



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 Материаловедение и технологии материалов
ООП/ОПОП Производство изделий из наноструктурных материалов и аддитивные технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Разработка “зеленого ингибитора” коррозии бронзы на основе наночастиц оксидов металлов

УДК 620.197.3:661.8'02-022.532

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Пэн Лижу		14.06.2023

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н., доцент		14.06.2023

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОБН	Антоневич О.А.	к.б.н., доцент		

По разделу «Приложение. Раздел на английском языке»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Н. В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О.Л.	д.т.н., профессор		14.06.2023

Томск – 2023 г.



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

Планируемые результаты обучения по ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен реализовывать на производстве технологии сухого компактирования порошковых материалов, используя методы горячего и холодного прессования, ультразвукового и коллекторного компактирования
ПК(У)-2	Способен диагностировать и модернизировать эксплуатационные свойства характеристики материалов с учетом наноразмерной составляющей, используя традиционное и современное оборудование и программное обеспечение приборов
ПК(У)-3	Способен исследовать состав и структуру веществ, с учетом специфики наноразмерных материалов, используя современное оборудование и программное обеспечение приборов
ПК(У)-4	Способен прогнозировать влияние микро- и нано- масштаба на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов при выборе и реализации технологии получения объемных наноматериалов
ПК(У)-5	Способен реализовывать технологии получения наноматериалов с учетом ресурсоэффективности и экологической безопасности

Школа

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

О.Л. Хасанов

«13» марта 2023

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы в форме магистерской работе

Обучающийся:

Группа	ФИО
4БМ12	Пэн Лижу

Тема работы:

Разработка “зеленого ингибитора” коррозии бронзы на основе наночастиц оксидов металлов

Утверждена приказом директора ИШНПТ Приказ № 61-7/с от 02.03.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы: 14.06.2023

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработка ингибитора на основе масла пихты (МП) /кедра (МК) и наночастиц оксидов титана и цинка для защиты от коррозии медных сплавов.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Оценить устойчивость ингибиторов для бронзы на основе масла пихты (МП) /кедра (МК) и наночастиц оксидов титана и цинка методом гравиметрии в среде концентрированной азотной кислоты. Определить параметры коррозии бронзы (потенциал, ток коррозии) в разбавленных электролитах из коррозионных диаграмм, полученных в потенциодинамическом режиме и в режиме циклической вольтамперометрии. Испытать разработанный ингибитор на модельных объектах из бронзы. Анализ социальной ответственности, финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения диссертационного исследования.
Перечень графического материала	СЭМ-изображения наночастиц, оптические изображения поверхности бронзы, коррозионные диаграммы, гравиметрические кривые, фотографии модельных объектов из бронзы в процессе тестирования

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Кащук И.В.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Приложение. Раздел на английском языке	Демьяненко Н. В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке: Литературный обзор

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке

Литературный обзор; экспериментальные методики; результаты и их обсуждение; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.03.2023
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н, доцент		13.03.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Пэн Лижу		13.03.2023

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования магистр
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения (весенний семестр 2022 /2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы в форме магистерской работе
 Обучающийся

Группа	ФИО
4БМ12	Пэн Лижу

Тема работы:

Разработка “зеленого ингибитора” коррозии бронзы на основе наночастиц оксидов металлов

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03.2023	1. Литературный обзор	20
23.03.2023	2. Экспериментальная часть	20
20.04.2023	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
03.05.2023	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
18.05.2023	5. Социальная ответственность	10
14.06.2023	6. Обязательное приложение на иностранном языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н, доцент		13.03.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О.Л.	Д.Т.Н., профессор		13.03.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Пэн Лижу		13.03.2023

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ12	Пэн Лижу

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<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>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<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:

<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

<i>Оценка конкурентоспособности ИП Матрица SWOT Диаграмма Ганта Бюджет НИ Основные показатели эффективности НИ</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Пэн Лижу		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4БМ12		ФИО Пэн Лижу	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

<i>Разработка “зеленого ингибитора” коррозии бронзы на основе наночастиц оксидов металлов</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования</i> - «зеленого» ингибитора коррозии металлов на основе наночастиц оксида металла.</p> <p><i>Область применения</i> - Защиты металлы от коррозии или замедляйте коррозию.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория в 206 аудитории 15 корпуса ТПУ по адресу проспект Ленина, 2А</p> <p><i>Размеры помещения лаборатория</i> Размеры помещения составляет 3×4×3 м, при общей площади 12 м²</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</i> Nano Spray Dryer B-90, (Швейцария); Весы электронные лабораторные ALC-110d4; Сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ); Потенциостат CorrTest CS310;</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования,</i> проведены в лаборатории (регистрация коррозионных диаграмм, испытание модельных образцов в солевом растворе). Все эксперименты с кислотами (получение гравиметрических кривых в растворе азотной кислоты) осуществляли под вытяжным устройством.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022).</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности;</p> <p>ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения;</p> <p>ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током; 2. Повышенная или пониженная температура материальных объектов рабочей зоны; 3. Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума; 2. Активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: отсутствует.</p> <p>Воздействие на литосферу: утилизация комплектующие ПК(отход V класса опасности).</p>

	<p>Воздействие на гидросферу: поступление наночастиц (отходов III класса опасности) в канализацию.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие неорганические наночастицы различной степени опасности.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях_ при эксплуатации	<p>Возможные ЧС техногенные аварии (пожар, авария электроэнергетических систем); случайное высвобождение нано порошка и превышение ПДК.</p> <p>Наиболее типичная ЧС возникновение пожара</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
01.05.2023	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Пэн Лижу		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 129 с., 56 рис., 51 табл., 48 источников.

Ключевые слова: ингибиторы коррозии, бронза, масло пихты, масло кедр, «зеленый» ингибитор, наночастицы оксида цинка, наночастицы оксида титана.

Объектом исследования являются: суспензии на основе наночастиц оксида цинка и титана и масла пихты (МП) /кедра (МК); бронза.

Цель работы – разработка ингибитора на основе масла пихты (МП) /кедра (МК) и наночастиц оксидов титана и цинка для защиты от коррозии медных сплавов.

В процессе исследования: проводились обзор литературы, посвященный разработке и применению зеленых ингибиторов; оценка защитных свойств ингибиторов на основе НЧ оксида цинка в смеси экстрактом и маслом пихты для защиты бронзы.

Методы исследования: гравиметрия, потенциометрия, коррозионные диаграммы, испытания в среде электролитов.

В результате исследований установлено, что использование наночастиц эффективно во всех исследуемых системах; ингибитор позволяет снизить скорость коррозии в 1,5 – 100 раз в зависимости от среды и условий испытаний.

Степень реализации: НИР

Сфера применения: решение актуально как для предприятий, эксплуатирующих металлическое оборудование, музеев, реставрационных мастерских.

Экономические преимущества: разработанный ингибитор готовится из дешевого и доступного сырья, производимого на территории РФ; обработка поверхности металла ингибитором не требует специальной квалификации.

Используемые в работе сокращения:

НЧ	—	наночастица (ы)
ПДП	—	потенциодинамическая поляризация
НРС	—	нанораспылительная сушка
УЗ	—	ультразвук
ПЭГ	—	полиэтиленгликоль
E_{corr}	—	потенциал коррозии
I_{corr}	—	ток коррозии
ЭДС	—	электродвижущая сила
E	—	электродный потенциал
РС	—	рапс
МП	—	масло пихты
МК	—	масло кедра

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	1
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	2
1.1 Ингибиторы коррозии на основе растительного сырья.....	2
<i>Критериальный анализ.....</i>	<i>15</i>
1.2 Ингибиторы коррозии на основе наночастиц оксидов металлов	18
<i>Критериальный анализ.....</i>	<i>27</i>
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ.....	29
2.1 Оборудование и материалы	29
2.2 Экспериментальные методики	29
2.2.1 Методика подготовки образцов и ингибиторов.....	29
2.2.2 Гравиметрический метод.....	31
2.2.3 Методика регистрации коррозионных диаграмм.....	32
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	40
3.1. Характеристики наночастиц.....	40
3.2 Гравиметрические испытания бронзы масло пихты / масло кедров оксида титана / цинка.....	42
3.3 Коррозионные диаграммы бронзы в потенциодинамическом режиме.....	49
3.4 Циклическая вольтамперометрия	52
3.5 Сравнение результатов анализа ЦВА и ПД	54
3.6 Тестирование модельных объектов	55
3.7 Оптическая микроскопия.....	58
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	61
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения	61
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	61
4.1.2 SWOT-анализ	63
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	67
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	67
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	68
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	70

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77
Выводы по разделу	79
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	80
Введение	80
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
5.2 Производственная безопасность	82
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	84
5.2.2 Расчет освещенности помещения НИИ.....	88
5.3 Экологическая безопасность	91
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
Выводы по разделу	93
ВЫВОДЫ	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	96
СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ А	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Изменение массы образцов в концентрированных кислотах.....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ В Результаты потенциодинамических испытаний бронзы .	117

ВВЕДЕНИЕ

Коррозия является наиболее распространенной и серьезной проблемой в современной промышленной жизни. Она наносит ущерб промышленным объектам, городской инфраструктуре и историческому наследию. Для ее решения проблемы требуются различные ингибиторы.

В последнее время активно разрабатываются «зеленые ингибиторы»– это вещества, которые имеют либо растительное происхождение, либо являются отходами производства. Таким образом, для снижения скорости коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты. Природные вещества достаточно легкодоступны, производятся из возобновляемых источников и, что немаловажно, обладают низкой экологической нагрузкой [1].

Другим современным направлением является использование наноматериалов при создании ингибиторов коррозии. Наночастицы металлов и их оксиды нашли широкое применение в качестве компонентов ингибиторов коррозии металлов [2]. Благодаря своим размерам они легко заполняют дефекты поверхности и значительно повышают коррозионную стойкость. Например, графен является самым тонким и легким защитным покрытием и очень популярен для практического применения [3].

В своей работе мы предлагаем объединить два этих направления: использование зеленого ингибитора и наночастиц.

Цель работы – разработка ингибитора на основе масла пихты (МП) /кедра (МК) и наночастиц оксидов титана и цинка для защиты от коррозии металлов.

Задачи:

1. Оценить устойчивость ингибиторов на основе масла пихты (МП) /кедра (МК) и наночастиц оксидов титана и цинка методом гравиметрии в среде концентрированной азотной кислоты.
2. Определить параметры коррозии бронзы (потенциал, ток коррозии) в разбавленных электролитах из коррозионных диаграмм, полученных в потенциодинамическом режиме и в режиме циклической вольтамперометрии.
3. Испытать разработанный ингибитор на модельных объектах из бронзы.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В обзоре было уделено внимание ингибиторам коррозии на основе растительного сырья. Так как в рамках магистратурой работе планировалось использовать смеси экстрактов растений и наночастиц оксидов металлов, то для обзора были выбраны, соответственно, два направления:

- ингибиторы на основе растительного сырья;
- синтез и применение наночастиц оксидов металлов в качестве ингибиторов коррозии.

Так как основным объектом исследования являются медьсодержащие сплавы, то, в основном были рассмотрены ингибиторы для меди и бронзы.

1.1 Ингибиторы коррозии на основе растительного сырья

Коррозия является важной проблемой экономики, окружающей среды и безопасности и влияет на многие конструкции, особенно на металлические материалы [4]. Это одна из основных причин изменения и разрушения большинства установок и оборудования. Медь часто используется из-за ее свойств коррозионной стойкости. Однако этот металл не является полностью невосприимчивым к коррозии, и часто наблюдаются точечные повреждения. Предпринимаются значительные усилия по поиску подходящих соединений для использования в качестве ингибиторов в различных агрессивных средах, чтобы максимально остановить или замедлить коррозию металла. Поэтому защита металлов и сплавов представляет особый интерес, и одним из подходов является использование ингибиторов коррозии [5]. Большое количество органических соединений было исследовано на предмет их способности ингибировать коррозию, и составляют класс ингибиторов зеленого цвета [6]. Ряд исследователей доказали, что натуральные продукты являются наиболее подходящими с точки зрения их безопасного воздействия на окружающую среду. Они богаты эффективными органическими соединениями, обладающими сильными ингибирующими свойствами против коррозии металлов [7]. Низкая стоимость, экологичность, биоразлагаемость и высокая доступность этих «экологических» или «зеленых» соединений сделали их одними из наиболее часто применяемых в качестве ингибиторов коррозии [8].

В работе [9] описано эфирное масло *Myrtus Communis* (МС) из Марокко, которое состоит из 1,8-цинеола (35,6%), миртенилацетата (32,7%) и α -пинен (8,9%). После сушки растительного материала при комнатной температуре и в тени в течение трех недель перед использованием Листья мирта подвергали гидродистилляции в течение 2 ч с использованием аппарата Клевенджера. Полученный летучий экстракт обезвоживали безводным сульфатом натрия и хранили при 4 °С в темноте перед использованием. Ингибирующее действие этого масла, изученное на примере коррозии меди в растворе 0,5 М H_2SO_4 .

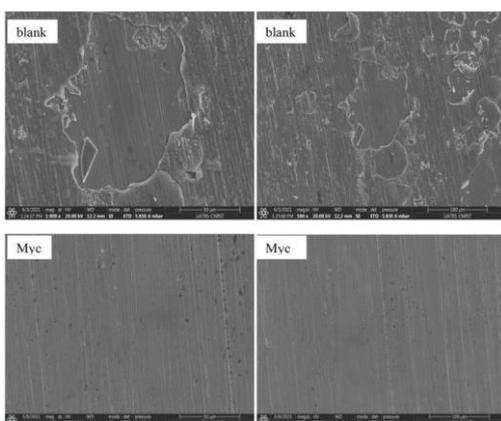


Рисунок 1.1.1 – СЭМ-микрофотографии меди после 24-часового погружения в 0,5 М H_2SO_4 в чистом виде (пустой) и с 2 г / л МС.

первоначальный вид.

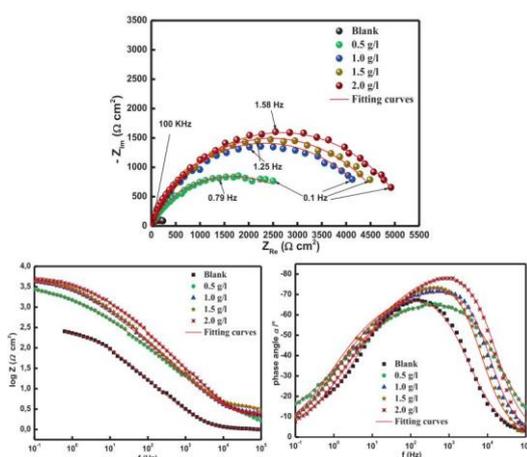


Рисунок 1.1.2 – Электрохимическая спектроскопия импеданса меди в 0,5 М растворе H_2SO_4 , зарегистрированный при различных концентрациях МС: представление Найквиста и представление Боде.

На рисунке 1.1.1 показана поверхность меди после 24-часового погружения в аэрированный 0,5 М раствор H_2SO_4 в отсутствие и в присутствии ингибитора. Образец меди без ингибитора сильно поврежден и сильно корродирован с наличием трещины и многочисленные питтинги, свидетельствующие об окислении меди, металл с ингибитором не имеет шероховатости и сохраняет свой

Для изучения электрохимического поведения меди использовали диаграммы импеданса в представлении Найквиста и Боде (рисунок 1.1.2).

Поляризационное сопротивление (R_p) увеличивается с увеличением концентрации МС в исследуемом коррозионном растворе; это подтверждает адсорбцию молекул ингибитора на границе раздела

медь / электролит. Это увеличение поляризационного сопротивления хорошо согласуется с резким уменьшением плотности тока коррозии, что подтверждается анализом вольт-амперных кривых.

Таким образом, *Myrtus Communis* подавляет коррозию меди в испытуемом растворе со значительной эффективностью, которая возрастает с увеличением концентрации масла до 93,5% при концентрации 2 г / л.

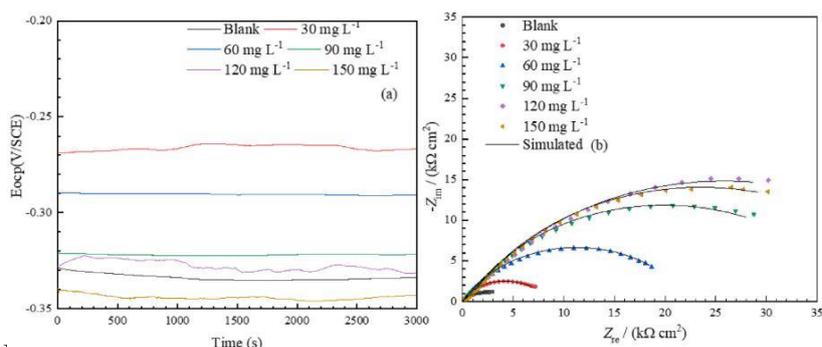


Рисунок 1.1.3 – Графики потенциала холостого хода (а), графики Найквиста (б) Меди электродов без и с ДТКГ самособирающиеся монослои(СМ) после погружения в 3 %-й NaCl на 4 ч

аминирования и нуклеофильного присоединения. Экспериментальными и теоретическими методами изучено антикоррозионное поведение ДТК для меди в 3 %-м растворе NaCl.

Кривая потенциала холостого хода для меди в растворе NaCl, содержащем ДТКГ с различными концентрациями или без них после 3-часового погружения показана на рисунке 1.1.3 (а). На рисунке 1.1.3 (б) показаны графики Найквиста для медных электродов без и с ДТКГ самособирающиеся монослои(СМ) после погружения в NaCl на 4 часа. Существует диффузия ионов Cl⁻ или растворимых комплексов CuCl₂ в процессе коррозии меди под действием хлорид-иона.

На рисунке 1.1.4 показаны изображения образцов меди после различных обработок, полученные с помощью СЭМ и ЭДС. На рисунке 1.4 (а) показано, что царапины, оставленные шлифованием образца, исчезли, а на поверхности образца появляются большие коррозионные язвы после того, как холостой образец погружен в среду с NaCl на 24 ч, тогда как на рисунке 1.1.4 (б) появляется пик элемента Cl при 2,64 кэВ. Это указывает на то, что коррозионные ямки на поверхности меди вызваны хлорид-ионом. На рисунке 1.1.4 (с) показано, что упорядоченные царапины покрыты слоем мелкозернистого материала для образца с ДТК СМ. Все три элемента С, N и

В работе [10]
показан новый
экологически чистый
ингибитор коррозии под
названием глюкоза,
модифицированная
дитиокарбаматом (ДТК),
был синтезирован из
глюкозы путем реакции

S происходят от ДТК СМ, адсорбированных на медной поверхности. На рисунке 1.1.4 (е) показано, что упорядоченные царапины остаются четко видимыми, а

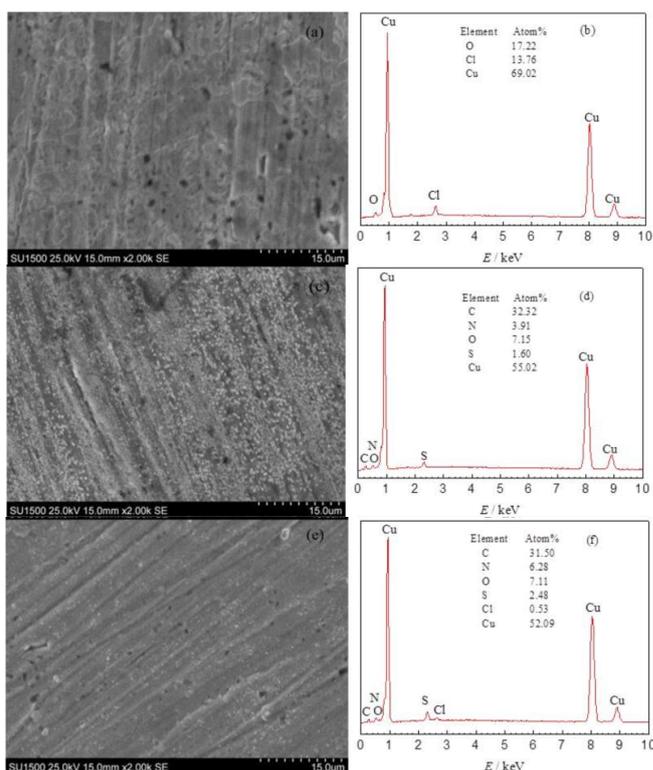


Рисунок 1.1.4 – Изображения СЭМ и ЭДС для образцов меди, на которых (а) и (b): холостой образец после погружения в среду с 3 мас.% NaCl на 24 часа; (с) и (d): образец после самостоятельной сборки в растворе ДТКГ 120 мг / л; (е) и (f): образец с образцами ДТКГ СМ после выдержки в среде с 3 мас.% NaCl в течение 24 часов.

коррозионные язвы малы для образца с образцами ДТК СМ после выдержки в среде с NaCl в течение 24 часов. Однако обнаруженное содержание Cl (0,53%) намного меньше, чем в холостом образце (13,76%), что позволяет предположить, что ДТК СМ могут эффективно предотвращать коррозию ионов хлора (см. Рисунок 1.1.4).

Результаты показывают, что его максимальная ингибирующая эффективность может превышать 96% с использованием различных технологических оценок. ДТКГ как ингибитор смешанного типа прочно адсорбируется на

поверхности меди и имеет типичную хемосорбцию. ДТКГ демонстрирует значительные антикоррозионные свойства по сравнению с другими ингибиторами на основе глюкозы.

В работе [11] описано в основном исследовала антикоррозионную природу и механизм экстракт листьев люфы на содержание меди в среде H₂SO₄.

На рисунке 1.1.5 показаны спектры электрохимического импеданса медных электродов, погруженных в серноокислотную среду с разными концентрациями экстракт листьев люфы. Как показано на рисунке 1.1.5 (а), когда концентрация экстракт листьев люфы составляет менее 400 мг / л и в холостом растворе, график Найквиста состоит из импеданса Варбурга в области низких частот и емкостной петли в области низких частот. На рисунке 1.1.5 (b), по мере увеличения концентрации экстракт листьев люфы, график модуля импеданса и графики

фазового угла на графике Бode становятся больше и шире, что показывает, что экстракт листьев люфы может эффективно контролировать медную коррозию в H_2SO_4 .

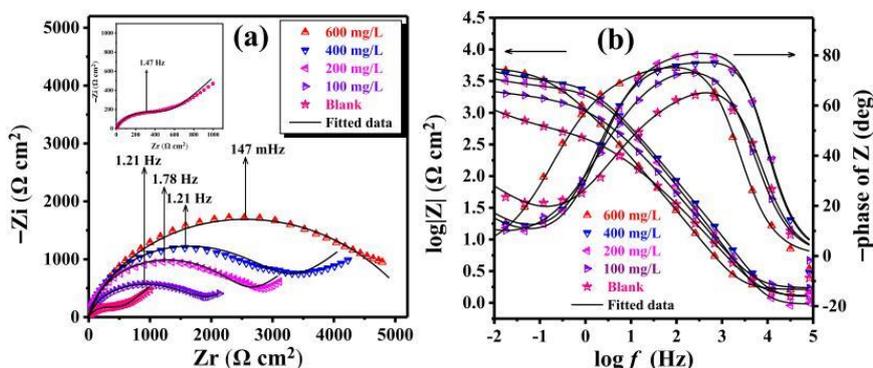


Рисунок 1.1.5 – (а) График Найквиста и (б) График Бode меди, погруженной в H_2SO_4 на 0,5 ч с различными концентрациями экстракта листьев при 298 К.

шлифовки наждачной бумагой 5000 #. Вся медная поверхность после полировки становится довольно гладкой, и следы после полировки хорошо видны. На рисунке 1.1.6 (а) показаны характеристики поверхности образца Меди после погружения в 0,5 М H_2SO_4 в течение 20 часов. Вся медная поверхность напоминает коралловый камень. На рисунке 1.1.6 (b) показана морфология поверхности образца Меди после его погружения в раствор H_2SO_4 , содержащий 600 мг / л экстракта листьев люфы, на 20 часов. Сравнение рисунке 1.1.6 (а) может эффективно доказать, что экстракт листьев люфы может сдерживать коррозию меди в среде серной кислоты.

Анализ морфологии поверхности показывает, что при добавлении экстракт листьев люфы в раствор для коррозии экстракт листьев люфы может эффективно ингибировать коррозию меди при 298 К в течение 20 часов. Данные электрохимических испытаний показывают, что при

На рисунке 1.1.6 показаны СЭМ-изображения образцов Меди после различных экспериментальных обработок. Рисунок 1.1.6 (с) представляет собой морфологию поверхности образца Меди после

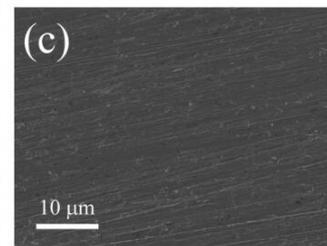
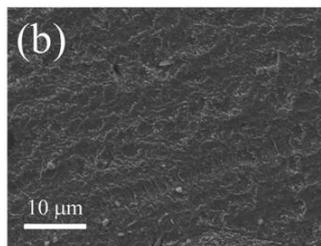
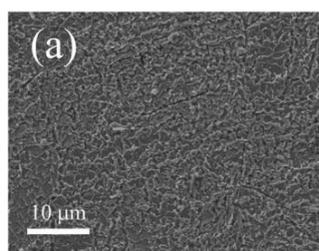


Рисунок 1.1.6 – СЭМ-диаграммы Си при различных экспериментальных условиях: (а) Замочите образец Меди в 0,5 М H_2SO_4 в течение 20 часов при 298 К. (б) Замочите образец меди в среде H_2SO_4 , содержащей 600 мг / л экстракта листьев люфы, на 20 часов. в при 298 К. (с) Топография поверхности Меди сразу после полировки.

наличии экстракт листьев люфы медный электрод может быть эффективно защищен. Когда концентрация экстракт листьев люфы достигает 600 мг / л, его способность ингибировать коррозию может достигать 91,3%.

В работе [12] 2,5-дигидрокси-1,4-дитиан (ДДД) и 2,5-диметил- [1.4] дитиан-2,5-диол (ДТДД) два пищевых ароматизатора в качестве экологически безопасных ингибиторов Меди в 0,5 моль / л H_2SO_4 . Данные электрохимических измерений показали, что ДДД и ДТДД могут проявлять высокие антикоррозионные свойства, антикоррозийная эффективность составила 99,6% и 98,9% соответственно.

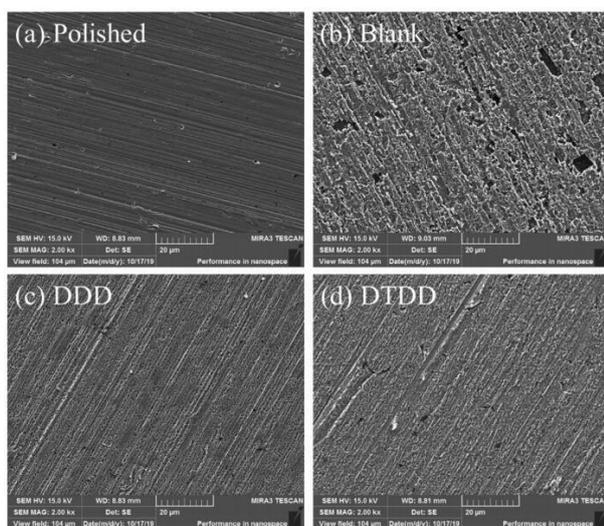


Рисунок 1.1.7 – Морфология образцов меди при различном экспериментальном статусе. (a) Поверхность образца Cu сразу после полировки (b) поверхность образца Меди замачивают в 0,5 М H_2SO_4 через 30 часов (c), Образец меди вымачивают в 0,5 М H_2SO_4 с 5 ммоль / л ДДД через 30 часов. (d) Погружение образца меди в 0,5 М H_2SO_4 с 5 мМ ДТДД через 30 часов.

На рисунке 1.1.7 представлена морфология образцов Меди в различных условиях эксперимента. Рисунке 1.1.7 (a) представляет собой морфологию образца Меди после полирования на чистую наждачную бумагу. Поверхность образца Меди после полировки становится очень гладкой, оставляя на поверхности некоторые полировальные царапины. Рисунке 1.1.7 (b) представляет собой морфологию образца меди, выдержанного в 0,5 М H_2SO_4 в течение 30 часов при 298 К. Вся граница раздела образца Меди была серьезно корродирована. Рисунке 1.1.7 (c) и (d) представляет собой морфологию

образцов Меди, выдержанных в 0,5 М H_2SO_4 в течение 30 часов с 5 мМ ДДД и ДТДД при 298 К. Следовательно, это убедительно указывает на то, что ДДД и ДТДД могут ингибировать коррозию Меди в среде H_2SO_4 .

На рисунке 1.1.8 показано трехмерное изображение морфологии образцов Меди в различных условиях и соответствующая шероховатость поверхности. Рисунок 1.1.8 (a) представляет собой трехмерную морфологию поверхности образца Меди после полировки. Полированная поверхность Меди очень гладкая. Рисунок 1.1.8 (d) представляет собой трехмерную морфологию меди, погруженной в 0,5 моль / л H_2SO_4 на 30 часов при температуре 298 К. Вся поверхность образца Меди

серьезно корродирована сернокислой средой. Рисунок 1.1.8 (b) и (c) представляет собой топографию поверхности образцов Меди после выдержки в 0,5 М сернокислой среде с 5 мМ ДДД и ДТДД в течение 30 часов при 298 К соответственно.

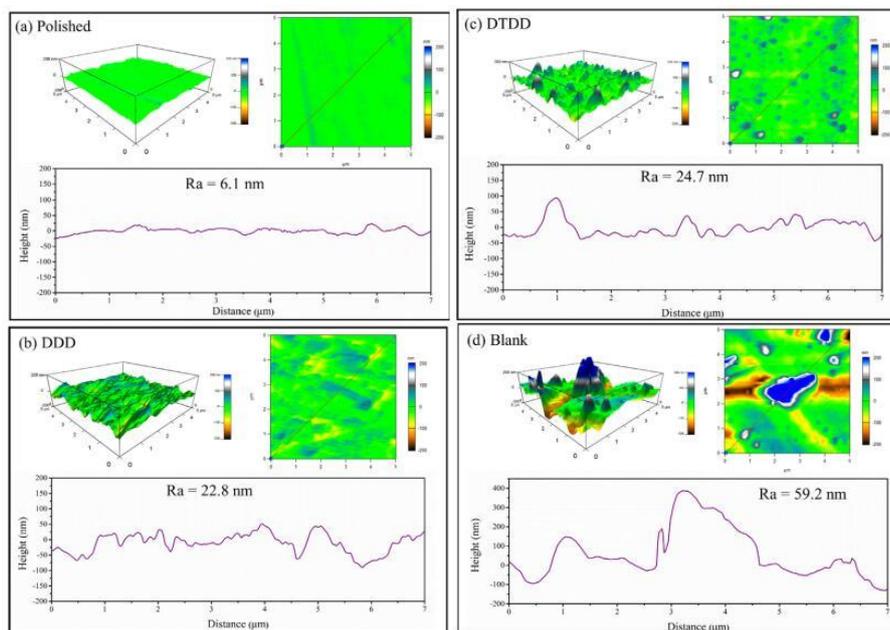


Рисунок 1.1.8 – Трехмерная морфология образцов меди в различных статусах испытаний. (a) Морфология поверхности образца Меди сразу после полировки. (b) Погружение образца меди в среду 0,5 моль / л H_2SO_4 с 5 мМ ДДД через 30 часов. (c) Погружение образца меди в раствор H_2SO_4 с концентрацией 0,5 моль / л с 5 мМ ДТДД через 30 часов. (d) Образец меди, пропитанный 0,5 М H_2SO_4 через 30 часов.

Высота пиков и впадин значительно снижается для холостого раствора.

Испытания с помощью силового микроскопа (АСМ) и сканирующего электронного микроскопа показали, что образцы Меди были погружены в H_2SO_4 с 5 мМ ДДД и ДТДД на 30 часов при 298 К, и поверхность образцов Меди оставалась гладкой. Данные теоретических расчетов показали, что ДДД проявляет более сильные антикоррозионные свойства, чем ДТДД.

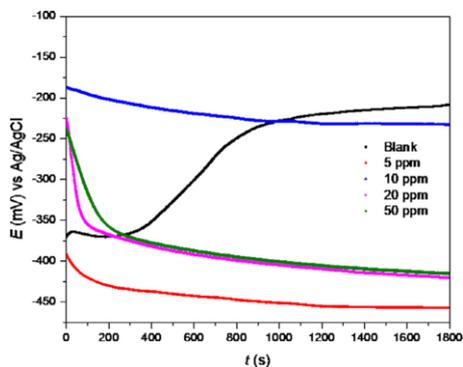


Рисунок 1.1.9 - Кривые изменения потенциала от времени в отсутствие и в присутствии ЭГ различной концентрации для бронзы, погруженной в 3% раствор NaCl.

В работе [13] написано природный ингибитор (-)-галлат эпикатехина был выделен из зеленого чая и добавлен к 3% раствору NaCl, в который была погружена бронза. Это было сделано для того, чтобы оценить влияние ЭГ на металлическую деталь с целью определения процесса его адсорбции и наблюдения за стойкостью

пленки, образующейся при длительном времени погружения.

На рисунке 1.1.9 представлены кривые, соответствующие бронзовому рабочему электроду в отсутствие и в присутствии ЭГ в испытательном растворе в течение 1800 с при потенциале холостого хода. Можно заметить, что стационарное состояние было достигнуто примерно через 1700 с.

На рисунке 1.1.10 представлены результаты электрохимическая спектроскопия импеданса для испытанных образцов с ингибиторами и без них. В системе без ингибитора наблюдается только одна постоянная времени (рисунке 1.1.10a), поэтому предполагалось, что этот процесс контролируется сопротивлением переносу заряда. При добавлении различных концентраций ЭГ (5–50 частей на миллион) и изображенной полукругом вдавленной линии предлагаются две константы времени: одна относится к сопротивлению переноса заряда (R_{ct}), а другая — к сопротивлению пленки (RF) (рисунок 1.1.10б).

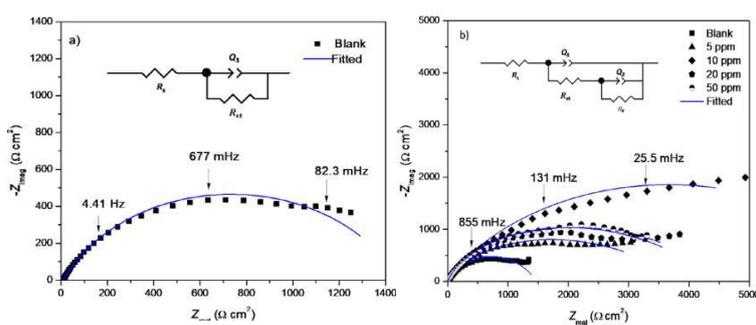


Рисунок 1.1.10 – Диаграммы Найквиста а) без ингибитора и б) различных концентраций ЭГ для бронзы, погруженной в 3% раствор NaCl.

Наблюдается, что значение R_{ct} достигает максимума при 10 ppm и уменьшается при добавлении более высокой концентрации ингибитора, что объясняется процессом адсорбции-десорбции, происходящим на

металлической поверхности. С другой стороны, снижение Cdl объяснялось повышением однородности поверхности за счет ингибирующего эффекта. Адсорбция ЭГ на поверхности электрода вызвала движение молекул воды и других ионов, первоначально адсорбированных на поверхности бронзы. Наконец, η достигло 84% при 10 ppm, что было оптимальной концентрацией для системы коррозии бронзы. Это было связано с тем, что процент η уменьшался при увеличении концентрации ингибитора, что было связано с адсорбированными молекулами и быстрым процессом десорбции.

В работе [14] защитные свойства прополиса в различных концентрациях, как ингибитора зеленой коррозии бронзы в аэрированном слабокислом растворе, содержащем Na_2SO_4 и $NaHCO_3$ (pH 5), имитирующем кислотные дожди в городских

условиях. Насколько нам известно, прополис до сих пор никогда не использовался для целей изучения ингибирования коррозии бронзы. В связи с этим для исследования был выбран образец прополиса темно-коричневого цвета.

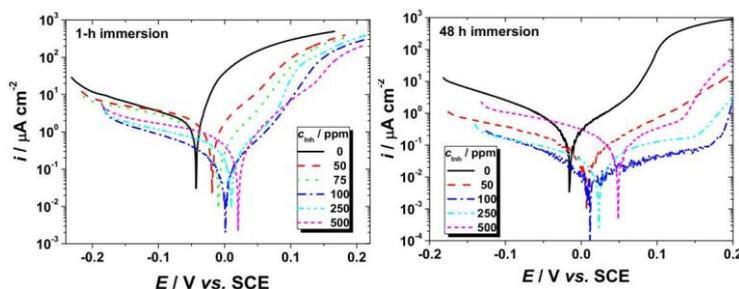


Рисунок 1.1.11 – Поляризационные кривые бронзы после разного времени выдержки в растворе $0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ (pH 5) в отсутствие и в присутствии прополиса в различных концентрациях.

На рисунке 1.1.11 представлены катодная и анодная поляризационные кривые, полученные в присутствии прополиса различных концентраций в NaHCO_3 (pH 5) после погружения в течение 1 ч и 48 ч

соответственно.

Из рисунка 1.1.11 видно, что как анодное растворение бронзы, так и катодная реакция восстановления кислорода ингибируются добавлением прополиса в коррозионно-активный электролит. Ингибирующее действие прополиса на эти реакции оказалось более выраженным при более длительном времени воздействия.

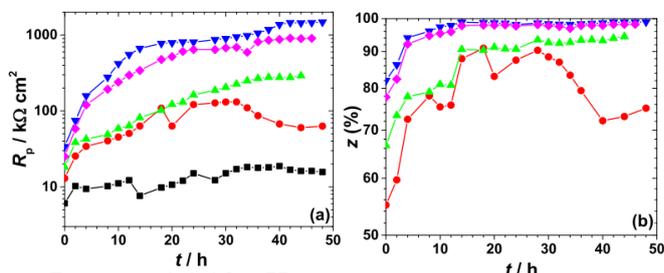


Рисунок 1.1.12 – Изменение поляризационной устойчивости (а) и эффективности ингибирования (б) в зависимости от времени погружения в $0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ (pH 5) в отсутствие (■) и в присутствии прополиса при различные концентрации (ppm): (●)50, (▲)75, (▼)100 и (◆)500

Изменения значений R_p и z в зависимости от времени погружения в отсутствие и в присутствии прополиса в различных концентрациях представлены графически на рисунке 1.1.12.

Значения R_p увеличивались в растворах, содержащих прополис, причем этот эффект был более выражен при увеличении концентрации ингибитора до 100 ppm, а затем несколько уменьшался (рисунке 1.1.12а). По мере увеличения времени воздействия примерно до 12 часов значения z постепенно увеличиваются, что свидетельствует об образовании высокозащитного слоя на поверхности бронзы, что значительно снижает химическое воздействие на металл. После этого периода, за исключением раствора, содержащего 50 ppm прополиса, ингибирующая эффективность достигала высоких значений ($> 95\%$), которые

впоследствии оставались практически постоянными (рисунке 1.1.12b), подтверждая способность прополиса обеспечивать длительную защиту бронзы от коррозии.

В исследованных экспериментальных условиях самые высокие значения z в диапазоне 98,9% были получены в присутствии 100 ppm прополиса. Дальнейшее увеличение концентрации прополиса показало небольшое снижение его ингибирующей способности, что согласуется с результатами, полученными при измерениях поляризации.

В работе [15] четыре производных фенотиазина впервые исследованы в качестве ингибиторов коррозии бронзы в растворе, содержащем Na_2SO_4 и NaHCO_3 (pH 5), имитирующем кислотный дождь в городских условиях.

Коррозионное поведение бронзы после 1-часового погружения в агрессивные растворы без производных фенотиазина и с различными концентрациями было исследовано методом электрохимической импедансной спектроскопии (EIS). Измерения проводились при потенциалах холостого хода, полученные диаграммы Найквиста представлены на рисунке 1.1.13.

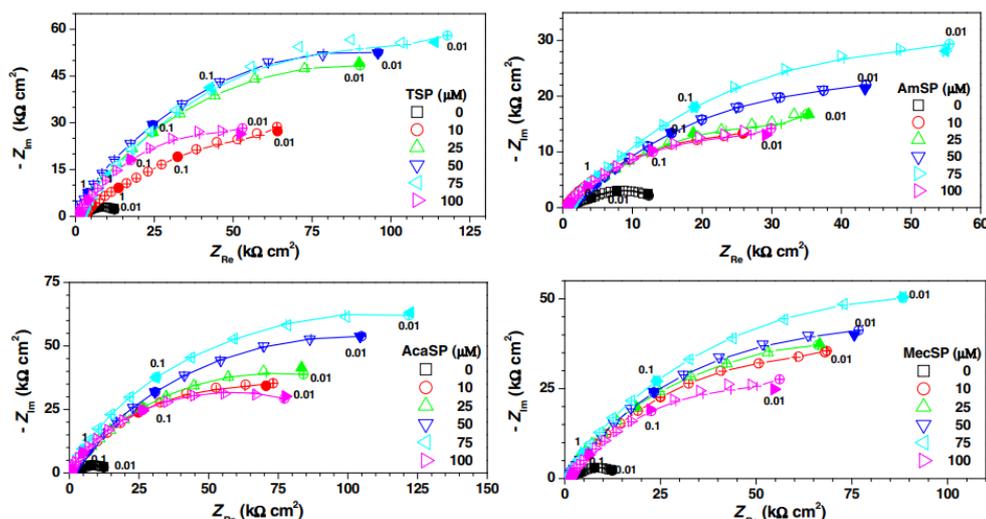


Рисунок 1.1.13 – Диаграммы импеданса Найквиста бронзового электрода в растворе $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{NaHCO}_3$ (pH 5) без и с различными концентрациями производных фенотиазина. (– + –) смоделированные диаграммы. Частоты выражены в Гц.

Импедансный отклик бронзы изменился после добавления в раствор производных фенотиазина; значительное увеличение низкочастотного предела импеданса (поляризационного сопротивления), наблюдаемое в присутствии органических соединений, подтверждает их ингибирующее действие на растворение бронзы.

Как видно на рисунке 1.1.13, экспериментальные петли импеданса представляют собой вдавленные полуокружности с центрами ниже действительной оси вследствие шероховатости и других неоднородностей твердой поверхности.

Используемые эквивалентные схемы правильно воспроизводят экспериментальные данные, соответствующие коррозии бронзы в отсутствие и в присутствии производных фенотиазина, как показано на рисунке 1.1.13, где символы и пунктирные линии представляют измеренные данные и их наилучшее соответствие соответственно.

Изменения емкости двойного слоя (C_d) и фарадеевской емкости (CF) в зависимости от концентрации органических ингибиторов представлены на рисунке 1.1.14.

На рисунке 1.1.14 показывают, что сопротивление пленок в присутствии производных фенотиазина относительно велико и их значения увеличиваются с увеличением концентрации ингибиторов, тогда как во многих случаях значения емкости пленок уменьшаются. Это свидетельствует о том, что поверхностный слой, покрывающий поверхность электрода, в присутствии органических ингибиторов, вероятно, является более защитным, чем в их отсутствие, что затрудняет ионную проводимость через этот слой.

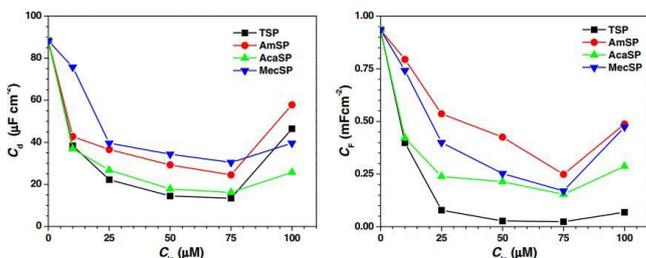


Рисунок 1.1.14 – Емкости C_d и CF рассчитаны по данным импеданса в зависимости от концентраций производных фенотиазина.

Значения R_{ct} и эффективность ингибирования увеличиваются при добавлении к контрольному раствору производных фенотиазина, что свидетельствует о выраженном антикоррозионном действии этих соединений на растворение бронзы, вероятно, вследствие их абсорбции на поверхности бронзы. Этот эффект усиливается при увеличении концентрации соединений, что позволяет предположить, что защитный эффект ингибиторов обусловлен, скорее всего, уменьшением площади поверхности, контактирующей с агрессивным раствором. Наивысшая эффективность ингибирования достигает 91,9% для AcaSP при уровне концентрации 75 мкМ.

В работе [16] исследование посвящено применению спиртового экстракта семян конского каштана (*Aesculus hippocastanum* L.) в качестве потенциального нетоксичного ингибитора коррозии бронзы в слабокислом растворе, содержащем Na_2SO_4 и NaHCO_3 (pH 5), имитирующем кислотный дождь в городской среде. В данной работе электрохимическими методами исследованы антикоррозионные свойства спиртового экстракта конского каштана (НСЕ) на коррозию бронзы.

На рисунке 1.1.15 приведены типичные примеры спектров импеданса, представленных в виде диаграмм Найквиста и диаграмм Бode, измеренных на корродирующем бронзовом электроде при различном времени погружения в неингибированную бронзу и в бронзу, подвергнутую воздействию растворов, содержащих НСЕ.

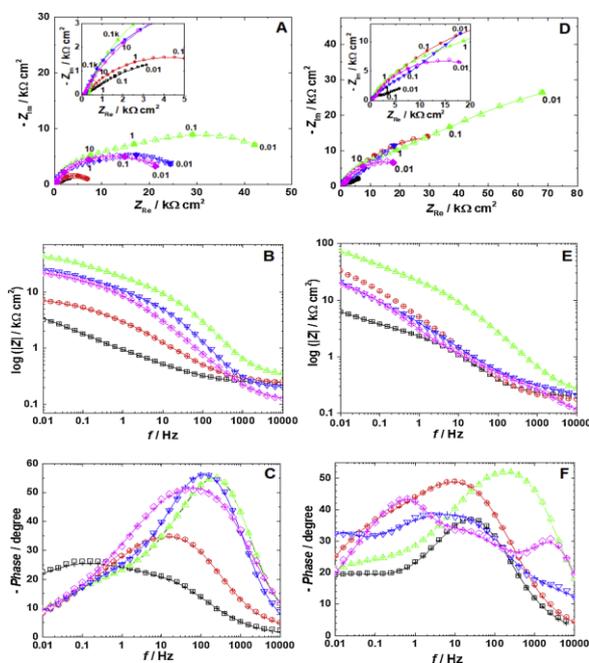


Рисунок 1.1.15 –
Графики Найквиста (А, D) и графики Бode (В, С, Е, F) для растворов образцов бронзы после 1 ч (А–С) и 14 ч (D–F) погружения в $0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ NaHCO}_3 + \text{х г л}^{-1}$ раствора НСЕ (pH 5). Концентрации НСЕ: (□) 0, (○) 0,1, (△) 0,5, (▽) 0,75 и (◇) 1 г/л. Цифры на диаграммах Найквиста относятся к частоте в Гц.

После 1ч погружения антикоррозионная эффективность НСЕ довольно умеренная, как показано на рисунке 1.1.16В. Постепенное усиление его ингибирующих свойств было замечено примерно через 14 часов, когда z (%) достигло максимальных

значений 84,8%, 94,1% и 82,8% для концентраций НСЕ 0,1, 0,5 и 0,75 г/л соответственно. Хотя ингибирующая эффективность НСЕ несколько снижалась при более длительном погружении до 36 часов, этот натуральный продукт обеспечивал приемлемо длительную антикоррозионную защиту бронзы в растворе $0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ (pH 5).

Измерения электрохимической импедансной спектроскопии (EIS) показали, что ингибирующее действие НСЕ в основном связано с образованием тонкой защитной пленки за счет адсорбции его компонентов на поверхности бронзы, что в

некоторой степени препятствует процессу переноса заряда и стабилизирует продукты коррозии, обеспечивая улучшенную защиту.

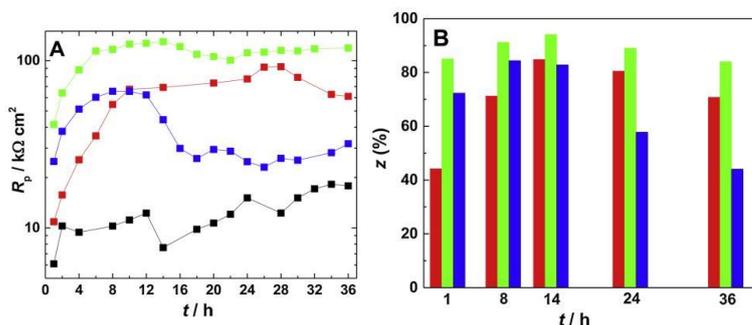


Рисунок 1.1.16 – Эволюция во времени (А) сопротивления поляризации и (В) эффективности ингибирования для образцов бронзы при погружении в раствор $0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ г л}^{-1} \text{ NaHCO}_3 + x \text{ г л}^{-1} \text{ HCE}$ (pH 5). Концентрации ГХЭ: (■) 0, (■) 0,1, (■) 0,5 и (■) 0,75 г/л.

В работе [17] написано *Portulaca grandiflora*, широко известная как моховая роза, розовый мох или солнечное растение, представляет собой небольшое травянистое однолетнее растение, принадлежащее к

семейству *Portulacaceae*. Оно широко распространено и может содержать сложные органические вещества, такие как фенолы, аскорбиновая кислота и галловая кислота. В настоящей работе лист *P. grandiflora* (PGL) был впервые извлечен и оценен как ингибитор коррозии для мягкой стали в HCl .

В неингибированной и ингибированной $0,5 \text{ M HCl}$ скорость коррозии возрастала с повышением температуры. С повышением температуры до достижения максимального значения $95,1\%$, что приписывается увеличению хемосорбции молекул PGL на поверхности металла. Адсорбция ингибитора на поверхности стали представляет собой важный шаг в понимании эффективности ингибитора в кислых растворах. Одним из выводов является то, что реакция коррозии была предотвращена на участках, защищенных адсорбированными молекулами PGL, что

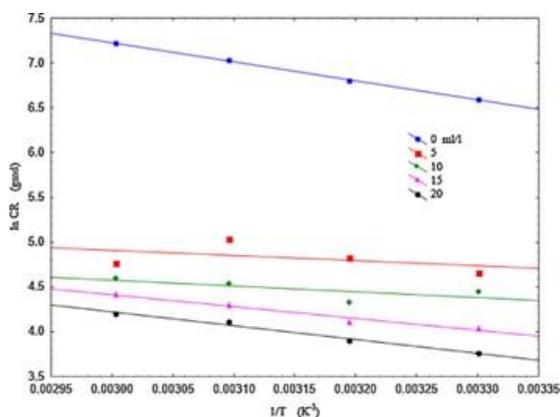


Рисунок 1.1.17 Графики Аррениуса стали N80 в неингибированной и ингибированной $0,5 \text{ M HCl}$.

означает, что коррозия Реакции обычно происходят на активных центрах, не содержащих PGL. По сравнению со многими другими растительными экстрактами, PGL представляет собой значительный ингибитор стали в $0,5 \text{ M HCl}$.

Скорость коррозии $[\ln(CR)]$ в зависимости от величины, обратной абсолютной температуре ($1/T$), как показано

на рисунке 1.1.17. Наклоны и точки пересечения линий уравнений Аррениуса можно использовать для оценки значений E_a и A соответственно.

В таблице 1 приведены E_a и A для реакций коррозии металлов в ингибированных и неингибированных кислых растворах. E_a в отсутствие PGL выше, чем значения в ингибированном растворе. Уменьшение значения E_a представляется недостоверным, что может быть связано с увеличением площади поверхности, покрытой молекулами PGL при повышенных температурах. Как показано в таблице 4, значения A в присутствии PGL были ниже, чем в растворе без PGL, т.е. благоприятны для ингибирования скорости коррозии. Эти результаты согласуются со многими данными в литературе, которые указывают на то, что повышение A увеличивает скорость коррозии металла.

Таблице 1. Параметры адсорбции PGL при различных температурах.

T (°C)	K (L/mL)	ΔG_{ads} (kJ/mol)
30	1.13	-17.71
40	1.45	-18.94
50	1.48	-19.61
60	2.87	-22.04
Average value	1.73	-20.00

Добавление PGL к 0,5 М раствору HCl привело к значительному снижению скорости коррозии стали Н80. Была получена максимальная эффективность ингибирования 95% при высоких уровнях температуры и концентрации ингибитора.

Критериальный анализ

Таблица.2. Критериальный анализ ингибиторов на основе растительного сырья для меди.

Ингибитор	Эффективность ингибирования коррозии	Способ нанесения на поверхность металла	Тип адсорбции	Раствор, в котором проводят испытания	Ссылка
Эфирное масло Myrtus Communis (MC)	93.5%	Добавление ингибитора в агрессивную среду (Замочить медь азрированном растворе H ₂ SO ₄ с эфирным маслом Myrtus Communis на 24 часа.)	Физическая адсорбция	0,5 М H ₂ SO ₄	[9]
Дитиокарбамат модифициро	96%	Погрузить медный электрод в раствор	Химическая адсорбция	3 мас.% NaCl	[10]

ванная глюкоза (DTCG)		DTCG различной концентрации 4ч.			
Экстракта листьев экстракт листьев люфы	91.3%	Добавление ингибитора в агрессивную среду Погрузить образец меди в раствор H ₂ SO ₄ , содержащий экстракт листьев люфы на 20 часов.	Химическая адсорбция и физическая адсорбция	0,5 М H ₂ SO ₄	[11]
2,5-дигидрокси-1,4-дитиан (ДДД) и 2,5-диметил-[1.4] дитиан-2,5-диол (ДТДД)	99.6% и 98.9%	Добавление ингибитора в агрессивную среду (При 298 К образец меди погружали в среду H ₂ SO ₄ , содержащую 5 ммоль / л DDD или DTDD, на 30 часов.)	Химическая адсорбция		[12]
(-)-Галлат эпикатехина (ЭГ)	84%	Замочить бронзу в 3% NaCl с (-)-галлатом эпикатехина	Химическая адсорбция и физическая адсорбция	3% NaCl	[13]
Прополис	98.9%	Погрузить образец бронзы в раствор 0,2 г л ⁻¹ Na ₂ SO ₄ + 0,2 г л ⁻¹ NaHCO ₃ (pH 5), содержащий прополис на 48 часов.	Химическая адсорбция	0,2 г л ⁻¹ Na ₂ SO ₄ + 0,2 г л ⁻¹ NaHCO ₃ (pH 5)	[14]
Производные фенотиазины	91.9%	Погрузить образец бронзы в раствор 0,2 г л ⁻¹ Na ₂ SO ₄ + 0,2 г л ⁻¹ NaHCO ₃ (pH 5), содержащий Производных фенотиазина на 1 час.	Химическая адсорбция		[15]
Экстракта конского каштана (HCE)	94.1%	Погрузить образец бронзы в раствор 0,2 г л ⁻¹ Na ₂ SO ₄ + 0,2 г л ⁻¹ NaHCO ₃ (pH 5), содержащий HCE на 1 час.	Физическая адсорбция		[16]
Portulaca grandiflora	95%	Погрузить образец мягкой стали в раствор 0.5 М HCl, содержащий PGL на 24 часов.	Химическая адсорбция и физическая адсорбция	0,5 М HCl	[17]

В работах 9–17 в основном сравниваются шесть вышеупомянутых стандартов. Можно видеть, что принцип действия ингибитора зеленой коррозии для меди в агрессивной среде заключается в том, чтобы физически или химически адсорбироваться на поверхности меди и образовывать защитную пленку. Можно

сделать вывод, что ингибитор коррозии изолирует защищаемый объект от агрессивной среды, образуя толстую защитную пленку на поверхности защищаемого объекта. Согласно описанию, можно увидеть, что эффективность ингибирования коррозии в работе [12] составляет 99,6% и 98,9% соответственно.

1.2 Ингибиторы коррозии на основе наночастиц оксидов металлов

В работе [18] новые углеродные точки с примесью азота (Н-УА) были синтезированы из лимонной кислоты и L-серина. Ингибирующие характеристики рассматриваемого нульмерного наноматериала для меди исследовали электрохимическим методом, комбинируя ИКФС, РФС и Raman для исследования продуктов коррозии.

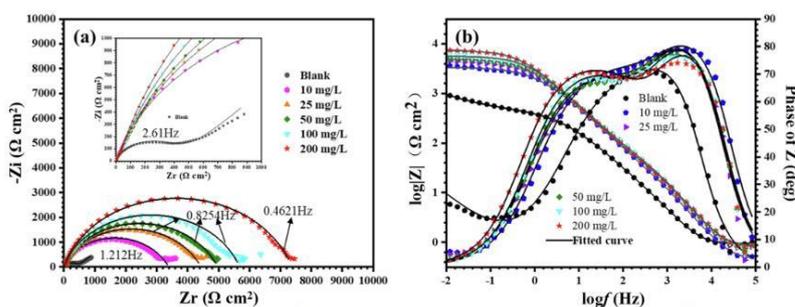


Рисунок 1.2.1 – (а, б) результат поляризации медного электрода в среде 0,5 М серной кислоты с и без Н-УА при разном времени погружения при температуре 298 К.

На диаграммах Найквиста медных электродов, защищенных Н-УА в среде 0,5 М H_2SO_4 , показанных на рисунке 1.2.1а и б, диаметр кольца в высокочастотной области значительно увеличивается с увеличением концентрации Н-УА, что связано с емкостный отклик, вызванный более плотной защитной пленкой, адсорбированной на поверхности электрода. График Бодэ показывает, что значение импеданса увеличивается в пределах тестируемого диапазона частот, а максимальное значение увеличивается на один порядок, когда концентрация Н-УА увеличивается с 10 мг / л до 200 мг / л, что указывает на типичное емкостное поведение, это показывает, что Н-УА адсорбируются на активных центрах на поверхности меди с образованием плотной пленки, препятствующей переносу коррозионных веществ.

На рисунке 1.2.2а показано, что спектральная полоса ИК-Фурье в области 400–4000 cm^{-1} происходит от продуктов коррозии поверхности Меди, модифицированной Н-УА, чтобы исследовать возможный механизм.

Рамановский спектр защитной меди показан на рисунке 1.1.8б. Результаты дополнительно подтвердили, что химическое взаимодействие между Н-УА и медью образует хелатные связи.

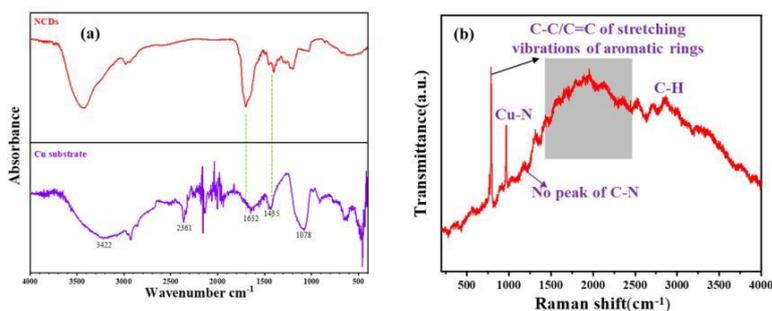


Рисунок 1.2.2 – (а) ИК-Фурье-спектры продуктов коррозии на подложках из меди, (б) данные комбинационного рассеяния соответствующих исследованных подложек из меди.

показывают, что Н-УА оказались эффективными ингибиторами с эффективностью подавления 98,5% после погружения на 24 часа, и они взаимодействовали с медной подложкой путем химической и физической адсорбции. Целью данной работы является исследование экологически чистых и эффективных материалов-ингибиторов коррозии для защиты металлов.

В работе [19] написано Хитозан (ХТ) является важным природным биополимером и используется во многих областях. Однако эффективность ХТ против коррозии металлов ставится под сомнение из-за его быстрой деградации. Разложение можно замедлить путем включения наночастиц (НЧ) в матрицу хитозана. Для предотвратить коррозию меди в 0,5 М NaCl, приготовив нанокompозиты хитозан-NiO и покрыв их медью. Синтезированные НЧ NiO и нанокompозит на основе хитозана (ХТСК) исследованы методами ИК-спектроскопии, СЭМ и РФА. Они используются для исследования влияния композитов на коррозию меди. Результаты показывают, что ХТСК обеспечивает лучшую защиту от коррозии, чем только ХТ.

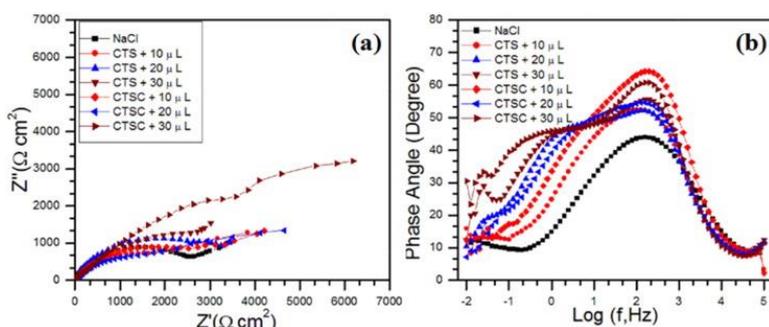


Рисунок 1.2.3 – (б) Чистая медь и медь с покрытием ХТ/ХТСК, погруженная в 0,5 М NaCl при комнатной температуре (а) График Найквиста, (б) График фазового угла Боде.

На рисунок. 1.2.3 показаны кривые импеданса для ХТ и ХТСК с покрытием меди. На Меди наносили различные концентрации растворов ХТ, но импеданс меди был максимальным при концентрации 30 мкл по сравнению с чистой Меди, как показано на рисунок 1.2.3(а). То же самое было верно для меди, покрытой ХТСК, при концентрации 30 мкл, и импеданс был больше, чем у Меди, покрытой ХТ. Фазовый

Результаты показывают, что Н-УА оказались эффективными ингибиторами с эффективностью подавления 98,5% после погружения на 24 часа, и они взаимодействовали с медной

показаны кривые импеданса для ХТ и ХТСК с покрытием меди. На Меди наносили различные концентрации растворов ХТ, но импеданс меди был

угол меди с покрытием ХТСК был больше, чем у чистой меди и меди с покрытием ХТ, как показано на рисунок 1.2.3 (b). Эти данные показали, что ХТСК защищает Меди от коррозии.

На рисунке 1.2.4 показаны кривые ТФХ для меди и меди, покрытых ХТ/ХТСК, и меди в растворах NaCl. Кривые ТФХ были смещены в сторону катода, что свидетельствовало о наличии катодной защиты (рисунок 1.2.4a). Кроме того, коррозионный ток уменьшился в Меди, покрытой ХТСК, по сравнению с чистой Меди и Меди, покрытой ХТ, что было ясно при увеличении кривых Тафеля (рисунок 1.2.4b). Величины плотностей тока коррозии ($I_{корр}$) и равновесных потенциалов коррозии ($E_{корр}$) представлены на рисунок 1.2.4b. Было ясно, что самый низкий ток коррозии был достигнут для Меди, покрытой ХТСК (1 мкА см^{-1}), в то время как он был самым высоким для одной только Меди (9 мкА см^{-1}). Меди, покрытая ХТ, также обеспечивала меньший ток, чем только Меди. Эти факты указывали на то, что как ХТ, так и ХТСК обеспечивали защиту Меди в NaCl; однако ХТСК оказался более эффективным в этом, чем ХТ.

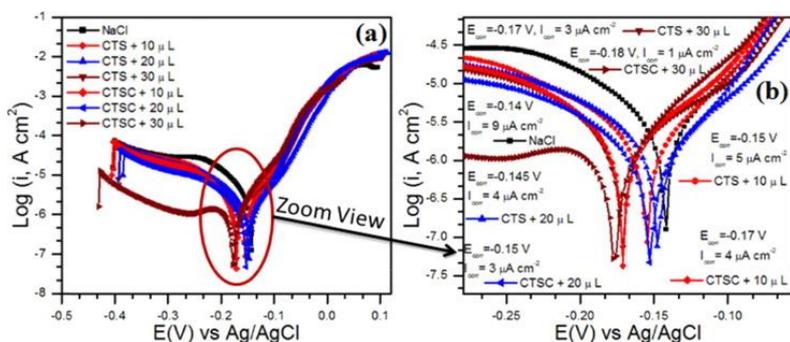


Рисунок 1.2.4 –(a) ТПК; (b) Увеличенный вид ТФХ для чистой меди и меди с покрытием ХТ/ХТСК, погруженной в 0,5 М NaCl при комнатной температуре.

Испытания ЭИС и ТФХ, проведенные на меди и меди с покрытием ХТ и ХТСК, показали, что порядок предотвращения коррозии был следующим: медь с покрытием ХТСК > медь с покрытием ХТ > медь. Защита может быть связана с блокировкой

поверхности меди в растворах NaCl.

В работе [20] показано этил-2-циано-3-(4-(диметиламино)фенил)акрилат (ЭЦДФА) (соединение типа D-π-A) используется для ограничения потерь меди в 1М HCl. Анализ импеданса показывает, что ЭЦДФА экономит 75 % меди при максимальной концентрации в растворе HCl. Для дальнейшего повышения эффективности ингибирования разработаны композиты ЭЦДФА-ZnO. ZnO синтезируют гидротермально и прокаливают при двух разных температурах (300°C и 500°C). Морфология синтезированного ZnO резко меняется при прокаливании,

однако основным морфологическим отличием ZnO при 300°C (EZ3) и ZnO при 500°C (EZ5) является прирост пористости, поэтому для анализа изменения коррозионного поведения композитов изготовлены два композита. Композиты обозначаются как: ЭЦДФА-ZnO при 300°C до EZ3 и ЭЦДФА-ZnO при 500°C до EZ5.

На рисунке 1.2.5 представлены импедансные характеристики систем (ЭЦДФА, EZ3 и EZ5) в виде графиков Найквиста и фазовых графиков Боде. На графиках

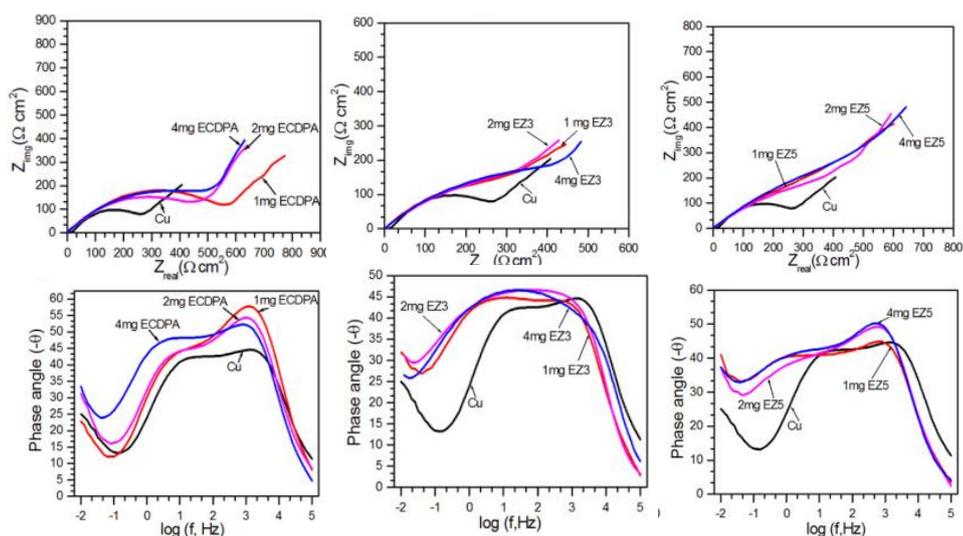


Рисунок 1.2.5 – Графики фаз Найквиста и Боде для ЭЦДФА, EZ3 и EZ5 при различных концентрациях в 1М HCl при 299±2К.

Найквиста меди и меди+ЭЦДФА в 1М HCl были четко идентифицированы две зоны: во-первых, емкостная петля в высокочастотной зоне; во-вторых, неполная емкостная петля в области низких частот. Эта информация свидетельствует о том, что коррозия меди в HCl представляет собой процессы с двумя постоянными времени, т. е. между HCl и меди образуются две границы раздела. Кроме того, графики Найквиста для ЭЦДФА показали, что графики становились больше, чем графики Меди, с увеличением количества ЭЦДФА в HCl. Это было явным признаком ингибирования коррозии меди.

Кроме того, графики фазового угла Боде для меди+ЭЦДФА были выше, чем для одного меди. Это указывало на то, что защита от коррозии произошла за счет модификации поверхности меди с помощью ЭЦДФА. В случае EZ3 форма емкостных петель выглядела более вдавленной относительно действительной оси, чем петли для ЭЦДФА, что указывало на то, что нанокompозит ЭЦДФА-ZnO, модифицированный медной поверхностью, вызывал большую дисперсию заряда. В случае EZ5 полукруглая форма емкостных петель была сильно изменена и

демонстрировала высокодисперсное распределение заряда на поверхности, что также было видно из соответствующих графиков фазового угла Боде.

Во всех случаях, а именно, ЭЦДФА, EZ3 и EZ5, размер графиков был больше, чем только меди, и на графиках фазы Боде появлялись три константы времени. Это свидетельствовало об торможении коррозии меди в HCl и образовании трех границ раздела между электролитом и исследуемыми системами.

В работе [21] написано исследование ингибирующих свойств полимерных покрытий на основе поливинилового спирта (ПВС) и поливинилового спирт/наночастицы серебра (nAg/ПВС), образующихся путем адсорбции на поверхности меди. Так, потенциодинамическую поляризацию и циклическую вольтамперометрию проводили в 0,1 М растворе HCl без ПВС и с ПВС и nAg/ПВС.

Как показано на графике, вставленном на рисунке 1.2.6, а, добавление ингибиторов в 0,1 М раствор HCl приводит к увеличению значений потенциал холостого хода (ОСР) от -119,0 мВ для неингибированной среды до -59,0 мВ для кислого раствора, содержащего ПВС. В присутствии наночастиц серебра ОСР быстро стабилизировался на уровне -93,0 мВ, имея почти такое же значение во время мониторинга, что позволяет предположить, что НЧ Ag улучшает адсорбционную способность ПВС на поверхности меди. Усиление адсорбции на границе раздела медь/электролит является благоприятным фактором для расширения пассивного домена с 0,26 В в присутствии серебра, как упоминалось выше.

Присутствие наночастиц серебра приводит к смещению ОСР в отрицательную сторону по сравнению со смещением, зарегистрированным в их отсутствие, что, вероятно, вызвано частицами Ag^+ , образующимися в небольшом количестве в присутствии анионов Cl^- .

В первую очередь при ОСР происходит физическая адсорбция ингибиторов, приводящая к изменению межфазной архитектуры, обеспечивающей равновесие системы через образующуюся на поверхности меди пленку ингибитора. Таким образом, выход ионов меди с поверхности металла в электролит задерживается. В течение длительного времени ингибитор может десорбироваться и могут появиться непокрытые участки, на которых могут развиваться процессы окисления, в результате чего ионы меди инициируют сшитые образования, которые адсорбируются на поверхности, завершая защитный слой.

Как показывают поляризационные кривые, соответствующие коррозии меди в ингибированном растворе (рисунок 1.2.6, а), пассивный домен сохраняется до 0,3 В для ПВС и 0,56 В для НЧ Ag/ПВС с небольшим отклонением от 0,0 до 0,09 В. значений потенциала может происходить возможная десорбция ингибиторов, но в промышленных условиях высокие соответствующие потенциалы не достигаются, и, следовательно, процесс ингибирования коррозии меди является устойчивым.

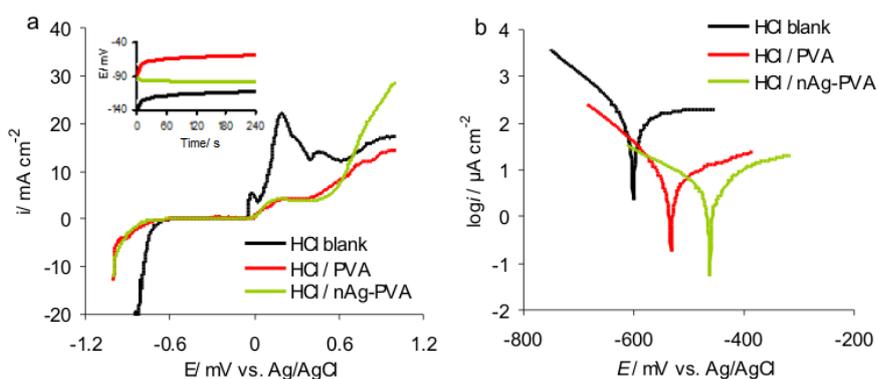


Рисунок 1.2.6 – Результаты потенциодинамической поляризации меди, корродированной в 0,1 моль л⁻¹ холостого раствора HCl и в 0,1 моль л⁻¹ раствора HCl, содержащего ПВС и nAg/ПВС, соответственно: а – потенциодинамические кривые; б – полулогарифмическая диаграмма

Как показывают поляризационные кривые, снятые в присутствии ингибиторов (рисунок 1.2.6, а), процессы окисления меди, подобные тем, которые выделены в их отсутствие,

отсутствуют и подробно обсуждаются в предыдущих пунктах. Никакой гальванической связи не произойдет, потому что металлы не находятся в электрическом контакте. Непроводящий материал, такой как ПВА, является хорошим агентом для захвата и покрытия наночастиц серебра, играя изолирующую роль, поэтому на границе раздела отсутствует контакт, который может вызвать гальванические реакции.

Поливиниловый спирт и поливиниловый спирт, содержащий наночастицы серебра, действуют как ингибиторы коррозии меди в 0,1 моль л⁻¹ раствора HCl, действуя путем адсорбции на поверхности через комплексы Меди-ПВС или другие сшитые ансамбли ПВС, причем наночастицы серебра взаимосвязаны с макромолекулярной цепью ПВС. улучшение характеристик поверхностного слоя.

Эффективность ингибирования ПВС и nAg/ПВС, рассчитанная по результатам электрохимических измерений, достигла высокого уровня 94,3 и 98,2 % соответственно, что указывает на высокую степень покрытия поверхности 0,94 для ПВС и 0,98 для покрытий nAg/ПВС.

В работе [22] направлена на формулирование протокола для оптимизации защиты покрытий 3-меркаптопропилтриметоксисилан (PropS-SH) от коррозии бронзы в дожде концентрированной синтетической кислоты. К анализируемым параметрам приготовления покрытий относится, прежде всего, срок годности раствора гидролизата силана при 4 °С. На самом деле, слишком длительное время хранения может привести к нежелательным явлениям конденсации внутри силианового раствора. Затем оценивали влияние различных типов оксидных наночастиц (CeO_2 , La_2O_3 , TiO_2) и микрочастиц (зола-уноса класса F) в составе силана, включая выбор достаточного времени старения суспензий наночастиц в растворе силана перед нанесением покрытия.

Спектры, записанные через 1 час и 20 дней на заряженных частицами покрытиях PropS-SH, и соответствующие аппроксимирующие кривые показаны на рисунке 1.2.7. Формы спектров в зависимости от времени очень похожи на спектры, демонстрируемые простым PropS-SH. На покрытиях PropS-SH, нагруженных CeO_2 и ФК, как и для PropS-SH, емкостные петли спектров ЭИС при 1-часовом погружении были больше, чем полученные через 20 дней, что свидетельствует о снижении барьерных свойств покрытия. Только в присутствии La_2O_3 модули импеданса на самой низкой исследованной частоте через 1 час и 20 дней были достаточно близки друг к другу, что свидетельствует о сохранении превосходных характеристик покрытия в течение всего периода погружения.

Рисунок 1.2.7 свидетельствует о том, что загруженные частицами покрытия показали значения R_t лишь немного выше, чем на простом PropS-SH, за исключением случая с наночастицами La_2O_3 , которые определили более выраженное увеличение, связанное с гораздо более низкими значениями C_{dl} . Эти результаты свидетельствуют о том, что этот тип наночастиц способствует формированию более плотной силиановой сети, оставляя лишь небольшую площадь поверхности раздела подложка/электролит на дне поры, доступной для переноса заряда. В присутствии как микро-, так и наночастиц значения R_w элемента GFLW были выше, чем у простого покрытия, и постепенно увеличивались, особенно в присутствии La_2O_3 . Это связано с постепенной закупоркой пор в силиановой сетке нерастворимыми продуктами коррозии. С этой точки зрения увеличение значений T во времени может быть связано с ростом толщины диффузионного слоя внутри покрытий, вызванным

осаждением продуктов коррозии. В целом наиболее подходящие значения n_f CPEf были близки к единице (диапазон 0,87–0,96), значения n_d CPEd находились в диапазоне 0,55–0,80, а значения p элемента GFLW составляли 0,35–0,5.

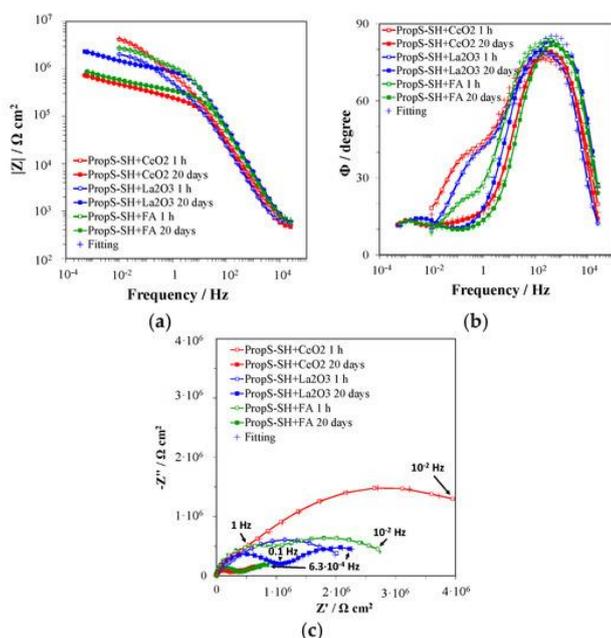


Рисунок 1.2.7 – Графики Бодэ (а, б) и Найквиста (в) для бронзы, защищенной покрытиями PropS-SH, содержащими CeO₂, La₂O₃ и FA в ARx10 при 30 °C. Квадраты и кружки представляют собой экспериментальные данные, а крестики — результат подгонки.

в то время как в случае FA более быстрой конденсации силанола вблизи микрочастиц способствовала повышенная щелочность раствора на поверхности частиц.

Работа [23] посвящена исследованию защитной эффективности самоорганизующегося монослоя 2-[[[(Z)-1-{6-[(2-сульфанилфенил)этанимидоил]-2-пиридил}этилиден)амино]-1-бензолтиола (CH-CAM) и нанесение наночастиц 2-[[[(Z)-1-{6-[(2-сульфанилфенил)этанимидоил]-2-пиридил}этилиден)амино]-1-бензентиол-TiO₂ (CH-CAM-TiO₂) на коррозию меди в хлорид натрия 3,5% с помощью поляризации Тафеля, спектроскопии электрохимического импеданса и анализа поверхности.

Согласно тестам ЭИС, загрузка PropS-SH наночастицами CeO₂ и La₂O₃ и микрочастицами FA определила увеличение толщины покрытия, вероятно, из-за более легкой ретикуляции силана. В случае наночастиц CeO₂ и La₂O₃ этому, вероятно, способствовала адсорбция молекул силана на самой частице через металлосилоксановые связи,

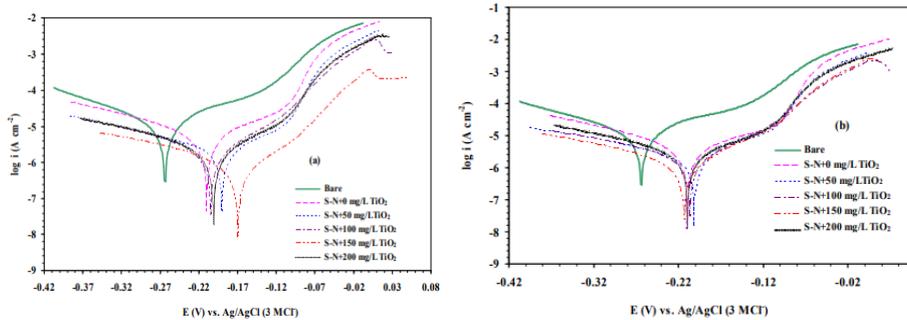


Рисунок 1.2.8 – Диаграммы поляризации Тафеля медного электрода, модифицированного для (а) 10 мин (б) 20 мин времени сборки в SN-SAM-TiO₂ в растворе хлорида натрия.

Коррозионную защиту медного электрода, модифицированного в растворе SN-SAM-TiO₂ при различных концентрациях наночастиц при времени сборки 10 и 20 мин для формирования покрытий при 298 К в 3,5% растворе хлорида натрия можно наблюдать по току коррозии. На рисунок 1.2.8 показано, что кривые Тафеля для чистой и модифицированной меди уменьшаются до 5,94 мкА см⁻², а когда медь была модифицирована раствором SAM, содержащим 150 мг л⁻¹ наночастиц в течение 10 мин, i_{corr} снижается до 1,04 мкА см⁻², что указывает на заметное снижение тока коррозии в присутствии покрытий. Повышенный антикоррозионный эффект нанокompозита SN-SAM-TiO₂ может быть обусловлен инертностью TiO₂ в электрохимической среде;

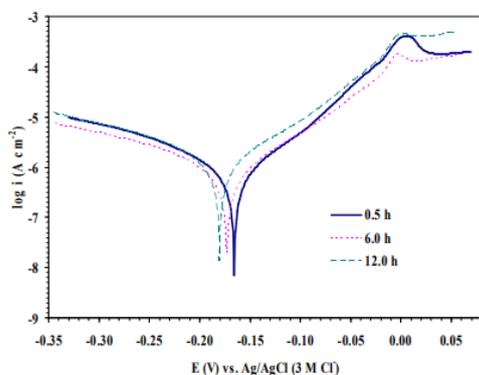


Рисунок 1.2.9 – Поляризация по Тафелю показывает медный электрод, модифицированный в течение 10 мин в SN-TiO₂ (150 мг л⁻¹) в растворе хлорида натрия.

Для исследования влияния времени погружения в раствор хлорида натрия на рисунок 1.2.9 представлены поляризационные кривые покрытия при различных временах погружения. Видно, что как катодная, так и анодная реакции тормозятся. Из полученных результатов видно, что покрытие показывает эффективность ингибирования 96,1% даже после 12,0-часового пребывания в агрессивных средах. Результаты показывают, что характеристики покрытия не претерпели существенных изменений с увеличением времени погружения.

Раствор нанокompозит, содержащий 150 мг л⁻¹ наночастиц TiO₂, показал хорошую стойкость к коррозии меди в среде хлорида натрия. Полученные

результаты свидетельствуют о том, что как количество наночастиц, так и время погружения являются важными параметрами эффективности ингибирования приготовленного покрытия. Электрохимический анализ показал высокую способность покрытия даже при высокой температуре и времени погружения в хлоридно-натриевую среду.

Критериальный анализ

Работы [18-23] можно сравнить по следующим критериям:

- Потенциал коррозии ($E_{\text{корр}}$)
- Плотность тока коррозии ($i_{\text{корр}}$)
- Эффективность ингибирования (η)
- Емкость двойного слоя на границе электрод / раствор (C_{dl})
- Сопротивление передачи заряда (R_{ct})

Таблица. 3. – Критериальный анализ ингибиторов на основе наночастиц оксидов металлов для меди.

Источ ник	Состав ингибитора	Среда	Коррозионные характеристики				
			$E_{\text{корр}}$, мВ	$I_{\text{корр}}$, mA/cm ²	C_{dl}	R_{ct} (Ω cm ²)	η ,%
[18]	Углеродные точки с примесью азота (N-CD)	0,5 M H ₂ SO ₄	-78	2.52	-	-	61.5 – 77.3
[19]	Нанокompозиты хитозан-нано NiO	0.5 M NaCl	-180 – - 150	0.001 – 0.004	-	1000 – 2750	55.6 - 88.9
[20]	Композиты этил-2-циано-3-(4-(диметиламино)фенил) акрилат (ЭЦДФА)-нано ZnO при 300°C (Z3); ЭЦДФА - нано ZnO при 500°C (Z5)	1 M HCl	-	-	380 – 940; 100 – 150	754 – 2182; 1778 – 2352	64 – 78; 77 – 81
[21]	Поливиниловый Спирт/Наночастиц Серебра (nAg/ПВС)	0.1 M HCl	-462	0.0028	-	-	98.2
[22]	3-меркаптопропилтриметоксисилан (PropS-SH)-CeO ₂ ; PropS-SH – La ₂ O ₃ ; PropS-SH – TiO ₂ ;	кислотный дождь (AR × 10)	30; 42; -15	0.00008; 0.000045; 0.0004	-	-	99.04; 99.5; 95.2
[23]	Наночастиц 2-[(Z)-1-{6-[(2-сульфанилфенил)	3,5 мас.% NaCl	-204 – - 170	0.00104 – 0.00594	410 – 560	8430 - 18800	91.6 – 96.3

	этанимидоил]-2- пиридил}этилиден)а мино]-1-бензентиол- TiO ₂ (СН-САМ-TiO ₂)						
--	--	--	--	--	--	--	--

При различных концентрациях наночастиц и увеличении концентрации ингибиторов зелени, коррозии потенциал коррозии увеличивается, плотность тока коррозии снижается, а эффективность ингибирования коррозии увеличивается. Ёмкость двойного слоя на границе электрод/раствор уменьшается, а высокое передаточное сопротивление увеличивается. Можно сделать вывод, что ингибитор коррозии образует на поверхности защищаемого объекта толстую защитную пленку. Согласно описанию в таблице 1 видно, что эффективность ингибирования в работе [22] составляет 99,04% и 99,5% соответственно и данный ингибитор имеет самую высокую эффективность в рассмотренном ряду.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ

2.1 Оборудование и материалы

В качестве объектов исследования коррозионной устойчивости была выбрана инструментальная Бронза.

Таблица 2.1 – Химический состав объектов исследования

Содержание элементов Бронза, %, масс.			
Олово	Цинк	Свинец	Медь
5	5	5	85

В работе были использованы приборы и реактивы, состав которых представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Оборудование и реактивы

Оборудование	Реактивы
Nano Spray Dryer B-90, (Швейцария); Весы электронные лабораторные ALC-110d4; Сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ); Потенциостат CorrTest CS310; Эксикатор лабораторный; Вихретоковый смеситель ХН-D; Ультразвуковая ванна ODA-LQ40; Индукционная плита	Масло пихты (ООО "Натуральные масла"); Масло кедры(ООО "Натуральные масла"); Наночастицы TiO ₂ 100нм (ч); Наночастицы ZnO 100нм (ч); Спирт этиловый (хч); Кислота азотная HNO ₃ (хч); Кислота серная H ₂ SO ₄ (хч)

2.2 Экспериментальные методики

2.2.1 Методика подготовки образцов и ингибиторов

Поверхность образца бронзы шлифовали наждачной бумагой с зернами различных размеров (P60, P80, P320). Шлифование начинают на шкурке с более крупными абразивными зернами. Затем переходят на шкурку с более мелким абразивным зерном.

Ингибитор на основе оксида титана готовили двумя способами. В первом случае 0,0075 г наноксида титана смешивали с 10 мл масла пихты / масла кедра (рисунок 2.1, а), затем обрабатывали смесь в ультразвуковой ванне ODA-LQ40

(рисунок 2.1, б) в течение 5 минут, после первоначального перемешивания смесь помещали в вихревой миксер (рисунок 2.1, г) в течение 2 минут.

Во втором случае 0,0225 г наноксиды титана добавляли в 30 мл спирта и обрабатывали в ультразвуковой ванне ODA-LQ40 в течение 5 минут. Масло в данном эксперименте использовали в первоначальном виде.



Рисунок 2.1 – (а) Масло пихты, (б) ванна ультразвуковая ODA-LQ40, (в) Вортекс ХН-Д

Приготовление смешанного покрытия: 0,0075 г наноксиды цинка смешивали с 10 мл масла пихты (рисунок 2.1а), затем обрабатывали смесь в ультразвуковой ванне (рисунок 2.1б) в течение 5 минут, после первоначального перемешивания смесь помещали в вихревой миксер (рисунок 2.1в) в течение 2 минут.

Приготовление суспензии наноксиды цинка: 0,0225 г наноксиды цинка добавляли в 30 мл дистиллированной воды и обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 5 минут.

Ингибитор наносили несколькими способами:

- Нанести суспензию пихтового масла (кедровое масло) с наночастицами оксида титана (цинка) на поверхность бронзы ватным тампоном и выдержать при комнатной температуре в течение 15 минут для испарения растворителя (способ 1).

- Нанести суспензию спирта с наночастицами оксида титана на поверхность бронзы ватным тампоном и выдержать при комнатной температуре в течение 10 минут для испарения растворителя, затем нанеси пихтовое масло (кедровое масло) и выдержать при комнатной температуре в течение 15 минут для испарения растворителя (способ 2).

- Нанести суспензию спирта с наночастицами оксида титана (цинка) на поверхность бронзы ватным тампоном и выдержать при 80°C в течение 20 минут,

затем нанеси пихтовое масло (кедровое масло) и выдержать при комнатной температуре в течение 15 минут для испарения растворителя (способ 3).

2.2.2 Гравиметрический метод

Было получено 9 образцов из бронзы, рисунок 2.2, а. Три из них с помощью ватного диска покрывались маслом пихты / маслом кедра, ещё три маслом пихты / маслом кедра и наночастицами диоксида титана, оставшиеся три не обрабатывали ингибитором. Оценку коррозионной устойчивости проводили методом гравиметрии, выдерживая образцы в агрессивных среде азотной кислоты ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1:1$).

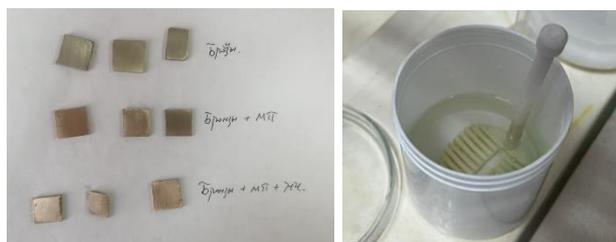


Рисунок 2.2 – (а) Образцы из бронзы; (б) Образцы в среде кислоты; (в) Промывки в дистиллированной воде после выдержки в кислоте; (г) Удаление жидкости с образцов; (д) Взвешивание образцов

На лабораторных весах замеряли начальные массы образцов, далее образцы закрепляли во фторопластовом держателе и погружали в сосуд с агрессивной средой кислоты, стоящий в вытяжной шкафу, на 30 секунд, рисунок 2.2, б.

После чего опускали образцы в дистиллированную воду для нейтрализации кислоты, рисунок 2.2, в, осушали салфеткой и взвешивали на весах, рисунок 2.2, г и 2.2, д. Эксперимент повторяли 5 раз с каждой группой образцов.

Результаты взвешивания бронзы в $50\% \text{HNO}_3$ вместе с рассчитанным средним значением и стандартным отклонением рассчитывали следующим методом.

Стандартное отклонение

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ср}})^2}{n - 1}}$$

Доверительный интервал для среднего имеет вид $(x_{\text{ср}} - \Delta; x_{\text{ср}} + \Delta)$, где Δ - это точность интервальной оценки.

Важно! Правило для вычисления точности зависит от того, что мы знаем о генеральной совокупности и с какой выборкой мы имеем дело. Пусть нам известно стандартное отклонение σ генеральной совокупности.

$$\text{Тогда } \Delta = \sqrt{Sn} z_{\alpha},$$

где z_{α} - это квантиль нормального распределения уровня $1-\alpha/2$. Теорема Доверительный интервал для среднего с известной дисперсией имеет вид

$$(x_{\text{ср}} - \sqrt{Sn} z_{\alpha}; x_{\text{ср}} + \sqrt{Sn} z_{\alpha})$$

$$1-\alpha/2 = 0.995$$

2.2.3 Методика регистрации коррозионных диаграмм

Коррозионные диаграммы регистрировали с трехэлектродной ячейкой на потенциостате CorrTest CS310. В качестве фонового электролита использовали 0,1 М раствор серной кислоты, приготовленный и использованием деионизованной воды, объем электролита в ячейке – 60 мл. В качестве рабочего электрода использовали бронзу; в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения – насыщенные хлоридсеребряные электроды. После подготовки электрода регистрировали потенциодинамическую кривую в интегральном режиме изменения потенциалов в интервале от минус 0,3 до 0,3 В, скорость развертки – 10 мВ/сек.

Настройка потенциостата

Войдите в настройки инструмента, нажав



Диапазон потенциалов может составлять $\pm 2,5$ В, ± 5 В или ± 10 В. Диапазон по умолчанию составляет $\pm 2,5$ В. Чем уже диапазон, тем выше усиление входного сигнала. Обычно, когда вход потенциального сигнала находится в диапазоне $\pm 2,5$ В, это означает, что диапазон по умолчанию выбран верно. Но если потенциал

тестируемой системы превышает $\pm 2,5$ В, вы должны выбрать диапазон ± 5 В или ± 10 В.

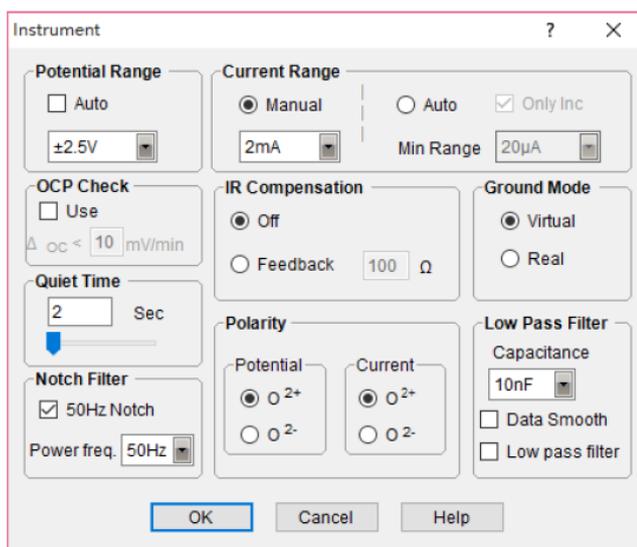
Вы можете выбрать «Manual» («Ручной») или «Auto» («Автоматический») режим настройки диапазона тока. Если установлен флажок «Manual», активируется раскрывающийся список, и вы можете выбрать подходящий диапазон тока. Если ток в эксперименте превышает 120% от установленного диапазона, то программное обеспечение автоматически отключит поляризацию потенциостата.

«Auto» режим позволяет инструменту выбирать подходящий диапазон тока в соответствии с током поляризации.

—Min Range - функция, которая может установить ограничение для минимального диапазона тока, чтобы избежать возможного дополнительного шума в некоторых системах с высоким сопротивлением в случае, если диапазон тока слишком мал.

—Only Inc - функция, использование которой означает, что диапазон тока будет переключаться только из нижнего диапазона в более высокий, именно в этом направлении. Это особенно полезно для метода CV.

В момент переключения диапазона тока шум может быть неизбежным. Поэтому рекомендуется выбирать фиксированный диапазон тока при быстрых измерениях или при высокой частоте сбора данных.

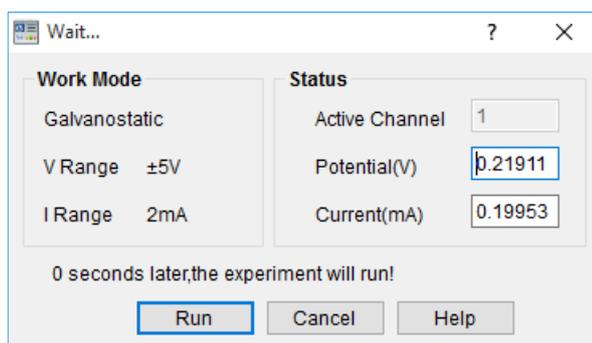


Проверка OCP (потенциал разомкнутой цепи). Функция «OCP Check» («Проверка OCP»). Если установить переключатель «Use» («Использовать»), программное обеспечение определит, находится ли потенциал разомкнутой цепи в

заданном вами диапазоне. Если вы установили путь сохранения файла данных, эксперимент будет проводиться автоматически.

Время успокоения. Функция «Quit Time» («Время задержки») может указать продолжительность успокоения для сканирования. Для этого необходимо ввести число или перетащите ползунок. Максимальное время задержки составляет 1000 с. Установка времени успокоения может сделать измеряемый ток более стабильным, особенно когда поляризация не начинается с ОСР. Переходная поляризация может вызвать большой ток, и значение будет уменьшаться с течением времени. Поэтому перед записью данных необходимо установить время успокоения.

До появления этого окна потенциостат уже находится в состоянии поляризации, но не запускает сканирование. Если вы считаете, что ток поляризации уже стабилен, вы можете в любое время нажать «Run» («Запустить»), чтобы начать тестирование. Вы также можете нажать «Cancel» («Отмена»), чтобы выйти из эксперимента. Сканирование начнется автоматически, когда завершится обратный отсчет



Если вы установите «Auto», чтобы изменить диапазон тока, во время этого процесса программное обеспечение CS studio автоматически выберет подходящий диапазон в соответствии с фактическим током. Если диапазон тока установлен на

«Manual», как только ток будет перегружен, программа предложит вам изменить больший диапазон тока. Если вы выберете «Нет», то программное обеспечение будет управлять переключением прибора из состояния поляризации в естественное состояние.

Настройки ячейки. Функция «Параметры ячейки» («Настройки ячейки») позволяет ввести информацию об одном или нескольких рабочих электродах и электрохимических ячейках, например, площадь поверхности, материал и температура. Эти параметры не влияют на исходные данные, но сохраняются в

каждом файле данных. Также, эти параметры необходимы для расчета скорости коррозии.

Cell & Electrode Setting	
Electrode	Cell
<input checked="" type="checkbox"/> Use	Ref. electrode SCE
Electrode Area(cm ²) 1	V vs NHE(V) 0.241
Density(g/cm ³) 7.8	Temperature(°C) 25
Chemical Equiv(g) 28	Stern-Geary Coef.(mV) 18
Active Channel 1	
OK Cancel Help	

Параметры электрода

Electrode Area: определяет открытую площадь рабочего электрода в растворе. Это эффективная рабочая зона. Единица измерения [см²].

Density: определяет плотность материала рабочего электрода. Единица измерения [г / см³].

Chemical Equiv: определяет химический эквивалент= молярная масса / количество электронов, участвующих в реакции. Единица измерения [г].

Параметры ячейки

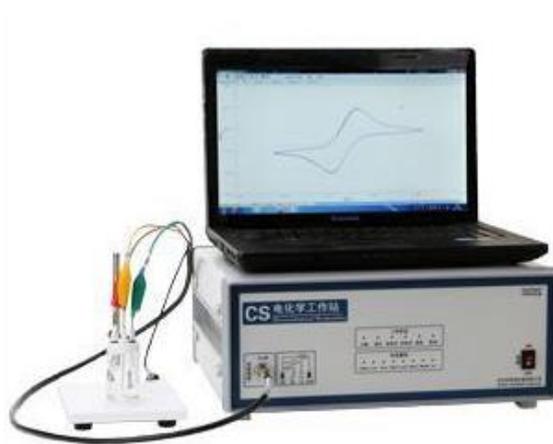
Reference electrode: определяет электрод сравнения. В выпадающем меню можно выбрать различные типы электродов сравнения: SCE, Ag/AgCl, Hg/HgO, Hg/HgSO₄, Cu/CuSO₄. Вы также можете выбрать функцию «Custom», если ваш RE отсутствует в списке, тогда вам нужно указать значение V vs. NHE (нормальный водородный электрод).

V vs. NHE: функция определяет относительный потенциал выбранного электрода сравнения по сравнению с NHE (стандартным водородным электродом).

Анодная поляризация (кривые Тафеля)

1. Для проведения эксперимента зачистить поверхность 9 бронзовых электродов наждачной бумагой P320 и протереть этанолом. После чего подготовить 2 хлорсеребряных электрода.

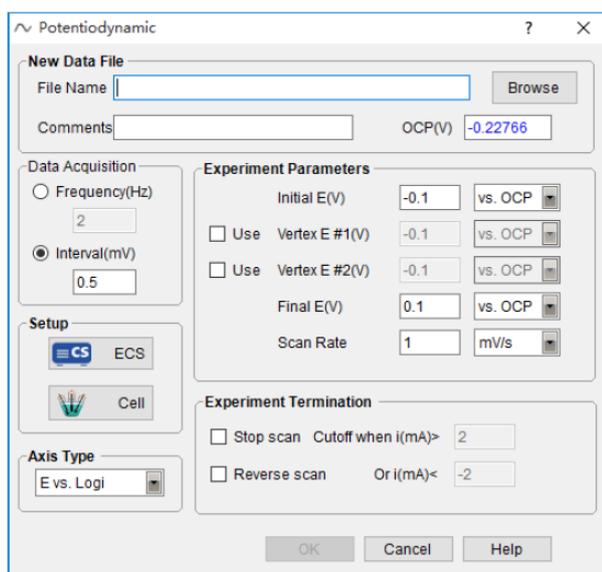
2. Включить потенциостат CorrTest CS310 за 30 минут до начала испытаний. Открыть специализированное ПО «CS Studio5».



3. В ячейку для электрохимических испытаний залить 60 мл разбавленного электролита для создания кислой 0,1 М H_2SO_4 . Закрепить 1 рабочий и 2 хлорсеребряных электрода в ячейке, подключив контакты к соответствующим клеммам прибора (зеленый – к рабочему электроду, желтый – к электроду сравнения, красный – к вспомогательному).



4. В рабочей программе (CS Studio) выбрать вкладку «Experiments» → «Stable polarization» → «Potentiodynamic». В графе «File name» указать название и расположение файла, подробно описав название образца и среду испытания. В параметрах ячейки «Cell & electrode setting» указать площадь рабочего электрода и выбрать хлорсеребряный электрод сравнения. Установить диапазон рабочих потенциалов по отношению к потенциалу открытой цепи от -0,3 В до 0,3 В. Убедится, что значения потенциала открытой цепи «OCV» имеют стабильные значения и начать эксперимент.



5. После завершения эксперимента закрыть окно с результатами, поменять электролит и электрод. Повторить пункты 3 и 4 для других электродов из одной группы.

Циклическая вольтамперометрия

1. Для проведения эксперимента зачистить поверхность 3 бронзовых электродов наждачной бумагой P320 и протереть этанолом. После чего подготовить 2 хлорсеребряных электрода.

2. Включить потенциостат CorrTest CS310 за 30 минут до начала испытаний. Открыть специализированное ПО «CS Studio5».

3. В ячейку для электрохимических испытаний залить 60 мл разбавленного электролита для создания кислоты 0,1 М H₂SO₄. Закрепить 1 рабочий и 2 хлорсеребряных электрода в ячейке, подключив контакты к соответствующим клеммам прибора (зеленый – к рабочему электроду, желтый – к электроду сравнения, красный – к вспомогательному).

4. В рабочей программе выбрать вкладку «Experiments» → «Voltammetry» → «Cyclic Voltammetry». В графе «File name» указать название и расположение файла, подробно описав название образца и среду испытания. В параметрах ячейки «Cell & electrode setting» указать площадь рабочего электрода и выбрать хлорсеребряный электрод сравнения. Установить диапазон рабочих потенциалов по отношению к потенциалу открытой цепи от -0,2 В до 0,2 В. Убедится, что значения потенциала открытой цепи «OCV» имеют стабильные значения и начать эксперимент. После

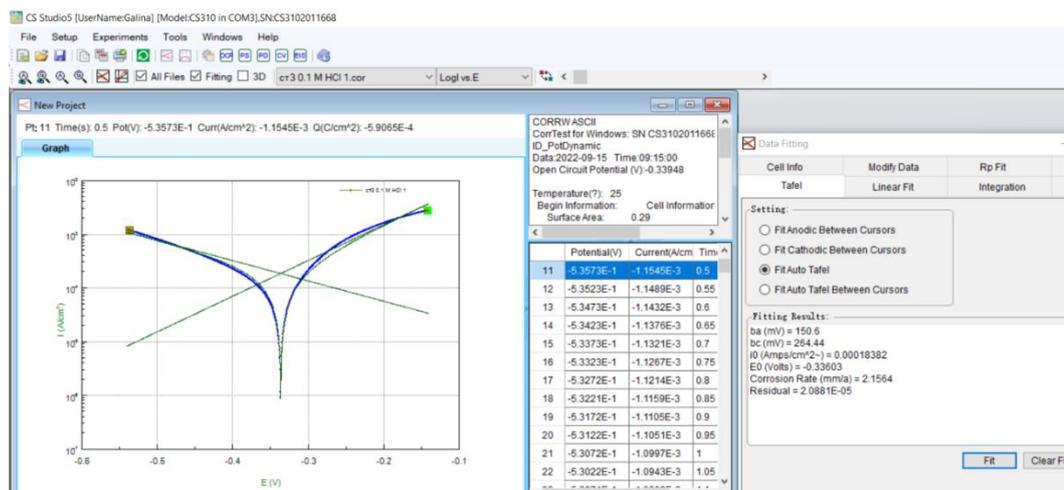
завершения эксперимента закрыть окно с результатами, поменять электролит и электрод. Повторить пункты 3 и 4 для других электродов из одной группы

Обработка результатов проводится при помощи пакетов программ «CS Studio5» (расчет значений тока, потенциала и скорости коррозии, коэффициентов Тафеля), Excel (перевод зависимости тока от потенциала к логарифмической зависимости тока от потенциала) и Origin (построение потенциодинамических кривых).

Во вкладке «File» программы «CS Studio5» выбрать «Open file» и открыть все полученные кривые. Выбрать зависимость логарифма тока от потенциала. Выбрать первую полученную кривую и во вкладке «Tools» выбрать «Data Fitting». Осуществить автоматическую подгонку «Tafel» → «Fit Auto Tafel» и записать полученные значения.

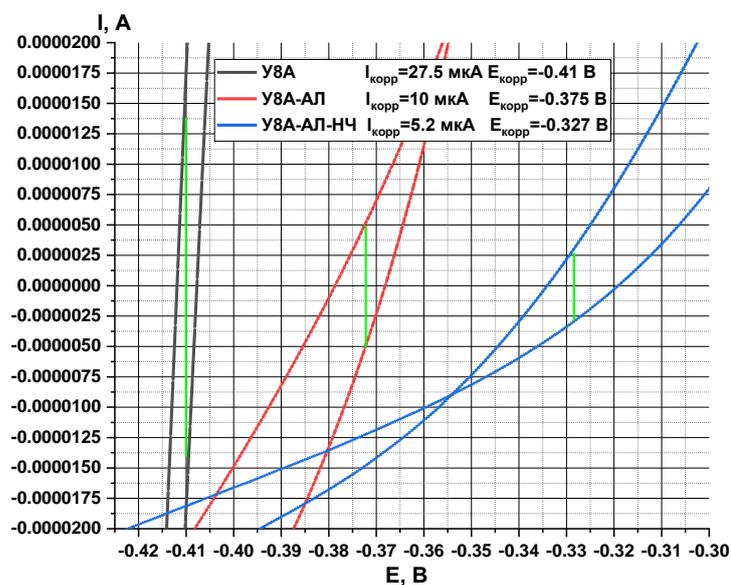
На основе полученных в программе данных рассчитать средние значения параметров коррозии (ток коррозии, потенциал коррозии, коэффициенты Тафеля, скорость коррозии).

Определить наиболее наглядную (приближенную к средним показателям коррозии) потенциодинамическую кривую и скопировать значения тока и потенциалов коррозии из оригинальных файлов потенциостата в файл Excel. Перевести показатели тока коррозии в значения логарифма тока коррозии, установив все значения тока положительными и прологарифмировав их.



В случае циклических вольтамперных кривых скопировать значения тока и потенциалов коррозии из оригинальных файлов потенциостата в файл Origin, для перестройки вольтамперограмм. После чего найти участки пересечения линий

катодной и анодной поляризации с нулевым значением тока. Найти участок, где данные кривые одинаково удалены от нуля, графически определить значения тока и потенциала коррозии.



Графический расчет тока и потенциала коррозии для стали У8А.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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.

Цель данной НИ (ВКР) – создание ингибиторы коррозии металлов на основе растительного сырья и наночастиц оксидов металлов.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Основными конкурентами являются компании, производящие ингибиторы коррозии в качестве ингибиторов коррозии металлов, и на рынке существует множество компаний, производящих ингибиторы коррозии на основе различных материалов.

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) 2-Меркаптобензотиазол (МВТ). ООО «РоссПолимер», Токсичность, не загрязняет окружающую среду, Москва.

2) 2-меркаптобензоксазол (МВО). Aldrich, Токсичность, не загрязняет окружающую среду, США.

В таблице 4.1.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1.1– Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности пользователей	0,06	5	3	3	0.3	0.18	0.18
2. Энергоэффективность	0,13	5	4	2	0.65	0.52	0.26
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	4	1	5	0.36	0.09	0.45
4. Простота изготовления	0,1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
5. Эффективность работы	0,07	5	5	5	0.35	0.35	0.35
6. Безопасность	0,08	5	2	2	0.4	0.16	0.16
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,1	5	5	5	0.5	0.5	0.5
2. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,05	4	5	3	0.2	0.25	0.15
3. Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	3	0.5	0.5	0.3
4. Наличие сертификации разработки	0,08	5	3	4	0.4	0.24	0.32
5. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	5	0.35	0.28	0.35
6. Срок выхода на рынок	0,07	5	5	5	0.35	0.35	0.35
Итого	1	58	44	45	4.86	3.62	3.67

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

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 4.86$$

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

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

Разработанная технология очень конкурентоспособна. Цена на разработанный метод значительно ниже, чем у конкурентов, и сопоставима с европейскими аналогами. При использовании этой технологии производительность пользователя может быть улучшена.

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 4.1.2.

Таблица 4.1.2 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Короткое время изготовления (простой процесс, быстрая циркуляция продукта)</p> <p>С2. Экологичность технологии (приготовление и использование аминокислот не нанесет вреда окружающей среде)</p> <p>С3. Простота технологии (простой процесс экстракции)</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокие концентрации ингибиторов коррозии могут ускорить коррозию</p> <p>С2. Невысокие объемы производства</p> <p>С3. Более высокая стоимость</p>
--	--

<p>Возможности:</p> <p>B1. Сотрудничество с другими научными центрами</p> <p>B2. Получайте сырье по более низкой цене через каналы сотрудничества</p> <p>B3. Получите инвестиции, рассказав инвестиционным институтам о преимуществах продукта</p> <p>B4. Привлекайте внимание и клиентов, посещая выставки</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок</p> <p>У2. Нехватка средств</p> <p>У3. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен</p> <p>У4. Конкуренты более технологически продвинуты и производят больше.</p>
--	---

На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.1.3 - 4.1.6.

Таблица 4.1.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 4.1.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

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

	B5	-	-	-	-	-
--	----	---	---	---	---	---

Таблица 4.1.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 4.1.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.7 – Результаты SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая стоимость исходного сырья С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками С4. Экологичность технологии С5. Квалифицированный персонал		Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Невысокие объемы производства Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций Сл4. Вероятность получения брака Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования	
Возможности	Направления развития В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств	Сдерживающие факторы В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на	

<p>В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Внедрение технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p>продукции позволит расширить спрос</p> <p>В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах</p> <p>В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки</p>	<p>ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок</p> <p>У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства</p> <p>У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака</p>

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

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 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – 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 НИР	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	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	инженер
	8	Корректировка расчетов	научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта	9	Оценка эффективности результатов	инженер

документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	инженер
----------------------	----	-----------------------------------	---------

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

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: K_{1c}

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

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

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

$t_{max i}$ – 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4.2)$$

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;

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – 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		$t_{\text{ожид}}$, 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 ВКР	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	10,2	69	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 4.2.3).

Таблица 4.2.3 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кп} , 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							■							
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5										■				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13											■			

Примечание:

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

4.2.3 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.

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Эта часть включает стоимость всех материалов, использованных для получения образцов ингибитора зеленой коррозии. Результат расчета комиссии приведен в таблице 4.2.4.

Таблица 4.2.4 - Стоимость получения образцов ингибитора зеленой коррозии

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Цинковые хлопья	кг	0,2	23500	4700
Масло пихты	кг	0,1	6030	603
Кедровое масло	л	10	19,25	192,5
Кислород в баллоне	л	10	9	90
Перчатки резиновые, технические	пар	1	12	12
Итого:				5597.5

Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.5 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Потенциостат CorrTest CS310	1	10	500	500
2	Ультразвуковая ванна ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт)	1	10	35	35
3	Весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность ±0,0001	1	10	50	50
4	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия	1	10	45	45
5	Nano Spray B-90, (Швейцария)	1	10	450	450
Итого:					1080 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot t, \quad (4)$$

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

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1. \quad (5)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Потенциостат:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t = \frac{0,1 \times 500000}{12} \times 3 = 12500 \text{ руб} \quad (6)$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t = \frac{0,1 \times 35000}{12} \times 3 = 875 \text{ руб.} \quad (8)$$

Весы:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 50000}{12} \times 3 = 1250 \text{ руб.} \quad (9)$$

Аквадистиллятор:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 45000}{12} \times 3 = 1125 \text{ руб.} \quad (10)$$

Nano Spray B-90

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 450000}{12} \times 3 = 11250 \text{ руб.} \quad (11)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 12500 + 875 + 1250 + 1125 + 11250 = 27000 \text{ руб}$$

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 $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (12)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (13)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; 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):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (14)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

(15)

– для инженера:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.,}$$

(16)

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

Таблица 4.2.6 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.2.7 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	21902,5
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	69	120273,9
Итого:								123176,4

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 21902,5 = 3285,4 \text{ руб.} \quad (17)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{бон}} = K_{\text{бон}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 120273,9 = 18041,1 \text{руб},$$

(18)

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

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бон}}) = 0,3 \times (21902,5 + 3285,4) = 7556,37. \quad (19)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бон}}) = 0,3 \times (18041,1 + 120273,9) = 41494,5$$

(20)

где $k_{\text{внеб}}$ – 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).

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Ингибиторы коррозии металлов на основе растительного сырья и наночастиц оксидов металлов» по форме, приведенной в таблице 4.2.8.

Таблица 4.2.8 – 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
27000	5597	123176.4	21326.5	49050.87	226150.77

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

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

(4.16)

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

$$Z_{\text{накл}} = 226150,77 \cdot 0,2 = 45230,15 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «"Зеленый" ингибитор коррозии металлов на основе наночастиц оксидов металлов» по форме, приведенной в таблице 4.2.9. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.2.9 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	5597	4626,3	7550	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	27000	29959,8	35765	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	123176.4	123176.4	123176.4	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21326.5	21326.5	21326.5	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	49050.87	49050.87	49050.87	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	45230,15	45230,15	45230,15	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		271380.9	273370	282098.9	Сумма ст. 1- 6

4.3 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.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) 2-Меркаптобензотиазол (МВТ). ООО «РоссПолимер», Токсичность, не загрязняет окружающую среду, Москва.

2) 2-меркаптобензоксазол(МВО). Aldrich, Токсичность, не загрязняет окружающую среду, США.

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.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 271380.9$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 273370$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 282098.9$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{271380.9}{282098.9} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{273370}{282098.9} = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{282098.9}{282098.9} = 1.$$

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_{pi}) 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:

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

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,96} = 4,84, I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,97} = 3,92, I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

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	0,96	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	4,84	3.92	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,84

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 проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 102 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 69; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 10,2;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 316 611 рублей;

4. По факту оценки эффективности НИР, можно сделать выводы:

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

2) значение интегрального показателя эффективности НИР составляет 4,84, по сравнению с 3.92 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ВЫВОДЫ

1. Согласно гравиметрическому методу, защитный эффект от добавления ингибитора коррозии МП составляет 96%, МП–TiO₂ – 97%, МК–TiO₂ 94%.

2. По данных циклической вольтамперометрии, показано, что после добавления ингибитора коррозии наклон Тафеля электродов, покрытых ингибиторами всех составов снижается: бронза > бронза – МК – TiO₂0.05% > бронза – МП > бронза – МК – TiO₂0.25% > бронза – МП – ZnO > бронза – МК – TiO₂0.15% > бронза – МП – TiO₂

3. Рассчитанные из вольтамперных кривых параметры показывают, что применение масла пихты снижает значение тока коррозии бронзы вдвое, а добавление наночастиц – в 66 раз по сравнению с поверхностью металла без ингибитора. После использования кедрового масла и добавления наночастиц ток коррозии уменьшился в 33 раза.

4. Модельные испытания в солевом растворе и условиях полива показывают, что добавление пихтового масла и наночастиц оксида титана эффективно защищает образцы.

5. Общее количество календарных дней для выполнения работ – 102 дня. Общая стоимость проекта 316 611 руб. Значения показателей ресурсоэффективности выше по сравнению с аналогами.

6. Главным направлением обеспечения экологической безопасности при работе нанотехнологий и наноматериалов является жесткий контроль нанопродуктов и их производных на всех стадиях жизненного цикла: от разработки и изучения в лаборатории до полной утилизации.

В работе задействовано оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лямина Г.В., Шевченко И.Н., Данилова Т.В. // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 71. № 7. С. 20–28.
2. Nitin K. A., Rajul S., A.V. Ullas, Gopal J. Synthesis of Chitosan/Nickel oxide Nanocomposite for Corrosion Prevention of Copper in NaCl Solution // Materials today proceedings. – 2022. – P. 56 – 62.
3. А.М. Ilyin, N.R. Huseynov, M.A. Tulegenova, G.A. Baigarinova. Laboratory technology for protecting copper surfaces from corrosion using low-layer graphene nanostructures // Physical series. - No. 4. - 2015 - P.100 - 105.
4. S. Ramkumar, D. Nalini, M.A. Quraishi, E.E. Ebenso, C. Verma, Anti-corrosive property of bioinspired environmental benign imidazole and isooxazoline heterocyclics: a cumulative studies of experimental and DFT methods // Journal of Heterocyclic Chemistry - 2020 – V.57 – P. 103 – 119.
5. K.E.L. Mouaden, D.S. Chauhan, M.A. Quraishi, L. Bazzi, Thiocarbohydrazidecrosslinked chitosan as a bioinspired corrosion inhibitor for protection of stainless steel in 3.5% NaCl // Sustainable Chemistry and Pharmacy – 2020 – V. 6 – P. 65 – 76.
6. Taleb, A. El Biache, Z. Rais, Molecular dynamics, DFT and electrochemical to study the interfacial adsorption behavior of new imidazo[4,5-b] pyridine derivative as corrosion inhibitor in acid medium // Journal of Applied Electrochemistry – 2020 – V. 51 -P. 245–265.
7. K. Dahmani, M. Galai, M. Ouakki, M. Cherkaoui, R. Tourir, S. Erkan, S. Kaya, B. ElIbrahimi, Quantum chemical and molecular dynamic simulation studies for the identification of the extracted cinnamon essential oil constituent responsible for copper corrosion inhibition in acidified 3.0 wt% NaCl medium // Inorganic Chemistry Communications. – 2021. – V. 124 – 108409.
8. J. Lazrak, N. Arrousse, E. Ech-chihbi, Y. El Atki, A. Taroq, A. Abdellaoui, F. ElHajjaji, M. Taleb, A. Nahle, Valorization of Cinnamon Essential Oil as EcoFriendly Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1.0 M Hydrochloric Acid Solution // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2021 – V. 57 – 360 – 373.

-
9. K. Dahmani, M. Galai, M. Ouakki, Amr Elgendy, R. Ez-Zriouli, R. Lachhab, S. Briche, M. Cherkaoui. Corrosion inhibition of copper in sulfuric acid via environmentally friendly inhibitor (*Myrtus Communis*): Combining experimental and theoretical methods // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – V. 347 – 117982.
 10. Linrui Ma, Wenqing Lu, Dong Yang, Jianjia Shen, Zesong Gao, Shenyang Zhang, Qiangqiang Liao. Dithiocarbamate modified glucose as a novel eco-friendly corrosion inhibitor for copper in sodium chloride media // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. – 2021. – V. 22 - 100488.
 11. Shenyang Xu, Yujie Qiang, Anqing Fu, Bochuan Tan. *Luffa cylindrica* roem leaves extract as the environment-friendly inhibitor for copper in sulfuric acid environment // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – V. 343 - 117619.
 12. Bochuan Tan, Shengtao Zhang, Xianlong Cao, Anqing Fu, Lei Guo, Riadh Marzouki, Wenpo Li. Insight into the anti-corrosion performance of two food flavors as eco-friendly and ultra-high performance inhibitors for copper in sulfuric acid medium // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2022 – V. 609 – P. 838 – 851.
 13. A. Espinoza Vázquez, I. A. Figueroa, F. J. Rodríguez Gómez, A. Pérez Vázquez, R. Mata, D. Ángeles Beltrán, A. Miralrio, M. Castro. (–) – Epicatechin gallate as a corrosion inhibitor for bronze in a saline medium and theoretical study // *Journal of Molecular Structure*. – 2021. – V. 1227 – 129416.
 14. Simona Varvara, Roxana Bostan, Otilia Bobis, Luiza Gaină, Florin Popa, Vicente Mena, Ricardo M. Souto. Propolis as a green corrosion inhibitor for bronze in weakly acidic solution // *Applied Surface Science*. – 2017. – V. 426 – P. 1100 – 1112.
 15. Roxana Bostan, Simona Varvara, Luiza Gaîna, Liana Maria Mures. Evaluation of some phenothiazine derivatives as corrosion inhibitors for bronze in weakly acidic solution // *Corrosion Science*. – 2012. – V.63 – P. 275 – 286.
 16. Simona Varvaraa, Giada Canigliab, Javier Izquierdob, Roxana Bostana, Luiza Găinăd, Otilia Bobise, Ricardo M. Souto. Multiscale electrochemical analysis of the corrosion control of bronze in simulated acid rain by horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) extract as green inhibitor // *Corrosion Science*. – 2020. – V. 165 – 108381.
 17. Ahmed A. Fadhil, Anees A. Khadomb, Salima K. Ahmedc, Hongfang Liua, Chaoyang Fua, Hameed B. Mahood. *Portulaca grandiflora* as new green corrosion inhibitor for mild

steel protection in hydrochloric acid: Quantitative, electrochemical, surface and spectroscopic investigations // Surfaces and Interfaces. – 2020. – V. 20 - 100595

18. Yu Zhang, Shengtao Zhang, Bochuan Tan, Lei Guo, Hantang Li. Solvothermal synthesis of functionalized carbon dots from amino acid as an eco-friendly corrosion inhibitor for copper in sulfuric acid solution // Journal of Colloid and Interface Science. – 2021. – V.604 – P. 1 – 14.

19. Nitin K. A., Rajul S., A.V. Ullas, Gopal J. Synthesis of Chitosan/Nickel oxide Nanocomposite for Corrosion Prevention of Copper in NaCl Solution // Materials today proceedings. – 2022. – P. 56 – 62.

20. Nikhil, Gopal J., Rajiv P. Composites of Donor- π -Acceptor type configured organic compound and porous ZnO nano sheets as corrosion inhibitors of copper in chloride environment // Journal of Molecular Liquids. – 2019. – V.280 – P. 160 – 172.

21. Roxana G., Adriana S., Gabriela E., Iacobescu, Nicoleta C., Alexandru P. Copper corrosion inhibitors based on polyvinyl alcohol and silver nanoparticles // Association of the Chemical Engineers of Serbia. – 2019. – V.25 – P. 267 – 275.

22. Cecilia M., Federica Z., Vincenzo G., Mahla S., Andrea B. Improving the Protectiveness of 3-Mercaptopropyl-Trimethoxysilane Coatings on Bronze by Addition of Oxidic Nano- and Microparticles // Polymer-Based Multifunctional Coatings for Cultural Heritage Protection. – 2020. – V. 10 – P. 225.

23. M. Behpour, S. M. Ghoreishi, M. Salavati-Niasari, N. Mohammadi. Corrosion Protection of Copper by TiO₂ Nanoparticles and SN Schiff base Coating // Journal of nanostructures. – 2012. – V.2 – 317 – 326.

24. Сяоянь Л. Получение наночастиц оксида цинка из суспензий различными способами // III Международной научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», 24-26 апреля 2023 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2023. - В печати

25 Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации: Трудовой кодекс РФ № 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022): [принят Государственной думой 21 декабря 2001 года]. – Москва, 2001. – 290 с.

26 Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020): [принят Государственной думой 23 декабря 2013 года]. – Москва, 2013. – 28 с.

-
- 27 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): Утверждены Федеральным государственным агентством «Центр экологического контроля и анализа» 4 сентября 2003 г. - Москва: Минприроды РФ, 2003. - 30 с.
- 28 ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). - Текст: Электронный.
- 29 Mhlmann C., Welter J., Klenke M., Sander J. Workplace exposure at nanomaterial production processes // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. – Vol.170. – 012004.
- 30 ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения: дата введения 2016-07-01.
- 31 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 32 ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности: дата введения 1978-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
- 33.ГОСТ 12.2.00391 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- 34 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 48 с.
- 35 ГОСТ 12.1.001-89. Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01.
- 36 . МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».
- 37 ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01.
38. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

-
- 39 Анциферова И.В. Источники поступления наночастиц в окружающую среду // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – №.2. – С. 54-66.
- 40 Соловьёв Н.А., Широкова И.Г. Источники химического загрязнения и их влияние на гидросферу и здоровье человека // Царскосельские чтения. – 2011. – №XV. – Р. 402–409.
- 41 Гайнуллина Г.Р., Федоров Г.Ю. Очистка сточных вод от кислот и щелочи // Вестник магистратуры. – 2014. – №12-1 (39). – С. 53–55.
- 42 Вертинский А.П. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования // Инновации и инвестиции. – 2019. – №11. – Р. 257–261.
- 43 . ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.
- 44 ГОСТ Р 56748.1-2015. Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения: дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- 45 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): утверждены ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» 04.09.2003. – Москва: Министерство природных ресурсов РФ, 2003. – 30 с.
46. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Утверждено Министерством энергетики РФ, приказ от 8 июля 2002 г. № 204
47. Приказ № 903н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.
48. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1. Пэн Л. Применение «зеленой химии» для защиты от металлов коррозии (зеленые ингибиторы коррозии)// Материалы I Международной научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов", 27-29 апреля 2021 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2021. - В печати
2. Пэн Л. Применение «зеленых» ингибиторов для защиты бронзы от коррозии // Материалы II Международной научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов", 25-27 апреля 2022 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2022. - В печати
3. Пэн Л. Применение наночастиц оксидов металлов, как ингибиторов коррозии бронзы // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», 15-19 мая 2023 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2023. - В печати