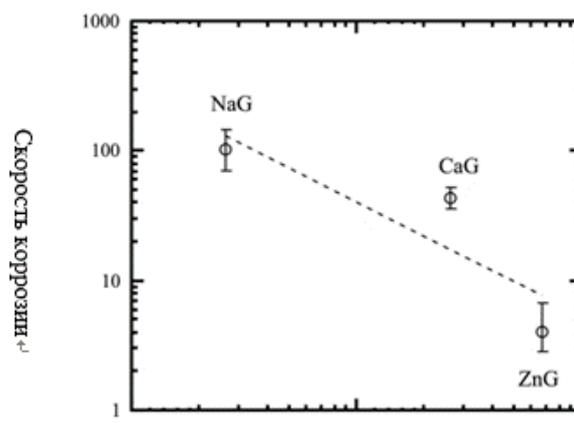


Рисунок 1.26 – Скорость коррозии как функция γ .

2. Глюконатные лиганды могут адсорбироваться на мягкой стали, а катионы металлов с большей массой могут связываться с мягкой сталью в модельной пресной воде.

3. Катионы металлов с большими значениями массы могут уменьшить количество дефектов в защитной пленке глюконатов на мягкой стали в модельной пресной воде.

1.4.9 ПАВ на основе комплекса из глюконата кальция с экстрактом картофеля (*Solanum Tuberosum*), как ингибитор коррозии для нержавеющей стали в кислой среде [25]

Целью данной работы является изучение ингибирующего действия ПАВ на основе комплекса глюконата кальция и экстракта картофеля как ингибитора коррозии нержавеющей стали в кислой среде.

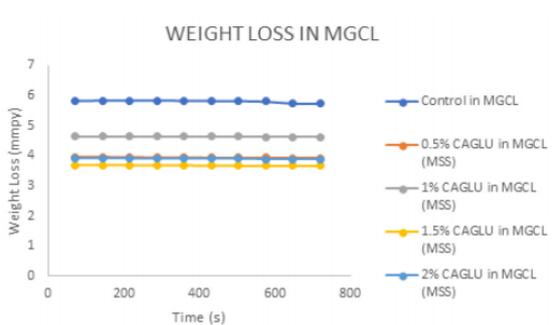


Рисунок 1.27 – Изменение потери веса во времени для мартенситной нержавеющей стали в растворе $MgCl_2$ глюконатом кальция.

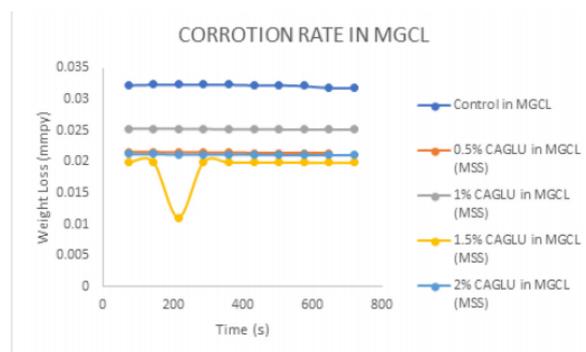


Рисунок 1.28 – Изменение скорости коррозии в зависимости от концентрации ингибитора для мартенситной нержавеющей стали в растворе $MgCl_2$ глюконатом кальция.

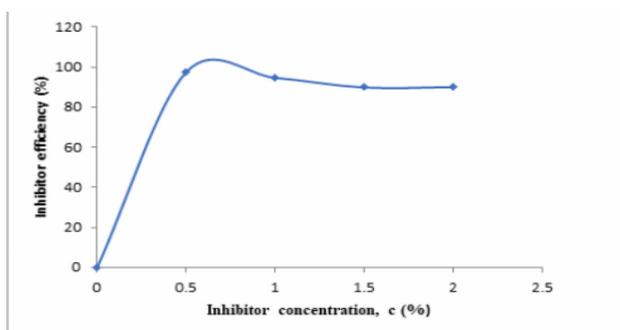


Рисунок 1.29 – Изменение процентной эффективности ингибирования во времени для мартенситной нержавеющей стали в растворе.

Гравиметрический эксперимент показал, что скорость коррозии снижалась с увеличением добавления глюконата кальция при всех

концентрациях. Образец с 0,5% г/об ингибитора имеет самую низкую потерю массы (рис 1.27). Из графика видно, что добавление глюконата кальция в концентрации 2,0% г/об значительно снижает скорость коррозии.

Активное взаимодействие концентрации происходит как в анодной, так и в катодной областях, что приводит к большей пассивной активности, чем к активной (рис. 1.28). Можно сделать вывод, что тенденция к ингибированию глюконата кальция оказалась подходящей и применимой для исследуемого состояния (рис. 1.29). Точно так же мартенситная нержавеющая сталь без ингибитора оказалась наименее защищенной, как и ожидалось. С другой стороны, можно сделать вывод, что с увеличением концентрации ингибитора скорость коррозии уменьшалась.

Влияние времени погружения на скорость коррозии и эффективность ингибирования глюконатом кальция на временной шкале, а измерения потери веса были выполнены в 2,5 М $MgCl_2$ в отсутствие и в присутствии глюконата кальция с оптимальной концентрацией 2,0% г/об на срок до 360 часов погружения время при температуре 27 °С.

Потенциодинамическое измерение сопротивления линейной

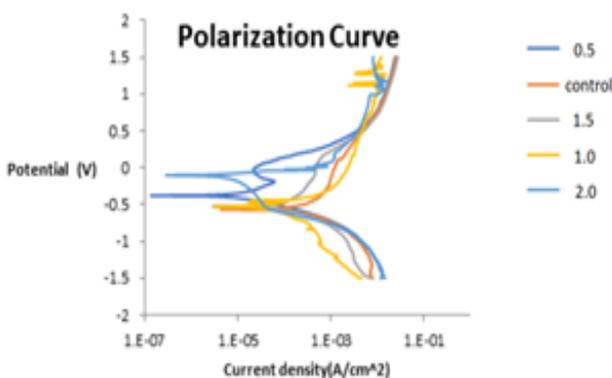


Рисунок 1.30 – Потенциодинамические поляризационные кривые для мартенситной нержавеющей стали в 2,5 М растворе $MgCl_2$ с добавлением глюконата кальция и без него.

поляризации использовалось для оценки коррозии мартенситной нержавеющей стали- $MgCl_2$ с различными концентрациями глюконата кальция при исследовании коррозии электрохимическим методом.

Потенциодинамические поляризационные кривые для мартенситной нержавеющей стали в 2,5 М растворе $MgCl_2$ и в

присутствии различных концентраций глюконата кальция от 0,5 до 2,0% г/об представлены на рисунке 1.30. Было замечено, что добавление глюконата кальция снижает плотность тока (I_{corr}).

Однако значения потенциала коррозии (E_{corr}) остаются неизменными; обе константы Тафеля сильно изменялись в присутствии ингибитора, что позволяет предположить, что глюконат кальция ведет себя как ингибитор смешанного типа. Можно сделать вывод, что коррозия действительно происходит в отсутствие ингибитора, и, следовательно, коррозия сильно подавлялась, когда ингибитор присутствовал в хлоридной среде.

1.5 Методология эксперимента

В рамках данной работы был рассмотрен ряд исследований, направленных на разработки коррозионной защиты металла с использованием комплексных ингибиторов на основе глюконата кальция. В таблице 1.5.1 представлено сравнение рассмотренных работ по следующим критериям:

В нашей работе ингибитором коррозии в различных агрессивных средах был выбран глюконат кальция промышленного производства и полученный методом нанораспылительной сушки с чистотой 99%.

Таблица 1.5.1 – Сравнение эффективности ингибиторов коррозии на основе глюконата кальция.

статья, состав ингибитора	состав исследуемой стали, %	коррозионная среда	методы исследования коррозии	эффективность ингибирования
[17]/ГК	0,10 С, 0,25 Мп, 0,01 Si, 0,01 Р, 0,018 S, остальное Fe	искусственная охлаждающая вода (ИОВ)	гравиметрия потенциометрия	препятствует коррозии низкоуглеродистой стали в почти нейтральных и щелочных средах (при рН=6 и выше) и ускоряет коррозию в кислых средах (при рН=4 и ниже).
[18]/ГК	0,150 С, 0,180 Si, 0,450 Мп, 0,031 S, 0,010 Р, 0,008 Ni, 0,005 Al, остальное	искусственная морская вода (ИМВ)	гравиметрия потенциометрия спектроскопия электрохимическое импеданса оптическая	эффективно ингибирует коррозию стали в искусственной морской воде со средней эффективностью

	Fe.		микроскопия	ингибирования 90%
[19]/ГК	0,150 С, 0,180Si, 0,450 Mn, 0,031 S, 0,010 P, 0,008 Ni, 0,005 Al, остальное Fe.	0,5 M HCl	гравиметрия потенциометрия спектроскопия электрохимическо го импеданса СЭМ моделирование молекулярной динамики	Моделирование молекулярной динамики показало, как молекула глюконата кальция адсорбируется на поверхности металла, и имеет сильное сродство к поверхности Fe, что объясняет высокую эффективность ингибирования коррозии, наблюдаемую экспериментально
[20]/ N-гексадецил-N, N, N-триметиламмонийбромид-ГК-Zn ²⁺	0,02 ± 0,03% S, 0,03 ± 0,08% P, 0,4 ± 0,5% Mn, 0,1 ± 0,2% С, остальное Fe	нейтральная водная среда с содержанием Cl ⁻ - 60 ppm	гравиметрия ИК-спектроскопия флуориметрия	Добавление ЦТАБ к системе ГК-Zn ²⁺ улучшает эффективность ингибирования системы ГК-Zn ²⁺ . Состав раствора ингибитора, состоящий из 200 ppm ГК, 200 ppm ЦТАБ и 50 ppm Zn ²⁺ , имеет 98 % эффективность ингибирования.
[21]/Zn ²⁺ -ГК-СЕРА	высокоуглеродистая сталь	слабо-кислая среда	РФА УФ-спектроскопия ИК-спектроскопия РФСЭ	Высокая эффективность ингибирования за счет образования плотной пленки на основе комплекса Fe ²⁺ -ГК-СЕРА
[22]/1-гидроксиэтан-1, дифосфорная кислота-ГК	высокоуглеродистая сталь	нейтральная среда	гравиметрия потенциометрия спектроскопия электрохимическо го импеданса	высокая эффективность ингибирования обеспечивается при 25 ppm ГДФК и 200 ppm ГК
[23]/Zn ²⁺ -ГК	Al	слабо-кислая среда	гравиметрия потенциометрия спектроскопия электрохимическо го импеданса СЭМ АСМ	250 ppm ГК ЭИ - 51%. Комплекс Zn ²⁺ -ГК диффундирует из объема раствора к поверхности металла и превращается в комплекс Al ³⁺ -ГК, который более стабилен, чем Zn ²⁺ -ГК.
[24]/ГМе	высокоуглеродистая сталь	пресная вода	гравиметрия потенциометрия спектроскопия электрохимическо го импеданса СЭМ	Эффективность ингибирования возрастает в ряду ZnG>CaG>NaG
[25]/экстракт картофеля-ГК	высокоуглеродистая сталь	нейтральная среда	гравиметрия потенциометрия	Эффективность ингибирования достигает 99%

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ

2.1 Приборы и материалы

Приборы и материалы, которые применялись в научной работе представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Приборы и материалы

Приборы	Материалы
1) Цифровой мультиметр Mastech MAS838 57762	1) Глюконат кальция (Са-ГК) (ХЧ) (коммерческий)
2) Аналитические весы Acculab ALC-210D4	2) Глюконат кальция (Са-ГК) (ХЧ) (метод НС)
3) Магнитная мешалка MS-3000 Biosan	3) Соляная кислота (ХЧ)
4) Оптический металлографический микроскоп ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ- 21 – 1	4) Азотная кислота (ХЧ)
5) Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» (Zeiss, Германия)	5) Гидроксид натрия (ХЧ)
6) Nano Spray Dryer B-90, (Швейцария)	6) Морская соль
7) Эксикатор лабораторный	7) Образцы: <ul style="list-style-type: none">• Низкоуглеродистая сталь Ст3

2.2 Объекты исследования

В работе, в качестве объекта исследования применяли низкоуглеродистую сталь Ст3. Образцы для исследования представляют собой металлические пластины размером 1 × 1 см. Элементный состав стали представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Элементный состав стали Ст3

Объект	Химический состав	Условия обработки
Ст3	0,12%С, 0,2%Cr, 0,17%Mn, 0,025%P, 0,17%Si, 0,018%S, 0,25%Ni, 0,25%Cu, остальное железо	Шлифовка поверхности (наждачная бумага с зернистостью от Р400 до Р4500)

2.3 Методика подготовки образцов и ингибиторов

Подготовка поверхности образца стали Ст3 осуществлялась посредством химического травления в смеси азотной и соляной кислот с объемной концентрацией 200 об.ч.(HNO₃):300 об.ч.(HCl):500 об.ч.(H₂O) и последующей шлифовки образцов наждачной бумагой, для удаления продуктов коррозии и прочих адсорбированных соединений.

Для приготовления ингибитора коррозии использовали коммерческие нанопорошки Са-ГК в разных концентрациях (C = 0,3%, 0,5%, 0,8% и 1% масс.), которые добавлялись в воду. Для приготовления второго ингибитора использовался нанопорошок Са-ГК, полученный методом распылительной сушки.

Перед испытанием образцы протирали тканью, пропитанной раствором ингибитора, затем высушивали при комнатной температуре.

2.4 Методы исследования

Метод гравиметрии



2.1 – Метод гравиметрии коррозии стали Ст3 в среде HNO₃+HCl+H₂O.

2.1).

Полученные данные были обработаны с помощью программы для численного анализа данных и построения графиков «Origin»

Исследования проводили с использованием Аналитических весов Acculab ALC-210D4. Исследуемые образцы стали помещали в коррозионную среду и фиксировали изменение ее веса каждые пять минут. Ускоренные гравиметрические испытания проводились в коррозионной среде: HNO₃+HCl+H₂O (3:2:5) (рис.

Метод потенциометрии

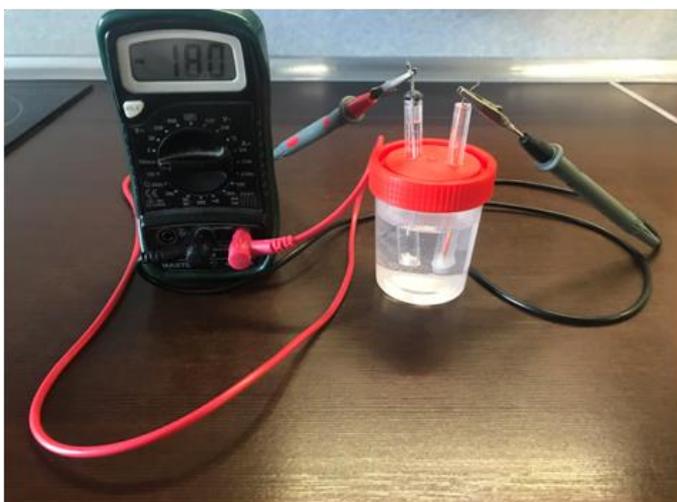


Рисунок 2.2 – Потенциометрический метод анализа коррозии стали Ст3 в 0,1 М NaOH. Рисунок 2.1 – Метод гравиметрии (катод) – насыщенный хлорсеребряный и исследуемый металл (рис. 2.2).

Потенциометрические кривые были обработаны с помощью программы для численного анализа данных и построения графиков «Origin».

Вольтамперометрические коррозионные испытания

Для изучения потенциала коррозионной защиты разных ингибиторов использовали метод вольтамперометрии с трехэлектродной ячейкой на потенциостате CorrTest CS310 (рисунок 2.3). В качестве фоновых электролитов использовали 0,1 М HCl и 0,1 М NaOH. В качестве рабочего электрода



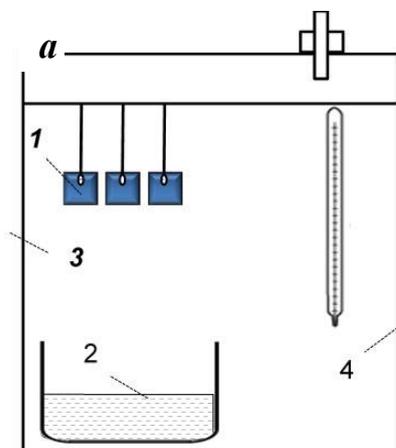
Рисунок 2.3 – Потенциостат CorrTest CS310.

использовали подготовленные стальные образцы ($S = 0,25\text{см}^2$); в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения – насыщенные хлоридсеребряные электроды.

Регистрацию кривых осуществляли в диапазоне от -0.3 до $+0.3$ В, скорость разверстки потенциала 10 мВ/с.

Методы оптической и электронной микроскопии

Эти методы использовались для оценки качества морфологии поверхности образца стали Ст3 до и после коррозионных испытаний.



Испытания во влажной камере

Испытание образцов покрытых ингибитором на основе Са-ГК проводили при влажности 75%.

Такая атмосфера

Рисунок 2.4 – Принципиальная схема испытаний во влажной камере (а), размещение образцов в эксикаторе (б).

создавалась в эксикаторе над раствором насыщенного NaCl (рис. 2.4).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Гравиметрические испытания

Гравиметрические испытания оценивают влияние коррозии путем измерения массы, которую металл теряет в коррозионной среде каждые пять минут. Контрольная группа состоит из трех образцов, чтобы обеспечить точные экспериментальные результаты. Экспериментально исследовано влияние концентрации Са-ГК на ингибирование коррозии стали (0,3% ; 0,5% ; 0,8% ; 1% масс.).

Результаты ускоренных гравиметрических испытаний представлены на рисунке 3.1. Из рисунка видно, что эффективность ингибирования коррозии возрастает с увеличением концентрации ингибитора коррозии, достигает максимума при концентрации ингибитора 0,8% масс., а затем резко снижается. Когда концентрация ингибитора коррозии достигает 1%, эффект

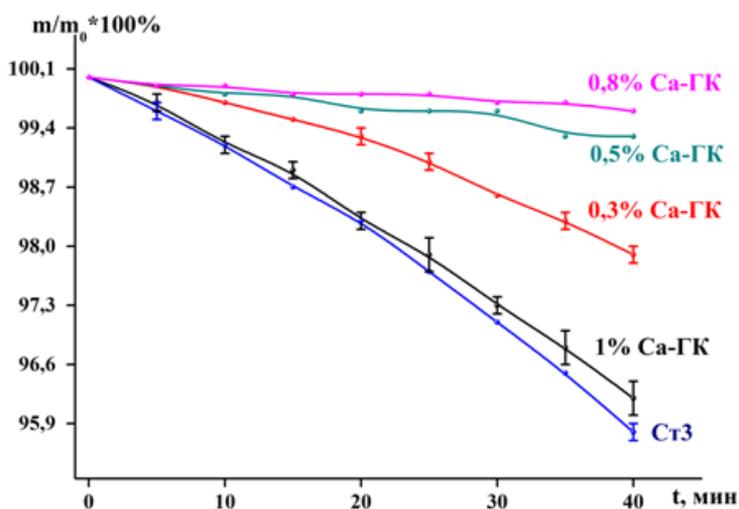


Рисунок 3.1 – Ускоренные коррозионные испытания стали Ст3 в смеси $\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ (3:2:5).

Таким образом, когда концентрация ингибитора Са-ГК равно 0.8% масс., достигается лучший эффект ингибирования коррозии. При этом на поверхности стали образуется защитная пленка (вероятно, комплекс из ГК и железа), что способствует снижению количества активных центров, где протекают коррозионные процессы.

ингибирования коррозии в основном такой же, как и при отсутствии добавления ингибитора коррозии. Для более наглядного представления полученных результатов построена гистограмма остаточной массы образцов стали, обработанных ингибитором различной концентрации (рис. 3.2).

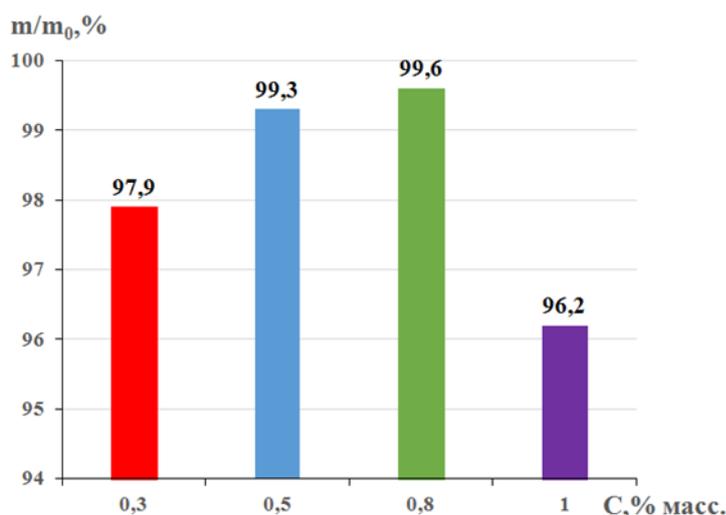


Рисунок 3.2 – Гистограмма остаточной массы образцов стали Ст3, обработанных ингибитором различной концентрации.

3.2 Потенциометрические испытания

3.2.1 Ингибитор на основе коммерческого Са-ГК

Оценить коррозионную устойчивость стали можно, используя потенциометрические измерения. На рисунке 3.3 представлены потенциометрические кривые для стали Ст3 в 0,1 М NaOH с применением и без ингибитора коррозии на основе Са-ГК. В растворе 0,1 М NaOH для

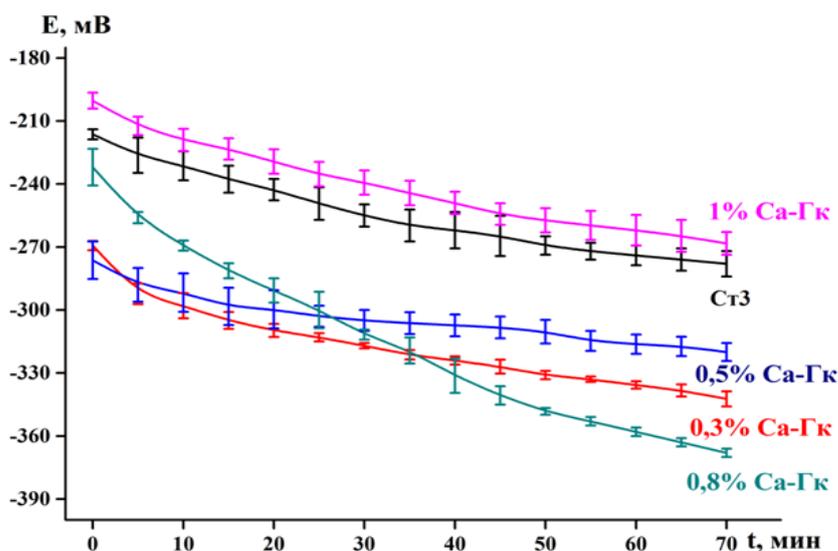


Рисунок 3.3 – Результаты потенциометрических испытаний для стали Ст3 с и без Са-ГК, полученные в фоновом электролите 0,1 М NaOH.

низкоуглеродистой стали Ст3 изменение потенциала продолжается в течение 70 минут до выхода значений на постоянную величину (рис. 3.3). Значение потенциалов ниже, чем для чистой стали, при добавлении концентрации 0,3%, 0,5%, 0,8% масс. ингибитора, что говорит о повышении скорости процесса растворения металла (растворение стали Ст3). Видно, что при низких концентрациях Са-ГК происходит смещение потенциала в отрицательную область. Вероятно, происходит химическое взаимодействие молекул Са-ГК с NaOH в растворе, что приводит к уменьшению количества ингибитора на поверхности стали.

При концентрации Са-ГК 1% масс. на поверхности стали образуется защитный слой, способствующий повышению значения потенциалов и снижению скорости коррозии. Это связано с диффузионными затруднениями, возникающими на границе раздела сталь – Са-ГК. С добавлением ингибитора коррозии или без него значения потенциалов снижаются со временем и выходят

на постоянное значение, что указывает на образование пассивирующего слоя на поверхности стали Ст3.

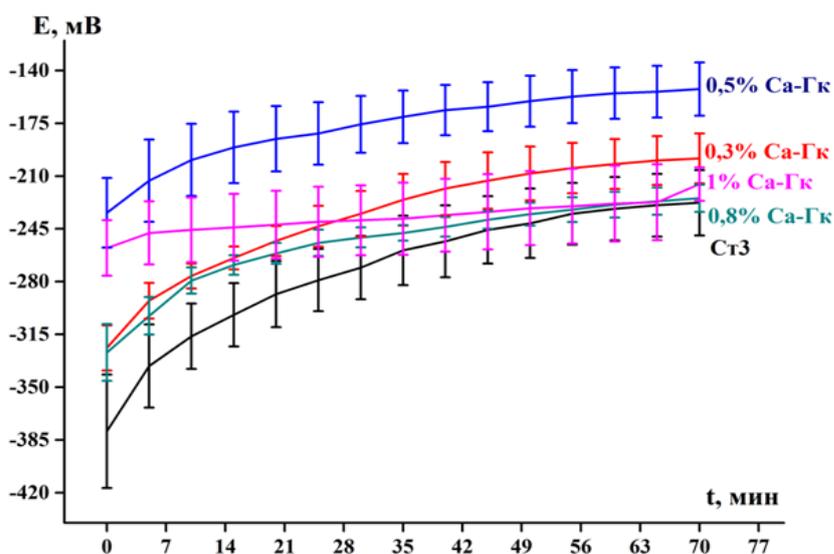


Рисунок 3.4 – Результаты потенциометрических испытаний для стали Ст3 с и без Са-ГК, полученные в фоновом электролите 0,1 М НСl.

коррозионная устойчивость стали наблюдается при 0,5% масс. концентрации Са-ГК. При концентрации Са-ГК 0,8% и 1% масс., значение электродного

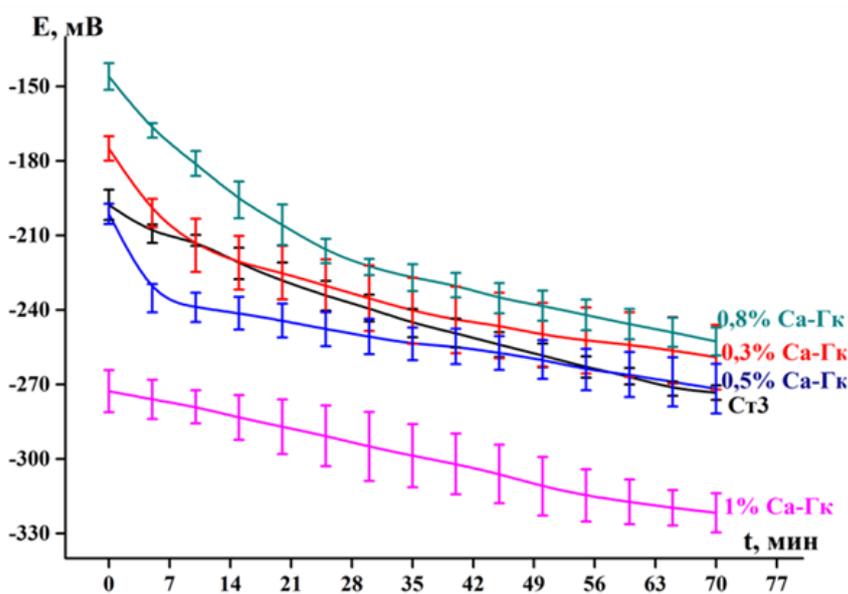


Рисунок 3.5 – Результаты потенциометрических испытаний для стали Ст3 с и без Са-ГК, полученные в фоновом электролите 0,1 М NaCl.

В кислой среде происходит возрастание значений потенциалов для всех концентраций ингибитора (рис. 3.4). Однако, в кислой среде при максимальной концентрации Са-ГК в суспензии наблюдаются отклонения, в отличие от щелочной среды. Максимальная

потенциала ниже. Это может быть связано с тем, что поверхность стали пересыщена молекулами и частицами ингибитора, их адгезия на поверхности ухудшается, и часть защитного слоя отщелкивается от поверхности. Максимальная

коррозионная устойчивость наблюдается для образцов стали обработанных в суспензии с С (Са-ГК) = 0,5% масс.

В нейтральной среде 0,1 М NaCl для всех концентраций Са-ГК значений электродных потенциалов выше, чем для стали без ингибитора (Рисунок 3.5) Исключение составляет 1% масс. Са-ГК. Вероятно, концентрация ингибитора большая, что вызывает отслаивание защитного слоя ингибитора от поверхности стали. Максимальная коррозионная устойчивость в этой среде наблюдается для образцов стали обработанных в суспензии с С (Са-ГК) = 0,8% масс.

3.2.2 Ингибитор коррозии на основе Са-ГК, полученный методом распылительной сушки

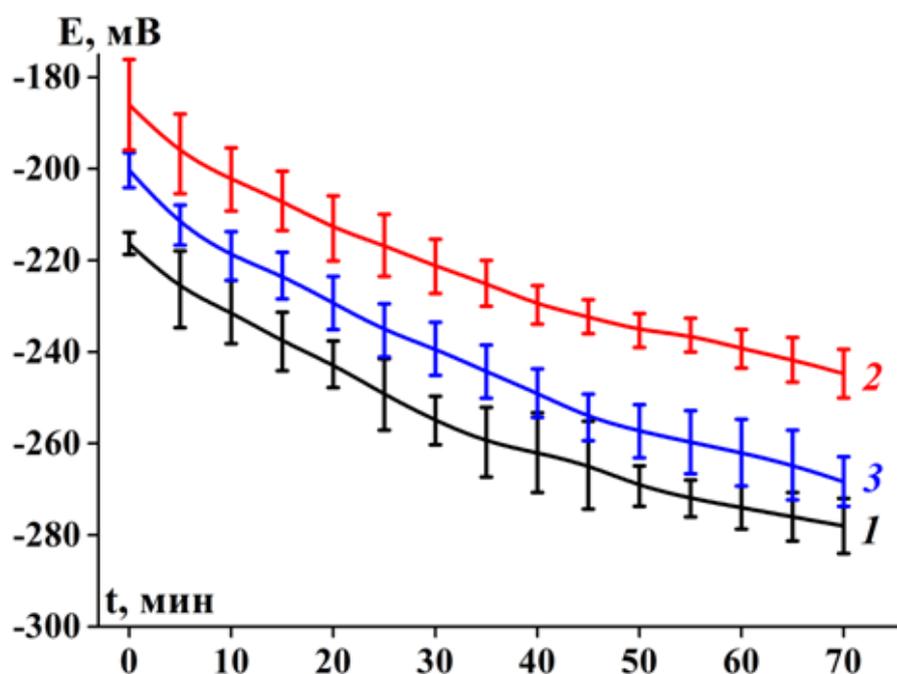


Рисунок 3.6 – Результаты потенциометрических испытаний для стали Ст3 в фоновом электролите 0,1 М NaOH: 1 – Ст3; 2 – 1% масс. Са-ГК (коммерческий); 3 – 1% масс. Са-ГК (метод РС).

В щелочной среде сталь без ингибитора корродирует активнее, чем с ингибитором (рис. 3.6). Причем, потенциалы коррозии в щелочной среде становятся отрицательнее с течением времени. Более положительное

значение потенциалов наблюдается для ингибитора Са-ГК РС (рис. 3.6, кривая 2).

В кислой среде для стали с ингибитором значения потенциалов коррозии выше, чем для стали без ингибитора (рис. 3.7). Однако для Са-ГК

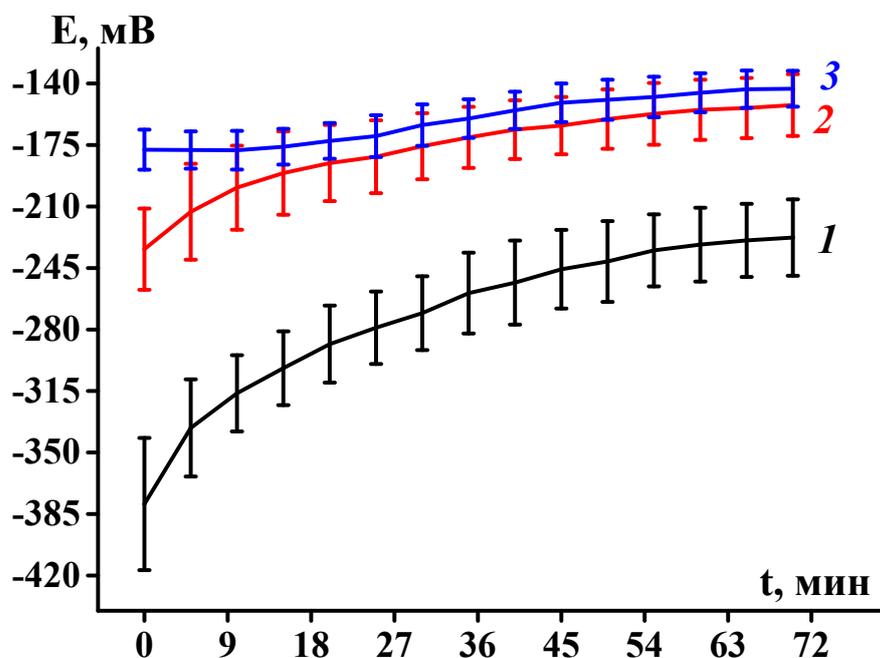


Рисунок 3.7 – Результаты потенциометрических испытаний для стали Ст3 в фоновом электролите 0,1 М НСl: 1 – Ст3; 2 – 0,5% масс. Са-ГК (метод РС); 3 – 0,5% масс. Са-ГК (коммерческий).

коммерческого значения потенциалов коррозии выше, чем для Са-ГК, полученного методом распылительной сушки. Вероятно, это связано с морфологией поверхности наночастиц Са-ГК (рис. 3.8). Видно,

что частицы Са-ГК, полученные методом распылительной сушки, представляют собой плотные сферические частицы, заполненные и полые

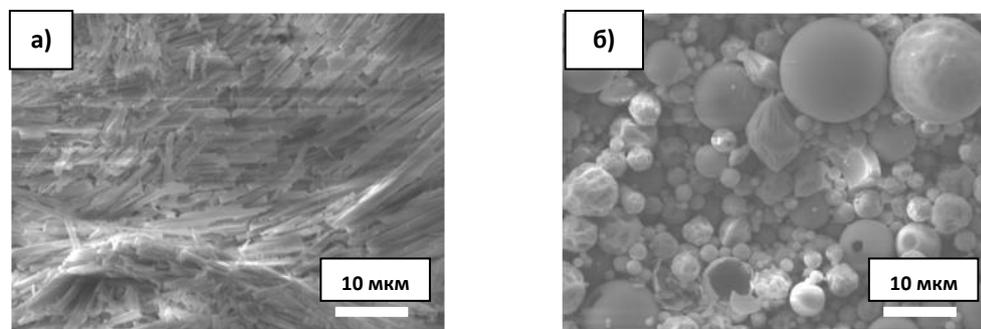


Рисунок 3.8 – Глюконат кальция: а) – коммерческий; б) – метод распылительной сушки.

внутри, сформированные из кристаллитов порядка 100 нм (рис. 3.8, а). Са-ГК коммерческий представляет собой длинные, тонкий пластинчатые структуры (рис. 3.8, б). Очевидно, что разница в морфологии поверхности Са-ГК, полученного различными методами, будет влиять на характер формирования защитной пленки на поверхности стали в различных коррозионных средах.

Молекулы коммерческого Са-ГК имеют больший размер, по сравнению с частицами Са-ГК РС, и в кислой среде способны формировать плотную, однородную защитную пленку на поверхности стали за счет взаимодействия функциональных групп глюконата кальция с поверхностью стали (рис. 3.7, кривая 3). Вероятно, при концентрации Са-ГК РС 0,5% масс. недостаточно для образования защитного слоя, способного к замедлению процесса коррозии. Однако, в щелочной среде большую коррозионную стойкость демонстрирует ингибитор коррозии с наночастицами Са-ГК РС (рис. 3.6, кривая 2). Здесь при концентрации 1% масс. большие молекулы коммерческого Са-ГК могут отщелкиваться от поверхности стали, нарушая процесс формирования защитного слоя на поверхности стали. Вероятно, в щелочной среде защитная пленка образуется только за счет образования физических связей с поверхностью стали. Но частицы, образованные из наночастиц Са-ГК РС, способны формировать плотный защитный слой благодаря маленькому размеру частиц и их большой концентрации.

3.3 Корреляция результатов потенциометрических испытаний

Для количественного сравнения полученных результатов были использованы значение установившихся равновесных электродных потенциалов (таблица 3.1).

Таблица 3.1. Равновесные потенциалы стали Ст3 ($E_{равн}$), мВ

Ингибитор	0,1 М HCl (pH=1)	0.1 М NaOH (pH=13)	0.1 М NaCl (pH=7)
–	-229	-277	-275
Са-ГК 0,3 % масс. (комм.)	-197	-343	-258
Са-ГК 0,5 % масс. (комм.)	-143	-320	-270
Са-ГК 0,8 % масс. (комм.)	-220	-367	-252
Са-ГК 1 % масс. (комм.)	-214	-267	-321
Са-ГК 0,5 % масс. (рс)	152	–	–

Са-ГК 1 % масс. (рс)	–	-245	–
----------------------	---	------	---

Из таблицы видно, что добавка частиц коммерческого Са-ГК позволяет в 1,6 раза увеличить коррозионную устойчивость стали в кислой среде, в 1,03 раз в щелочной среде и в 1,09 раза нейтральной среде. Добавление Са-ГК РС повышает коррозионную устойчивость стали в 1,5 раз в кислой среде и в 1,13 раз в щелочной среде.

3.4 Коррозионные диаграммы для стали с ингибитором коррозии

Поляризационные кривые для стали Ст3 в кислой среде представлены на рисунке 3.9. Параметры коррозии представлены в таблице 3.2. Значение потенциала коррозии для стали без ингибитора составляет -0,48 В. При добавлении ингибитора Са-ГК коммерческого и РС, потенциалы коррозии незначительно сдвигаются в положительную сторону -0,46 и -0,47 В

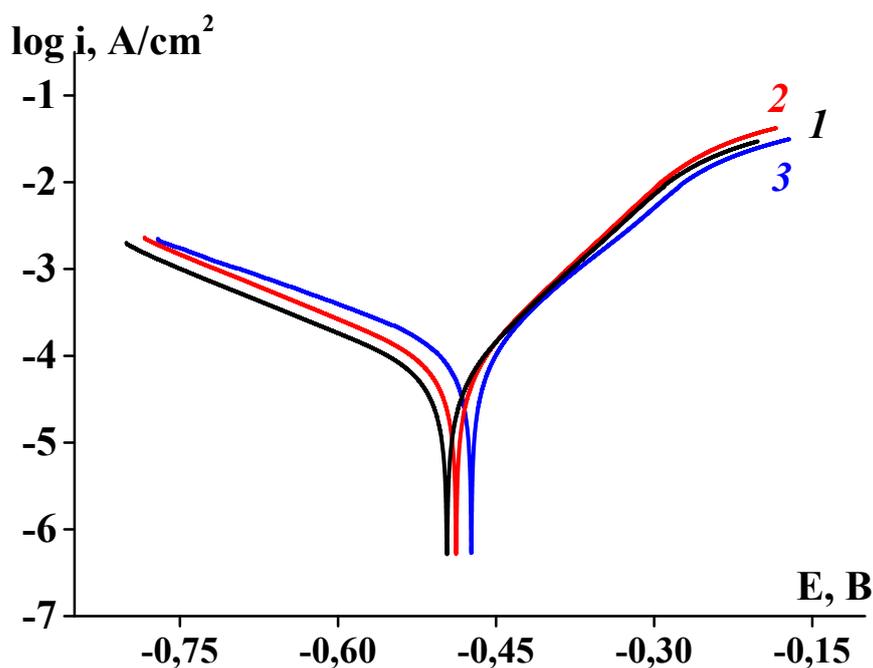


Рисунок 3.9 – Поляризационные кривые для стали Ст3 в фоновом электролите 0,1 М НСl: 1 – Ст3; 2 – 0,5% масс. Са-ГК (метод РС); 3 – 0,5% масс. Са-ГК (коммерческий).

соответственно.

Значительные изменения наблюдаются для тока коррозии. Для стали без ингибитора ток коррозии – 284 мкА/см², с ингибитором ток снижается в 3 раза.

Это свидетельствует об образовании пленки на анодных участках поверхности металла. Эта пленка контролирует анодную

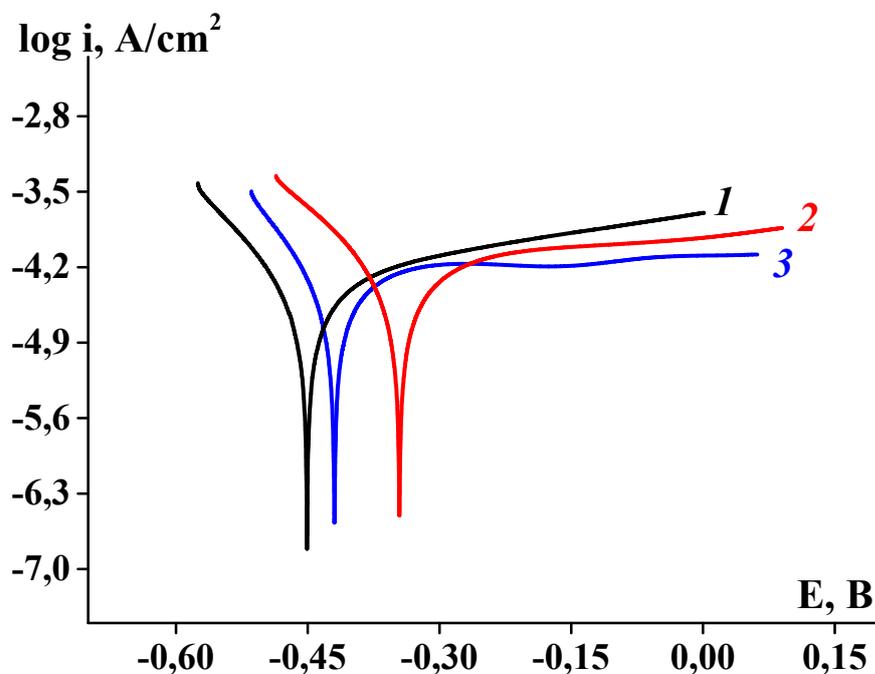


Рисунок 3.10 – Поляризационные кривые для стали Ст3 в фоновом электролите 0,1 М NaOH: 1 – Ст3; 2 – 0,5% масс. Са-ГК (метод РС); 3 – 0,5% масс. Са-ГК (коммерческий).

реакцию
растворения
металла, образуя
комплекс Fe^{3+} -ГК
на анодных
участках
поверхности
металла.

Поляризационные кривые для стали Ст3 в 0,1 NaOH представлены на рисунке 3.10. При

добавлении ингибитора потенциалы коррозии сдвигаются в положительную сторону. Особенно это выражено для Са-ГК РС (рис. 3.10, кривая 2). Наименьшее значение тока коррозии также наблюдается для Са-ГК РС, что подтверждает данные потенциометрических измерений.

Таблица 3.2. Равновесные потенциалы стали Ст3 ($E_{равн}$), мВ

Ингибитор	0,1 М HCl		0,1 М NaOH	
	$I_{корр}$, мкА/см ²	$E_{корр}$, В	$I_{корр}$, мкА/см ²	$E_{корр}$, В
–	284	-0,48	64	-0,45
Са-ГК (РС)	116	-0,47	36	-0,37

Са-ГК (комм.)	87	-0,46	51	-0,42
---------------	----	-------	----	-------

3.5 Коррозионные испытания в атмосфере солевого тумана

Коррозионные испытания образцов стали Ст3, покрытых ингибитором коррозии на основе Са-ГК, проводились во влажной атмосфере 75% NaCl. После выдержки образцов стали с ингибитором и без него в агрессивных коррозионных условиях в течение трех недель, было доказано, что ингибитор коррозии на основе Са-ГК эффективно защищает сталь от процесса окисления (рис. 3.11 и 3.12).

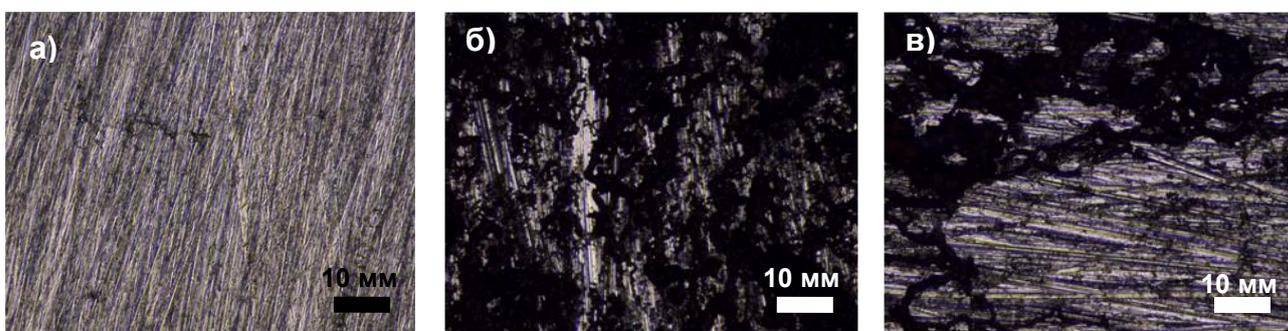


Рисунок 3.11 – Оптические фотографии стали Ст3 после 3 недель выдержки во влажной атмосфере 75% NaCl: а) чистая сталь, б) без ингибитора после коррозии, в) с ингибитором Са-ГК после коррозии.

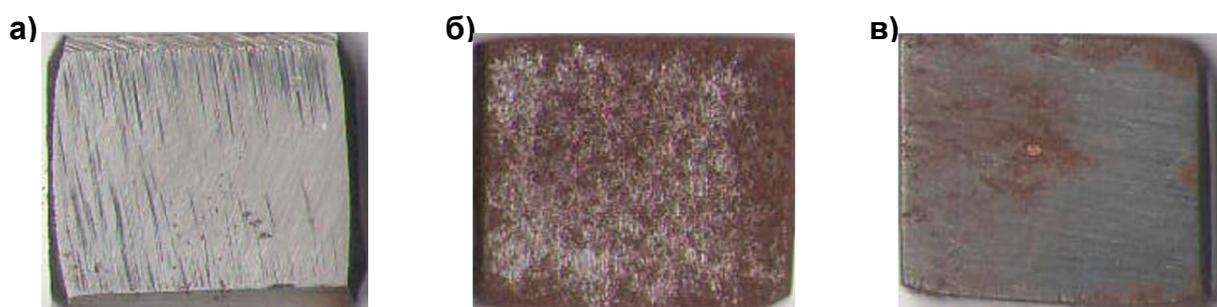
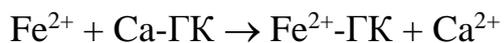


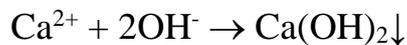
Рисунок 3.12 – Общий вид стали Ст3 после 3 недель выдержки во влажной атмосфере 75% NaCl: а) чистая сталь, б) без ингибитора после коррозии, в) с ингибитором Са-ГК после коррозии.

Для того, чтобы объяснить полученные результаты, можно предположить следующий механизм образования защитной пленки на

поверхности стали. Вероятно, при попадании стали Ст3, покрытую ингибитором, происходит образование комплекса Fe^{2+} -глюконат:



При этом выделяются ионы Ca^{2+} , которые образуют $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [26]:



Соответственно, можно предположить, что защитная пленка на поверхности стали состоит из комплекса Fe^{2+} -глюконат и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (рис. 3.13).

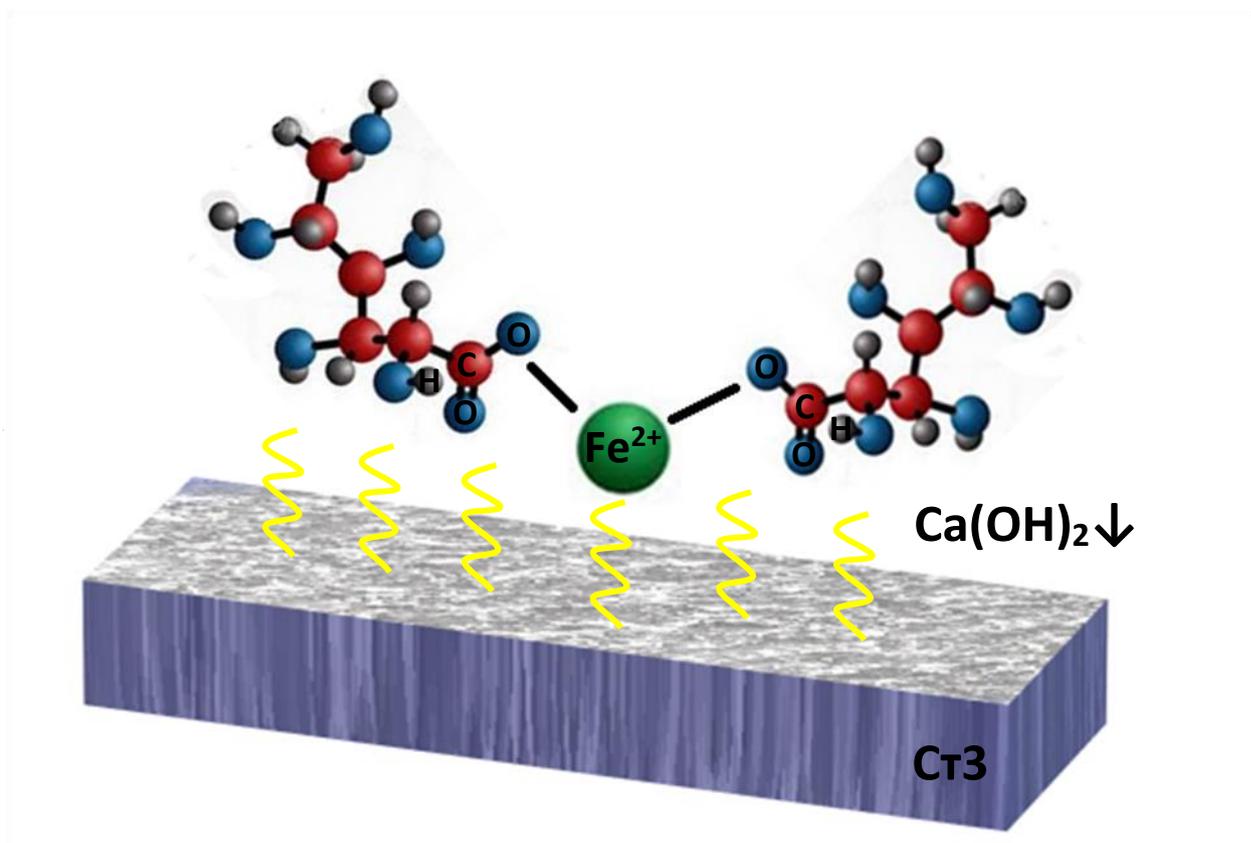


Рисунок 3.13 – Схема образования защитной пленки Ca-ГК на поверхности стали Ст3 в 0,1 М HCl.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данной ВКР является исследовать защитные свойства ингибитора коррозии на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Представим результаты анализа конкурирующих разработок, существующих на рынке с целью определения конкурентоспособности разрабатываемого продукта или технологии.

Основной конкурирующей разработкой являются эффективность продукта в ингибировании коррозии.. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.2.

Бф – влияние концентрации глюконата кальция на коррозионные характеристики

Бк1 – влияние молекулярной морфологии глюконата кальция на антикоррозионные свойства

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Трещиностойкость	0,14	5	2	3	0,7	0,28	0,42
3. Ударопрочность	0,18	4	3	3	0,72	0,54	0,54
4. Стабильность соединения с подложкой	0,14	4	4	3	0,56	0,56	0,42
5. Простота изготовления	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
6. Эффективность работы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
Итого	1	43	38	37	4,32	3,6	3,47

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j = 4,32$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Простота технологии	Сл1. Нехватка рабочего персонала
С2. Экологичность технологии.	Сл2. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования
С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл3. Отсутствие оборудование для проверки продукта в условиях эксплуатации
С4. Наличие бюджетного финансирования	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Недостаточность исследовательских проектов на базе исследовательского оборудования	Сл5. Вероятность получения брака.
Возможности	Угрозы
В1. Сотрудничество с другими научными центрами .	У1. . Потеря заказчиков и партнеров
В2. Финансирование зарубежных заказчиков	У2. Появление новых конкурентов
В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	+	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	-	-	+	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+

	У2	-	-	-	-	-
--	----	---	---	---	---	---

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Простота технологии С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования С5. Недостаточность исследовательских проектов на базе исследовательского оборудования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Нехватка рабочего персонала Сл2. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования Сл3. Отсутствие оборудование для проверки продукта в условиях эксплуатации. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл5. Вероятность получения брака.</p>
<p>Возможности В1. Сотрудничество с другими научными центрами В2. Финансирование зарубежных заказчиков В3. Появление дополнительного спроса на продукт В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>Направления развития В2 и В3 будут способствовать С2 и С3. В4 станет возможно благодаря С4.</p>	<p>Сдерживающие факторы Сл1, Сл2 и Сл3 может быть ликвидировано за счет В1. Сл1 и Сл2 также может быть ликвидировано с помощью В2.</p>
<p>Угрозы У1. Потеря заказчиков и партнеров У2. Появление новых конкурентов</p>	<p>Угрозы развития С3 обеспечивает высокую конкурентоспособность чтобы противостоять У2</p>	<p>Уязвимости: Сл1 может привести к нарушению сроков заказа и У1</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году (2020 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4

3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{Ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█											
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█											
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		█										
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			█									
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			█									
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				█								
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					█							
8	Обработка полученных данных	Исп2	18								█				

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5														
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13														

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель), – Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Цирконий лист	кг	0,2	23500	4700
Порошок оксида иттрия	кг	0,1	6030	603
Аргоновый баллон	л	10	19,25	192,5
Кислород в баллоне	л	10	9	90
Кремний	шт.	1	520	520
Перчатки резиновые, технические	пар	1	12	12

Итого:	6117,5
---------------	--------

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Цифровой мультиметр Mastech MAS838 57762	1	15	0,16	7	1300000	1213
2	Магнитная мешалка MS-3000 Biosan	1	20	0,1	5	18000000	7500
3	Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» (Zeiss, Германия)	1	20	0,16	5	18000000	12000
4	Nano Spray Dryer B-90, (Швейцария)	1	10	0,1	10	250000	208
Итого:						20921 руб.	

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{он}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}. \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_m , руб	$Z_{\partial n}$, руб	T_p , раб.дн.	Z_{ocn} , руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{ocn} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{ocn} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где $k_{\partial n}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{ocn} + Z_{\partial n}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
20921	6117,5	148391	22258,7	51194,9	248883,1

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (4.16)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании данных, полученных по каждой статье затрат, был подготовлен плановый расчет стоимости работы института « исследовать защитные свойства ингибитора коррозии на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах.». Форма показана в таблице 4.16. В таблице также представлены определения бюджета затрат для двух конкурирующих исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	6117,5	4626,3	15945	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	20921	22959,8	43453	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	49776,6	49776,6	49776,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		298659,7	299177,3	331019,2	Сумма ст. 1- 6

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 298659,7$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 299177,3$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 331019,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{298659,7}{331019,2} = 0,90;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{299177,3}{331019,2} = 0,91;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{331019,2}{331019,2} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{ri}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

исследования Критерии	Объект	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки		0,15	4	4	4
2. Стабильность работы		0,2	4	4	5
3. Технические характеристики		0,2	5	3	4
4. Механические свойства		0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость		0,15	5	4	5
ИТОГО		1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,90} = 5,18, \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,91} = 4,18, \quad I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,90	0,91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 298659,7 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,90, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования является низкоуглеродистая сталь.

Исследование выполнялось в лаборатории Национального исследовательского Томского политехнического университета (ауд. 211а 15 корпуса). Лаборатория оснащена оборудованием для проведения исследований в области материаловедения и технологии материалов.

С целью оценки степени безопасности исследования по изучению защитных свойств ингибирующего покрытия на основе глюконата кальция для низкоуглеродистых сталей в коррозионных средах. В данном разделе ВКР необходимо рассмотреть правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности; потенциальные вредные и опасные факторы и способы снижения их воздействия; экологическую безопасность научного проекта, а также вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Организации обязаны соблюдать требования трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.200 № 197-ФЗ [Трудовой кодекс].

Некоторые виды деятельности в нанотехнологических лабораториях относятся к видам работ в тяжёлых и вредных условиях. Гарантии и компенсации для таких работников заключаются в:

- повышенной оплате труда;
- сокращённой продолжительности рабочего времени;
- дополнительном оплачиваемом отпуске;
- обеспечении лечебно-профилактическим питанием;
- досрочном назначении трудовой пенсии.

Компенсации и гарантии регламентируются трудовым кодексом Российской Федерации [Трудовой кодекс], локальными нормативными актами, коллективным договором, трудовым договором.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место располагается на цокольном этаже в учебном корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета, лаборатория представляет собой комнату размером 8 м на 5 м, высотой 3.2 м, в лаборатории находится 2 окна (с видимым светом), постоянно 4 человека.

При проведении лабораторных работ работник лаборатории находится в положении стоя или сидя. Следовательно, при организации рабочего места лаборанта требуется соблюдение нормативов ГОСТ 12.2.032-78 [ГОСТ 12.2.032-78] и ГОСТ 12.2.033-78 [ГОСТ 12.2.033-78].

Лаборатория оснащена отоплением и вентиляцией или кондиционером. Для отделки помещений используют диффузно-отражающие материалы. Поверхность пола соответствует следующим требованиям: ровность, удобство для очистки, наличие антистатических свойств, отсутствие выбоин. В помещении держат аптечку первой медицинской помощи и огнетушитель. Расположение рабочего стола обеспечивает удобство работы за ним и дает возможность осмотра, а также ремонта находящегося на нем оборудования.

5.2 Производственная безопасность

Исследование выполнялось в лаборатории Томского политехнического университета (ауд.211 корпуса 15). Для проведения исследования применяли сталь ст3.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [ГОСТ 12.0.003-2015]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [...] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [...] ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ [...]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+		ГОСТ 12.1.005-88 [...] ГОСТ 12.1.007-76.ССБТ [...] СанПиН 1.2.3685-21 [...] ГОСТ 12.4.011-89 [...]
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 [...] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [...]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+		СанПиН 1.2.3685-21 [...]

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.1.1 Анализ показателей шума

Гигиенические нормативы по шуму определяются национальным законодательством [ГОСТ 12.1.003-2014].

В таблице 5.2 отражены допустимые уровни шума представленные в Санитарных нормах [СН 2.2.4/2.1.8.562-96].

Таблица 5.2 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Работа инженера в лаборатории относится к категории работ с легкой степенью напряженности и с легкой физической нагрузкой. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 80 дБА.

Длительное воздействие шума представляет собой причину возникновения определенных заболеваний нервной системы. Воздействие шума, превышающего норму, приводит к биохимическим изменениям в структурах головного мозга, появлениям головных болей и т. п. [Влияние шума на организм человека].

Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативам.

В случае превышения норм по шуму следует принимать меры по снижению уровня шума и защите работников от его воздействия в соответствии с [ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ], используя в том числе такие меры, как:

– использование звукопоглощающих облицовок;

Кроме того, необходимо рационально размещать рабочие места, а также создавать шумозащищенные зоны.

5.2.1.2 Анализ показателей микроклимата

Показатели микроклимата производственных помещений – это температура и относительная влажность воздуха, а также скорость движения воздуха [Микроклимат на рабочем месте].

В таблице 5.3 обозначены оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения для категории работ «Легкая Ia» по ГОСТ 12.1.005-88 [ГОСТ 12.1.005-88].

Таблица 5.3 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %			Скорость движения, м/с		
	оптимальная	допустимая	оптимальная	рабочих местах постоянных и непостоянных	непостоянных	оптимальная, непостоянных	рабочих местах постоянных и непостоянных	непостоянных

		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		постоянных	не-постоянных	постоянных	не-постоянных				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2

Влажность воздуха оказывает влияние на терморегуляцию организма: высокая влажность является причиной затруднения терморегуляции, слишком низкой влажностью обуславливается пересыхание слизистой оболочки дыхательных путей.

Движением воздуха в значительной степени обусловлено самочувствие человека: движение воздуха меньше нормы может быть причиной головной боли; движение воздуха больше нормы приводит к переохлаждению и простудным заболеваниям.

Если температуры окружающего воздуха высокие, то это может приводить к перегреву, обмороку, тепловому удару, обезвоживанию. Если температура окружающего воздуха на рабочем месте слишком низкая, то это может приводить к простудным заболеваниям, снижению иммунитета, замерзанию [Мушников, В. С.].

Чтобы обеспечить соответствие показателей микроклимата требуемым нормам, следует проводить измерение показателей микроклимата в соответствии с требованиями, представленными в СанПиН 1.2.3685-21 [СанПиН 1.2.3685-21].

С целью поддержания требуемых параметров микроклимата в рабочей зоне применяется защита от источников теплового излучения, система вентиляции, кондиционирование воздуха, отопление, влажная уборка, увлажнение воздуха.

В лабораториях материаловедения требуется выполнение санитарно-гигиенических, медико-биологических и организационно-технических мероприятий:

- вентиляция и очистка воздуха;
- кондиционирование воздуха;
- локализация вредных факторов;
- отопление;
- автоматический контроль и сигнализация;
- дезодорация воздуха;
- использование оборудования и препаратов для дезинфекции, оградительных устройств, знаков безопасности;
- применение перчаток и респираторов в качестве средств защиты рук и органов дыхания [ГОСТ 12.4.011-89. ССБТ].

5.2.1.3 Анализ электробезопасности

Электрический ток относится к повышенным источникам опасности. В таблице 5.4 представлены предельно допустимые значения электрического тока при неаварийном режиме работы электрооборудования [ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ].

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

В качестве основных источников поражения электрическим током выделяются поврежденная проводка, розетка, выключатель и открытые металлические участки электроприборов.

К основным причинам воздействия тока на человека относятся ситуации: 1) человек случайно прикасается или приближается на опасное расстояние к токоведущим частям; 2) в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала на металлических частях оборудования появляется напряжение; 3) напряжение появляется на отключённых токоведущих частях, где работают люди, в связи с ошибочным включением

установки; 4) провод замыкается на землю, в результате чего появляется шаговое напряжение на поверхности земли [Назаренко О.Б.].

Электрический ток оказывает на человека следующие виды воздействия:

1) термическое – приводит к ожогам, нагреву кровеносных сосудов и других органов, вследствие чего в них появляются функциональные расстройства;

2) электролитическое – для электролитического действия тока характерно разложение крови и других органических жидкостей, что приводит к нарушениям их физико-химического состава;

3) механическое – повреждения (разрыв, расслоение и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта;

4) биологическое – может являться причиной нарушения и полного прекращения деятельности органов дыхания и кровообращения [Куликов Г.Б.].

Электробезопасность включает следующие технические и организационные средства и мероприятия, предназначенные для обеспечения защиты людей от воздействия тока:

– выполнение электроустановок в соответствии с требованиями электробезопасности;

использование предупредительной сигнализации;

применение защитного отключения;

применение средств индивидуальной защиты [ГОСТ Р 12.1.019-2009].

5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны

Нормы освещения лабораторий по [СанПиН 1.2.3685-21] представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в лабораториях

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО	Естественное освещение КЕО еН, %		Совмещённое освещение КЕО еН, %		Искусственное освещение			
	при верхнем или комбиниро	при боковом освещ	при верхнем или комбиниро	при боковом освещ	Освещенность, лк		Показатель диска форта,	Коэффициент пульсации
					при комбинированном	при общем освещ		

освещённости (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	ванном освещении	ении	ванном освещении	ении	освещении		ении	М, не более	освещённости, КЕО ен, %, не более
					все го	от обще го			
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	40	10

Неблагоприятные условия освещения могут вызывать утомление зрительного анализатора, снижать работоспособность, приводить к профессиональным заболеваниям..

Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения связано с психофизиологическими проблемами и сонливостью.

Для правильного освещения в лаборатории необходимо верно выбирать вид освещения, количество и расположение ламп, тип осветительных приборов. Лаборатория должна быть освещена верхним общим освещением.

5.3 Экологическая безопасность

Основными материалами, использованными в работе, являются порошок глюконата кальция ; низколегированная сталь ст3; . Исследование защитных свойств ингибирующего покрытия на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах. Обнаружено, когда концентрация ингибитора Са-ГК равно 0.8% масс., достигается лучший эффект ингибирования коррозии. При этом на поверхности стали образуется защитная пленка (вероятно, комплекс из ГК и железа), что способствует снижению количества активных центров, где протекают коррозионные процессы.

Высокая концентрация порошка глюконата кальция жевательной резинки в воздухе может вызвать раздражение слизистой оболочки дыхательных путей животных и людей. В используемой в работе концентрации порошок глюконата кальция жевательной резинки не нанесет вреда окружающей среде.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями называются опасные события или явления, которые вызывают нарушение безопасности жизнедеятельности.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций подразделяют на 2 категории : 1) внешние – стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов и т.д.; 2) внутренние – сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина и т. п.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера являются ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения атмосферы отравляющими веществами. Следствием ЧС техногенного характера могут быть внезапное обрушение зданий и сооружений, нарушение работы энергетических сетей, коммунального жизнеобеспечения, очистных сооружений, технологических линий и т. д.

В случае возникновения ЧС на предприятии, в лаборатории необходимо выполнить следующий комплекс мероприятий: 1) эвакуация; 2) укрытие людей в защитных сооружениях; 3) обеспечение индивидуальными средствами защиты; 4) организация медицинской помощи пострадавшим. – заменить существительные глаголами.

Наиболее распространенная вероятная ЧС в лаборатории – пожар.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-П, так как в нем т. к. в нём присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями от 30 апреля 2021 года).].

Причины возникновения пожара могут быть электрического и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня); самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия: а) необходимо прохождение сотрудниками лаборатории противопожарного инструктажа б) сотрудникам необходимо знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться; в) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования; г) требуется, чтобы пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения содержались в исправном состоянии и находились на видном и легко доступном месте;

Если в организации возник пожар, то после его ликвидации определяется возможность дальнейшего использования оборудования и имеющихся коммуникаций. В лаборатории исследовательское оборудование, трубопроводы, электрооборудование проверяются на соответствие их состояния нормам пожарной безопасности. В случае отсутствия повреждений можно продолжать работу [ВНЭ 5-79].

Выводы по разделу

Поэтому в этом разделе рассматриваются негативные факторы, влияющие на сотрудников в процессе выполнения выпускной квалифицированной работы, а также меры по минимизации их вредного / опасного поведения. Кроме того, рассматриваются правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности сотрудников, производственной среды и чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть на рабочем месте, а также процедуры действий, которые необходимо предпринять при возникновении таких ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы установлено, что глюконат кальция как ингибитор коррозии способен эффективно ингибировать коррозию металлов в различных средах. Было определено, что скорость коррозии металлов значительно ниже в присутствии Са-ГК, чем во всех коррозионных средах, что связано с образованием защитной пленки на поверхности стали. Было предположено, что защитная пленка на поверхности стали состоит из комплекса Fe^{2+} -глюконат и $Ca(OH)_2$.

ВЫВОДЫ

1. В результате гравиметрических испытаний в смеси $\text{HNO}_3\text{--HCl}$ установлено, что сталь Ст3, обработанная водной суспензией Са-ГК (0,8% масс.), медленнее теряет массу по сравнению с необработанной поверхностью **в 10 раз.**

2. На основании потенциометрических измерений в растворах разбавленных электролитов продемонстрировано, что водные суспензии Са-ГК коммерческий и полученный методом распылительной сушки, позволяют увеличить электродный потенциал стали Ст3 **в 1,6 и 1,5 раза** в кислой среде, **в 1,09 и 1,13 раза** в щелочной среде, соответственно.

3. На основании данных, полученных методом вольтамперометрии, установлено, что применение ингибитора на основе Са-ГК (комм. и РС) позволяет снизить ток коррозии **в 3,2 и 2,4 раза** в кислой среде и **в 1,25 и 1,77 раз** в щелочной среде, соответственно.

Показана эффективность применения ингибитора коррозии на основе Са-ГК при испытании стали Ст3 в смеси $\text{HNO}_3\text{--HCl}$ и атмосфере солевого туман (75 % NaCl).

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Шуай. Ц. Ингибитор коррозии на основе глюконата кальция для низкоуглеродистой стали Ст3 в коррозионных средах// Труды XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология XXI в », 16-19 мая 2022 г., г. Томск: Изд-во ТПУ, 2022 – В печати.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. A. Söylev, M. G. Richardson, Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22, № 4. – P. 609–622.
2. G. Palanisamy, *Corrosion Inhibitors* // 2019, Chapter 10, P. 833–961.
3. G. Palanisamy, *Corrosion Inhibitors* // 2019, Chapter 6, P. 454–534.
4. Durowaye S., Alabi A., Sekunowo O., Bolasodun B., Rufai I. Inhibitive effect of sodium sulphite on corrosion of mild steel in bore-hole water containing 1M sodium hydroxide solution // *American Journal of Materials Science*. – 2014. – Vol. 4. – P. 11–17.
5. Lee H., Saraswathy V. Kwon S. and Karthick S. Corrosion inhibitors for reinforced concrete: a review // 2017, Chapter 4, P. 345–375.
6. Verma C., Ebenso E., Quraishi M. and Hussain C. Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications // *Royal Society of Chemistry*. – 2021. – Vol. 2. – P. 3806–3850.
7. El Brahimimi B., Jmiai A., Bazzi L., El Issami S. Amino acids and their derivatives as corrosion inhibitors for metals and alloys // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2020. – Vol. 13, № 1. – P. 740–771.
8. Azzam E., Hegazy M., Kandil N., Badawi A., Sami R. The performance of hydrophobic and hydrophilic moieties in synthesized thiol cationic surfactants on corrosion inhibition of carbon steel in HCl // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2015. – Vol. 24, № 4. – P. 493–503.
9. Graven A. and Meldal M. Peptido-organic diels–alder reactions on hydrophilic resin: scope for combinatorial chemistry // *Journal of the Chemical Society*. – 2001. – Vol. 23. – P. 53–60.
10. Nezhad A., Davoodi A., Zahrani E., Arefinia A. The effects of an inorganic corrosion inhibitor on the electrochemical behavior of superhydrophobic micro-nano structured Ni films in 3.5% NaCl solution // *Surface and Coating*

Technology. – 2020. – Vol. 395. – P. 567–572.

11. Jamal A., Rajendran S. Highly effective inorganic corrosion inhibitor for mild steel in sodium chloride solution // *European Chemical Bulletin*. – 2013. – Vol. 2, № 12. – P. 1041–1044.

12. Umoren S. Polymers as Corrosion Inhibitors for Metals in Different Media – A Review // *The Open Corrosion Journal*. – 2009. – Vol. 2. – P. 175–188.

13. Ardakani E., Kowsari E., Ehsani A., Ramakrishna S. Performance of all ionic liquids as the eco-friendly and sustainable compounds in inhibiting corrosion in various media: A comprehensive review // *Microchemical Journal*. – 2021. – Vol. 165. – P. 231–241.

14. Charkavarthy M., Mohana K. Adsorption and corrosion inhibition characteristics of some nicotinamide derivatives on mild steel in hydrochloric acid solution // *International Scholarly Research Notices*. – 2014. – Vol. 35. – P. 53–60.

15. Rani A. Basu B. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview // *International Journal of Corrosion*. – 2012. – Vol. 35. – P. 67–83.

16. Chicondo M. and Chicondo F. Recent corrosion inhibitors for mild steel: An overview // *Journal of Chemistry* – 2016. – P. 3–8.

17. Siragul K., Chand M., Md. A., Mayeedul I. Corrosion inhibition of mild steel by calcium gluconate in simulated cooling water // *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. – 2010. – № 16. – P. 167–176.

18. Loto R., Fajobi M., Oluwole O., Akintoye C. Corrosion inhibition effect of calcium gluconate on mild steel in artificial seawater // *Cogent Engineering* – 2020. – № 7. – P. 1–12.

19. Alkanji O., Loto C., Popoola A., Abdulwahab M., Kolesnikov A. Anti-corrosion and computational study of mild steel in hydrochloric acid using calcium gluconate as inhibitor // *Asian Journal of Chemistry*. – 2016. – № 7. – P. 1417–1423.

20. Rajendran S., Apparao B., Palaniswamy N. Influence of a cationic

surfactant on the inhibition efficiency of calcium gluconate – Zn²⁺ system // *Anti-Corrosion Methods and Materials*. – 2000. – № 1, P. 11–14.

21. Gunasekaran G. Enhanced synergetic inhibition by calcium gluconate in low chloride medium. Part II. Surface film characterization. // N. Palaniswamy, B. Apparao, V. Muralidharan // *Proc. Indian Acad. Sci.* – 1996. – Vol. 108. – P. 407–413.

22. Sreevalsan K. The role of 1-hydroxyethane –1, 1-diphosphonic acid on corrosion inhibition performance of calcium gluconate in mild steel. // V. Anithakumary, I. Shibi // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2008. – Vol. 24. – P. 669–672.

23. Hakeem M. Calcium Gluconate As A Corrosion Inhibitor For Aluminium. // S. Rajendran, A. Peter Pascal Regis // *Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences*. – 2014. – Vol.3. – P. 1–11.

24. Otani K. Influence of metal cations on inhibitor performance of gluconates in the corrosion of mild steel in fresh water. // M. Sakairi, S. Islam // *Corrosion Review*. – 2017. – Vol. 35. – P. 1–9.

25. Akanji O. Corrosion inhibition of martensitic stainless steel in chloride medium by calcium gluconate-solanum tuberosum extract as surfactant. / O. Fatova, E. Akinlabi // *Key Engineering Materials*. – 2019. – Vol. 796. – P. 103–111.

26. Rajendran S., Apparao B., Palaniswamy N. Calcium gluconate as corrosion inhibitor for mild steel in low chloride media // *British Corrosion Journal*. – 2013. – Vol. 33. – P. 315–317.

27. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).

28. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).

29. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).

-
30. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
31. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.)
33. Влияние шума на организм человека [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Карачаево-Черкесской республике. – 2011. – URL: <http://09.rospotrebnadzor.ru/content/vliyanie-shuma-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 01.11.2021).
34. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
35. Микроклимат на рабочем месте [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Кемеровской области – Кузбассу. – 2016. – URL: <http://42.rospotrebnadzor.ru/content/874/54136/> (дата обращения: 15.11.2021).
36. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
37. Мушников, В. С. Условия труда работающих: влияние нагревающего микроклимата промышленных помещений на организм человека: Методическая разработка / В. С. Мушников, В. В. Вьюхин, В. И. Лихтенштейн, Л. Г. Турчанинов. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 22 с.
38. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (дата введения: 01.01.1977).
39. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением № 2 от 28 января 2021 г.).

-
40. ГОСТ 12.4.011-89. ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация (дата введения: 01.07.1990).
41. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
42. Назаренко, О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 144 с.
43. Куликов, Г. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Г. Б. Куликов. – М.: МГУП, 2010. – 408 с.
44. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2011).
45. Михалёва, К. А. Влияние параметров световой среды на здоровье человека / К. А. Михалёва [Электронный ресурс] // Городской округ Верхотурский. – 2017. – URL: <http://adm-verhotury.ru/social/helth/media/2017/10/16/vliyanie-parametrov-svetovoj-sredyi-na-zdorove-cheloveka/> (дата обращения: 24.01.2022).
46. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 14 февраля 2022 года).
47. ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями от 30 апреля 2021 года).
48. ВНЭ 5-79. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности (утв. Министерством химической промышленности 25 июля 1979 г.)