

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 – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц циркония</b>

УДК 620.197.3:669.15-194

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Цзя Лицзе		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор (ОКД, И ШНКБ)	Сечин А. И.	Д.Т.Н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н		

Томск – 2020 г.

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

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
**Б.Б. Овечкин**  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)                      (Дата)                      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Цзя Лицзе

тема работы:

Разработка ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц циркония

Утверждена приказом директора (дата, номер)                      № 59-87/С от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:                      29 мая 2020 года

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследовать возможность использования ингибитора на основе водного раствора полиэтиленгликоля и частиц оксида циркония для защиты поверхности низколегированной стали.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) Провести литературный обзор по получению и применению наночастиц металлов и их оксидов в качестве ингибиторов. 2) Получить растворы ингибиторов на основе полиэтиленгликоля и частиц оксида циркония 3) Оценить защитные свойства ингибиторов в процессе травления стали в растворе сильных кислот (азотной и соляной) методом гравиметрии 4) Изучить морфологию поверхности стали до и после травления 5) Оценить защитные свойства ингибиторов в процессе нахождения в разбавленных растворах сильных электролитов методом потенциометрии
<b>Перечень графического материала</b>	РЭМ изображения поверхности стали

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И. В. Доцент к.т.н
Социальная ответственность	Сечин А. И. Профессор (ОКД, ИШНКБ) Д.Т.Н

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Цзя Лицзе		

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

Студенту:

<b>Группа</b> 154Б62	<b>ФИО</b> Цзя Лицзе
-------------------------	-------------------------

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 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>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала**

Оценка конкурентоспособности ИР  
Матрица SWOT  
Диаграмма Ганта  
Бюджет НИ  
Основные показатели эффективности НИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б62	Цзя Лицзе		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
154Б62	Цзя Лицзе

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

**Разработка ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц циркония**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: полиэтиленгликоль с добавлением наночастиц $ZrO_2$ Область применения: защита металла от коррозии
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
<p><b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. 5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	1. Природная – сильные морозы зимой 2. Техногенная – исключить несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б62	Цзя Лицзе		

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 – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения  
 Уровень образования – Бакалавриат  
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29 мая 2020 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2020	Основная часть	75
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШНПТ, ТПУ	Лямина Г.В.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 65 с., 22 рис., 27 табл., 27 источников.

Ключевые слова: наночастицы оксида циркония, коррозия металлов, низколегированная сталь, ингибиторы коррозии, полиэтиленгликоль.

Объектом исследования является: ингибитор на основе водного раствора полиэтиленгликоля с наночастицами оксида циркония.

Цель работы: исследовать возможность использования ингибитора на основе водного раствора полиэтиленгликоля и частиц оксида циркония для защиты поверхности низколегированной стали.

В процессе исследования проводились обзор литературы, посвященный современному состоянию применения наночастиц в качестве ингибиторов; оценка защитных свойств ингибиторов на основе НЧ оксида циркония и полиэтиленгликоля в процессе травления стали в растворе сильных кислот и разбавленных растворах электролитов.

В результате исследования установлено, что использование полиэтиленгликоля эффективно в агрессивной среде; при добавлении частиц оксида циркония к раствору ПЭГ, поверхность металла покрыта более полно, что снижает скорость растворения металла; в кислых и щелочных средах; добавление наночастиц позволяет увеличить значение электродного потенциала в 2–3 раза в растворах разбавленных электролитов;

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработанный ингибитор представляет собой 5% водный раствор полиэтиленгликоля ( $M_r = 200$ ) с наночастицами оксида циркония.

Степень внедрения: НИР

Область применения: решение актуально как для производителей деталей из низколегированной стали, так и для предприятий, эксплуатирующих металлическое оборудование.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанный ингибитор готовится из дешевого и доступного сырья, производимого на территории РФ; обработка поверхности металла ингибитором не требует специальной квалификации.

В будущем планируется разработка ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц других оксидов металлов.

## Список сокращений

СОМ-смесь оксидов металлов;

ФАС-фторалкилсилиение;

СЭМ-сканирующий электронный микроскоп;

ПЭМ-просвечивающий электронный микроскоп;

ПДП-потенциодинамическая поляризация;

ЭИС-электрохимическая импедансная спектроскопия;

ЗОС-защита от сверхтока;

УФ-ультрафиолет;

РЭМ-растровый электронный микроскоп;

РФА-рентгенофлуоресцентный анализ;

МФ – метод фильтрации;

НРС-нанораспылительная сушка;

УЗ-ультразвук;



## Содержание

Введение.....	11
1. Литературный обзор.....	12
1.1 Защита от коррозии с помощью наночастиц, включенных в состав полимерного покрытия.....	12
1.2 Защита от коррозии с помощью растворов наночастиц.....	16
1.3 Защита от коррозии с помощью наноструктурированных покрытий.....	22
2. Экспериментальные методики.....	24
2.1 Методика подготовки образцов.....	25
2.2 Методика гравиметрии.....	27
2.3 Потенциометрия.....	28
3. Результаты и обсуждение.....	29
3.1 Сравнение изменения массы стали у8А в $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ до и после обработки в растворах ингибиторов.....	29
3.2 Сравнение изменения потенциала стали у8А в разных средах до и после обработки в растворах ингибиторов.....	31
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	33
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	33
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	33
4.1.2 SWOT-анализ.....	34
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	37
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	37
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	37
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	40
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	40
4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	41
4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	42
4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	44
4.2.3.5 Накладные расходы.....	44
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	45

5 Социальная ответственность.....	48
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	48
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	48
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	48
5.2 Производственная безопасность.....	49
5.2.1 Анализ условий труда на рабочем месте.....	49
5.2.2 Анализ показателей микроклимата.....	51
5.2.3 Анализ показателей шума.....	52
5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны.....	53
5.2.5 Электрический ток.....	55
5.2.6 Анализ пожарной безопасности.....	57
5.3 Экологическая безопасность.....	58
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	59
5.5 Выводы по разделу.....	61
Выводы.....	62
Список используемых источников.....	63

## Введение

Коррозия сталей является одной из основных проблем в промышленности, поскольку она причиняет серьезный ущерб промышленному оборудованию и окружающей среде. Коррозия углеродистой стали-это неизбежный, но контролируемый процесс.

Анализ литературы показывает, что разработано множество различных соединений, оказывающих ингибирующее действие при коррозии сталей. Одним из наиболее эффективных, экономичных и экологически чистых средств контроля коррозии является использование полифункциональных органических ингибиторов, среди которых полиэтиленгликоль является одним из самых распространенных. Однако, на дефектных поверхностях адсорбция ингибитора протекает хуже. Решить эту проблему можно добавляя в растворы наночастицы, которые размещаясь преимущественно в щелях и трещинах, увеличили бы эффективность использования ингибиторов.

Цель работы: исследовать возможность использования ингибитора на основе водного раствора полиэтиленгликоля и частиц оксида циркония для защиты поверхности низколегированной стали.

Задачи:

- 1) Провести литературный обзор по получению и применению наночастиц металлов и их оксидов в качестве ингибиторов.
- 2) Получить растворы ингибиторов на основе полиэтиленгликоля и частиц оксида циркония
- 3) Оценить защитные свойства ингибиторов в процессе травления стали в растворе сильных кислот (азотной и соляной) методом гравиметрии
- 4) Изучить морфологию поверхности стали до и после травления
- 5) Оценить защитные свойства ингибиторов в процессе нахождения в разбавленных растворах сильных электролитов методом потенциометрии

## 1. Литературный обзор

Способы применения наноматериалов для защиты металлов от коррозии можно разделить на три группы: включение наночастиц в состав полимерных и керамических покрытий, обработка поверхности металла суспензиями из ингибиторов, создание наноструктурированных покрытий. По трем этим направлениям был проведен литературный поиск.

### 1.1 Защита от коррозии с помощью наночастиц, включенных в состав полимерного покрытия

В последнее время много разработок посвящено антикоррозийным краскам с наноразмерными оксидами металлов в качестве одной из добавок. Широко используются алкидные, акриловые, эпоксидные и полиуретановые покрытия. Исследование антикоррозионной способности алкидного покрытия с добавками наноразмерного оксида металла и его оптимизация для стали А36.

В работе [1] авторы предложили включать наноразмерные неорганические пигменты  $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$  и  $\text{TiO}_2\text{-NiO}$  в алкидную смолу для защиты стали ASTM A36 (0,026% С, 0,4% Si, 0,04% P, 0,05% S, 0,2% Cu и остальное Fe).

ASTM A36, который входит в «конструкционную серию», является наиболее распространенной сталью, используемой почти во всех отраслях промышленности, однако большим ее недостатком является склонность к коррозии.

Помимо размерного эффекта размера, выбранные смеси оксиды металлов (СОМ) имеют дополнительное преимущество, такое как анодная природа, по отношению к основному металлу. Потенциалы восстановления ( $E_{red}$ )  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{NiO}$  составляют -0,86 В, -0,86 В, -1,260 В и -0,72 В, а  $E_{red}$  (Fe) составляет -0,44 В (относительно В.Э.С.).

Кристаллическая природа наночастиц СОМ определяется по рентгенограмме, которая показывает характерные пики, соответствующие  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рисунок 1.1).

На основании СЭМ-изображений показано, что частицы СМО имеют размер в диапазоне от 100 до 150 нм.

Показано, что разработанное покрытие эффективно защищает основной металл от коррозии, что подтверждается минимальной потерей веса образцов в различных электролитах и минимальной скоростью коррозии (рисунок 1.2.)

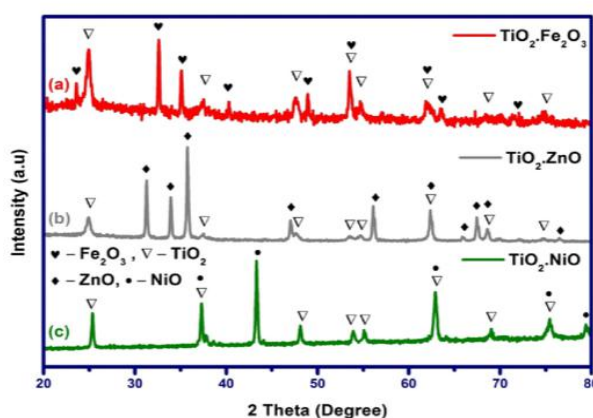


Рисунок 1.1 – РФА-анализ СМО (а) TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (б) TiO<sub>2</sub>-ZnO, (с) TiO<sub>2</sub>-NiO. [1]

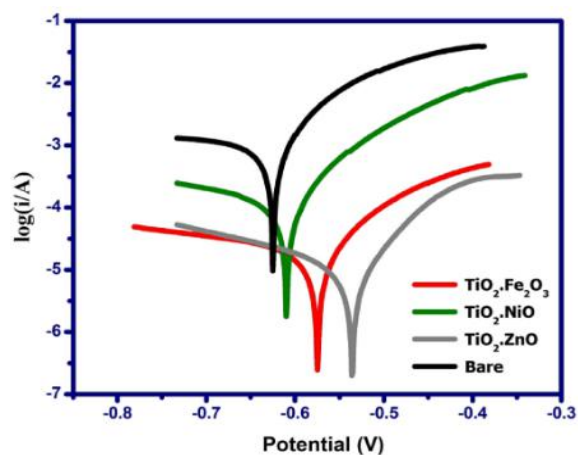


Рисунок 1.2 – Коррозионные диаграммы стали с покрытиями СМО [1]

Эффективность ингибирования составила 99,48%.

В работе [2] представлено сравнительное исследование коррозионных и механических свойств нанокompозитных покрытий стали, включающие наночастицы TiO<sub>2</sub> (NP), нанотрубки TiO<sub>2</sub> (NT) и наноцветки ZnO (NF-ZnO), включенные в алкидное покрытие.

Нанокompозитные покрытия готовили с использованием пигмента Mullerand путем диспергирования наполнителей в алкидной смоле. Подготовленные покрытия смешивали с ксилолом и диспергирующим агентом, чтобы избежать агломерации наночастиц и облегчить нанесение покрытия. Покрытия были нанесены на предварительно обработанные листы углеродистой стали методом погружения. Покрытия отверждали при 50°C в течение 1 часа.

Структуры кристаллов нанокompозита NP-TiO<sub>2</sub>, NT-TiO<sub>2</sub> и (NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO) были охарактеризованы методом РФА (рисунок 1.3), которые показывают, что NP-TiO<sub>2</sub> и NT-TiO<sub>2</sub> представлены фазой тетрагонального анатаза. Анализ рентгенограммы нанокompозита NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO показывает, что положение пиков анатаза осталось неизменным, но наблюдалось снижение их интенсивности. Также наблюдаются несколько дифракционных пиков частиц ZnO гексагональной фазы.

На рисунке 1.4. представлены ПЭМ-изображения частиц наполнителя. Видно, что наночастицы TiO<sub>2</sub> сильно агломерированы, и границы зерен хорошо определены, показывая кристаллическую природу материала. Было установлено, что размер частиц составляет около 10 нм.

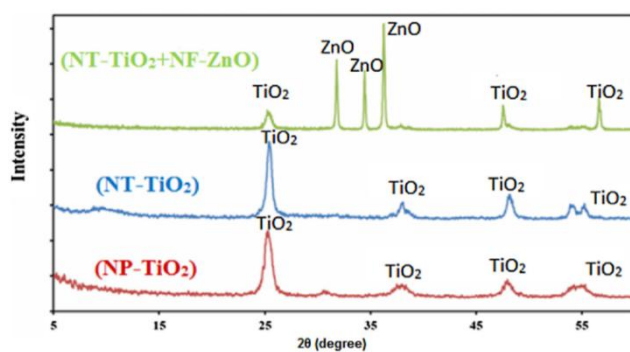


Рисунок 1.3 – Рентгенограммы гидротермальных образцов [2].

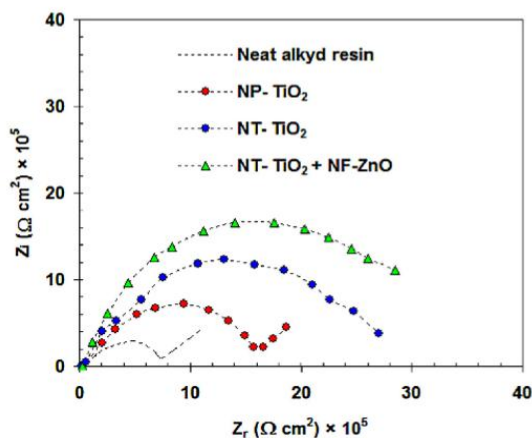


Рисунок.1.5. Графики Найквиста из углеродистой стали с покрытием после 168-часового погружения в 3,5% -ные растворы NaCl при 298 К [2].

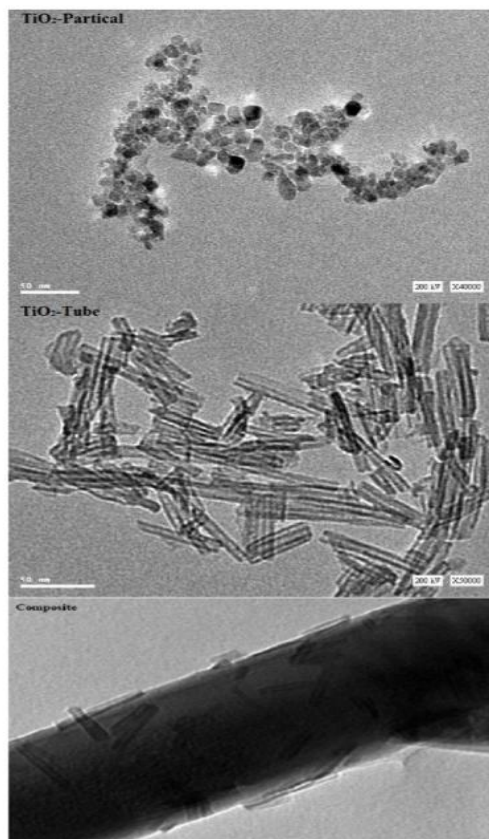


Рисунок.1.4. ПЭМ-изображения гидротермальных образцов NP-TiO<sub>2</sub>, NT-TiO<sub>2</sub> и (NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO) [2].

ПЭМ-изображение трубок показывает, что поры остаются открытыми, а осаденный слой однороден. Тщательное изучение нано-цветов ZnO, выложенных слоем, показывает, что он состоит из крошечных нанотрубок TiO<sub>2</sub>, которые образуют шероховатые и нанопористые внутренние слои.

Графики Найквиста углеродистой стали с покрытием алкидной смолой в отсутствие и в присутствии NP-TiO<sub>2</sub>, NT-TiO<sub>2</sub> и NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO после 168 погружений в 3,5% -ных растворах NaCl показаны на рисунке 1.5. Видно, что чистая алкидная смола имеет значительно меньшую коррозионную устойчивость. Это связано с проницаемостью пленки алкидной смолы. Включение NP-TiO<sub>2</sub> в алкидную смолу привело к увеличению сопротивления алкидной смолы, однако присутствие NP-TiO<sub>2</sub> не лечит дефекты в алкидной смоле. Графики Найквиста для NT-TiO<sub>2</sub> и NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO показывают одноразовый постоянный полукруг. Этот результат подтверждает высокий ингибирующий характер алкидной смолы, содержащей NT-

TiO<sub>2</sub> и NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO.

Переход от сферической формы для NP-TiO<sub>2</sub> к пластинчато-трубчатой форме для NT-TiO<sub>2</sub> является основной причиной, усиливающей антикоррозионную защиту покрытия NT-TiO<sub>2</sub>. Частицы NT-TiO<sub>2</sub> располагаются параллельно поверхности металла и препятствуют коррозии, увеличивая путь, по которому коррозионные ионы достигают поверхности металла. С другой стороны, смесь NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO

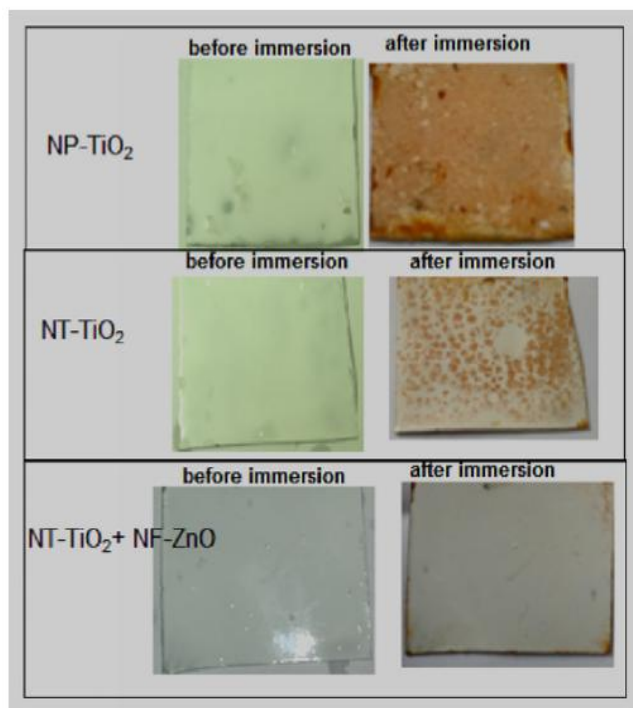


Рисунок 1.6 – Морфология поверхности углеродистой стали с покрытием до и после погружения в 3,5% раствор NaCl (168 ч) [2]

обеспечивает большую эффективность защиты от коррозии, чем одна NT-TiO<sub>2</sub>. Этот наноккомпозит (NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO) обладает двумя защитными механизмами. Во-первых, ZnO обеспечивает катодную защиту, выступая в качестве анода, когда он находится в электронном контакте. Морфология поверхности углеродистой стали с покрытием до и после погружения в раствор NaCl показана на рисунке 1.6. Видно, что присутствие NT-TiO<sub>2</sub> + NF-ZnO улучшает поверхностную текстуру покрытия.

В работе [3] скорости коррозии мягкой стали в различных водных растворах при различных условиях эксплуатации изучали методом потери веса при отсутствии и наличии эпоксидного покрытия. Было обнаружено, что скорость коррозии увеличивается с температурой и концентрацией соли и уменьшается со значениями pH. Наличие покрытия снижает скорость коррозии до значительных значений в кислых растворах. Добавление наночастиц магния привело к значительному увеличению эффективности коррозионной защиты: (97%) в кислом растворе, тогда как без наночастиц составляла 29,8% в солевом растворе в отсутствие наночастиц..

Авторы [4] сосредоточили внимание на смачивающих и морфологических свойствах модифицированного фторалкилсиланом TiO<sub>2</sub> (ФАС -TiO<sub>2</sub>) и полученных

покрытий наночастиц  $\text{TiO}_2$ . Наночастицы  $\text{TiO}_2$  двух размеров (30 нм и 300 нм) подвергали центробежному покрытию на стальной подложке, покрытой эпоксидным слоем толщиной 300 нм, путем послойного осаждения до тех пор, пока не были достигнуты желаемые характеристики смачивания. Установлено, что порядок осаждения наночастиц двойного размера для изготовления супергидрофобных / супергидрофильных покрытий является важным фактором, влияющим на шероховатость поверхности и, следовательно, смачиваемость.

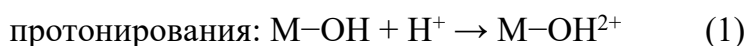
В работе [5] нанокompозитные покрытия на эпоксидной основе, содержащие различные количества наночастиц диоксида циркония, обработанных аминопропилтримитоксисиланом, были получены с помощью суспензионного метода. Результаты показали, что одновременное добавление сферических частиц  $\text{ZrO}_2$  и слоистых глин способствует улучшению коррозионную стойкости нанокompозитных покрытий за счет улучшения барьерных свойств и омической стойкости.

## 1.2 Защита от коррозии с помощью растворов наночастиц

Недавние исследования показали, что  $\text{ZrO}_2$  является многообещающим кандидатом на замену вредных хроматных покрытий. В работе [3] синтезированные нанокolloидные частицы использовали в качестве ингибитора коррозии для алюминиевых сплавов.

Коллоидные наночастицы  $\text{ZrO}_2$  были синтезированы методом гидротермального синтеза. Этот метод включал прямое смешивание соли металла со сверхкритической водой.

Синтезированный золь  $\text{ZrO}_2$  продемонстрировал стабильность, поскольку частицы со временем не агломерируют. Коллоидные оксиды могут приобретать положительный или отрицательный заряд в зависимости от значения pH.



Было установлено, что значение pH коллоида  $\text{ZrO}_2$  равно 3. Поэтому поверхность коллоидных частиц может быть положительно заряжена и может быть создан ионный двойной слой, связанный с каждой частицей, с образованием отталкивающего потенциала между соседними частицами. Частицы с дзета-потенциалом, более положительным, чем +30 мВ, или более отрицательным, чем -30 мВ, обычно считаются стабильными. Измерение дзета-потенциала показало



стабильные коллоидные частицы с дзета-потенциалом + 38,5 мВ. рН коллоидных частиц  $ZrO_2$  довели до 7 перед измерениями коррозии.

На рисунке 1.7 представлены микрофотографии СЭМ сухих наночастиц  $ZrO_2$ . Этот агрегат не может быть разбит на отдельные частицы. Вот почему использование коллоидных частиц может быть идеальным подходом для современных систем, где требуется максимальная площадь поверхности раздела и реакционная способность. Можно сделать вывод, что моноклинные кристаллические частицы  $ZrO_2$  эффективно разрабатывать с использованием метода гидротермального синтеза.

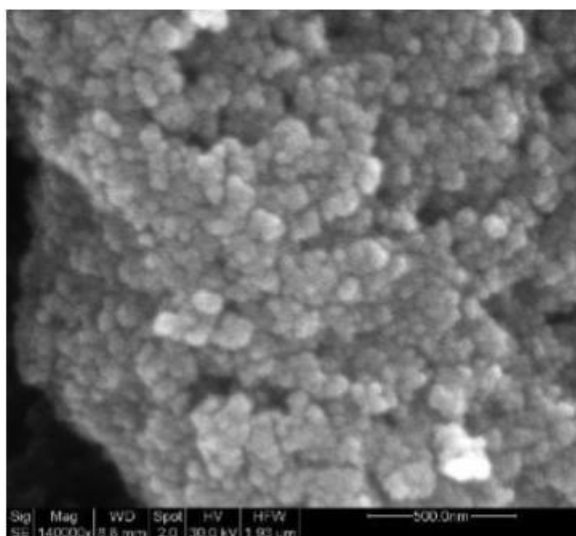


Рисунок 1.7 – СЭМ-микрофотографии сухих наночастиц  $ZrO_2$ [6]

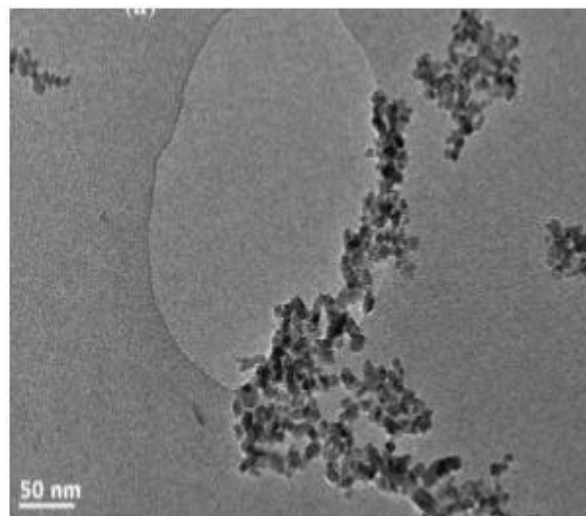


Рисунок 1.8 – Микрофотографии ПЭМ синтезированных наночастиц  $ZrO_2$  [6]

Коррозионную стойкость AA2024 в присутствии  $ZrO_2$  оценивали методом потенциодинамической поляризации (ПДП). Эти эксперименты проводились в аэрированном 3,5% -ном растворе NaCl при комнатной температуре (рисунок 1.9).

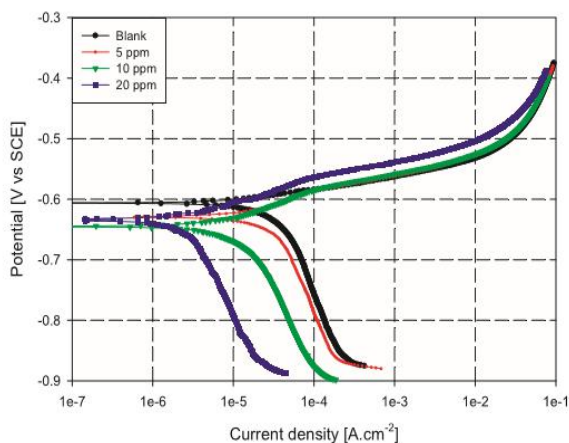


Рисунок 1.9 – Поляризационные кривые для AA2024 в 3,5% -ном растворе NaCl с и без ZrO<sub>2</sub> при комнатной температуре.[6]

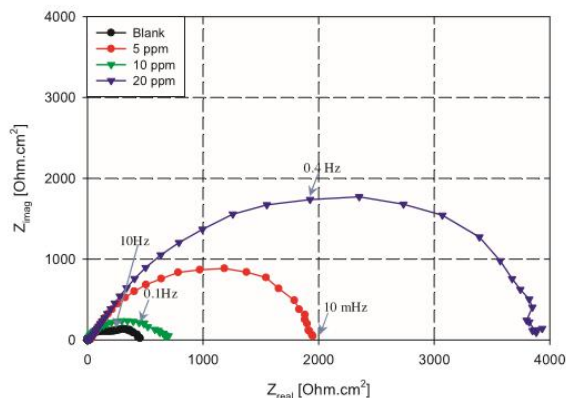
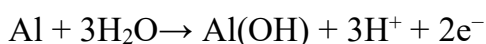


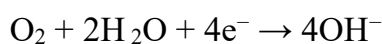
Рисунок 1.10 – Графики Найквиста для AA2024 с и без ZrO<sub>2</sub> после 24 ч погружения в 3,5%-ный раствор NaCl [6]

Очевидно, что наночастицы ZrO<sub>2</sub> эффективно снижают скорость коррозии AA2024 в искусственной морской воде. Плотность тока коррозии постепенно снижалась (с  $5,2 \times 10^{-5}$  до  $3,3 \times 10^{-6}$  Асм<sup>-2</sup>) с добавлением коллоидных частиц ZrO<sub>2</sub>. Добавление ZrO<sub>2</sub> к коррозионному раствору не изменяет поведение как анодной, так и катодной ветвей по сравнению с чистым образцом. Кроме того, плотность анодного тока значительно увеличилась за пределами ОСР, не демонстрируя какой-либо пассивной области. Такое поведение представляет собой непрерывное активное растворение металла, то есть окисление алюминия.



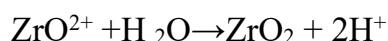
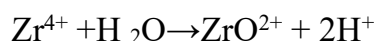
Такое поведение характерно для точечной коррозии.

Ясно, что добавление частиц ZrO<sub>2</sub> резко уменьшало плотность катодного тока. Кроме того, катодная ветвь показала низкие перенапряжения, то есть процесс, контролируется диффузией:



Эта реакция восстановления может происходить преимущественно на интерметаллических частицах, которые более благородны, чем алюминиевая матрица. Эта среда с высоким рН вызывает селективное растворение компонента Al из интерметаллических частиц, кроме того, локальная щелочность вызывает травление алюминиевой матрицы, окружающей интерметаллические частицы. Однако в случае присутствия ZrO<sub>2</sub> эта локальная щелочность будет способствовать

электрохимическим реакциям, которые приводят к осаждению  $ZrO_2$  в интерметаллических участках, как указано в следующих уравнениях



Осаждение  $ZrO_2$  на интерметаллических участках уменьшит катодную зону и, следовательно, уменьшит скорость коррозии.

На рисунке 1.10 показан отклик Найквиста AA2024 в 3,5% -ном растворе NaCl с и без  $ZrO_2$  после 24 ч погружения. Чистый образец показывает хорошо определенную постоянную времени около 10 Гц, которая соответствует процессу релаксации электрохимической активности поверхности сплава, погруженного в электролит. Резистивный отклик на низких частотах соответствует поляризационному сопротивлению, связанному с образованием пассивной пленки гидроксидов, которая не выдерживает более длительного погружения. Наконец, разрушение слоя с последующим началом локальной коррозионной атаки. Можно заметить, что импеданс образцов  $ZrO_2$  выше, чем у чистого образца во всем диапазоне частот после 24 ч воздействия. Добавление  $ZrO_2$  увеличивает сопротивление переноса заряда,  $R_{ct}$ .

Авторы работы [7] осуществили прямой рост наноструктур ZnO на гальванической мягкой стали для создания шероховатости поверхности и улучшения антикоррозионной защиты покрытия Ni-P.

Для приготовления образцов для испытаний стальной лист разрезали до желаемых размеров и обезжировали с использованием раствора мягкого моющего средства. Затем поверхность пластин была загрунтована наждачной бумагой. Пластины после промывки дистиллированной водой и сушки погружали в соляную кислоту (HCl, 12 M) на 30 с, чтобы удалить слой оксида с поверхности металла. После этого снова промывали дистиллированной водой и погружали в основной раствор (NaOH, 1 M) для нейтрализации избытка кислоты на поверхности. Наконец, образцы для испытаний погружали в кислотный раствор (HCl, 0,1 M) в течение 2 минут для поверхностной активации.

Для нанесения слоя Zn на поверхность металлических подложек пластины помещали в кислотную ванну. В качестве источника ионов  $Zn^{2+}$  и комплексообразующего агента использовали дегидрат ацетата цинка и цитрат натрия, соответственно. Комплексообразующий агент, контролируя свободные ионы  $Zn^{2+}$ ,

улучшает качество осадка. Для повышения электропроводности к электролиту добавляли хлорид натрия в качестве проводящей соли. Кроме того, борную кислоту использовали для поддержания стабильных условий нанесения покрытия. Этот компонент также действует как буферный агент. После завершения этого этапа гальванические образцы обрабатывали в горячей воде. Термическое окисление полученных покрытий проводилось для превращения диффузии цинка в структуры ZnO. Затем на полученные структуры наносили никель.

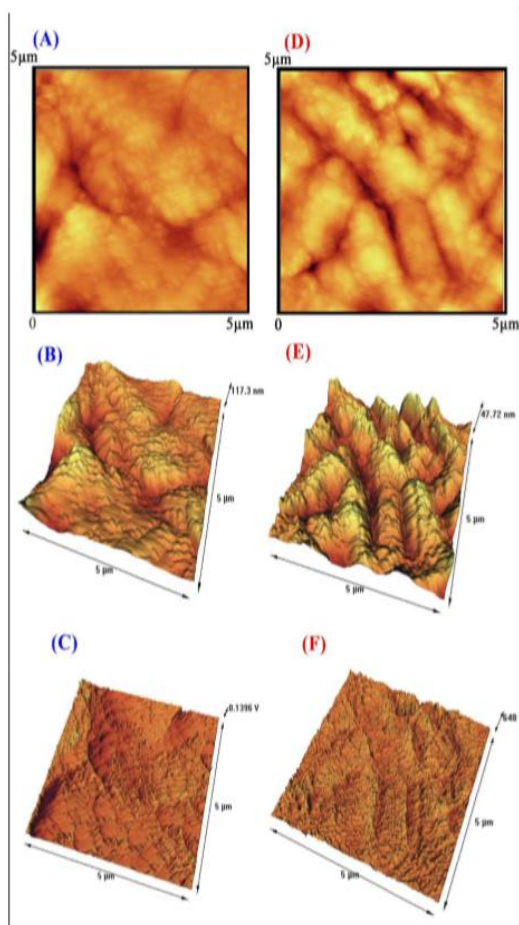


Рисунок 1.11 – АСМ-изображения, Образец IA был помечен (A), (B) и (C), а (D), (E) и (F) относятся к образцу IB [7]

Образцы были исследованы с помощью атомно-силовой микроскопии (рисунок 1.11). Различие в шероховатости может быть объяснено различием в топографии поверхности покрытий ZnO. Гальваническая поверхность Zn и поверхности, содержащие НЧ ZnO (образцы IA и ПА), демонстрируют более высокую шероховатость по сравнению с голой поверхностью. Увеличение шероховатости поверхности в указанных образцах подтверждается изображениями, полученными с помощью СЭМ. Основываясь на научных отчетах, увеличение шероховатости поверхности приводит к лучшим адгезионным свойствам металлической пленки к подложке из полимера или сплава.

Коррозионные диаграммы полученных структур представлены на

рисунке 1.12. Результаты показали, что поверхность из мягкой стали, покрытая тонким слоем цинка, и поверхность с покрытием имеют более низкую плотность тока (или более высокое сопротивление поляризации,  $R_p$ ) по сравнению с оголенной

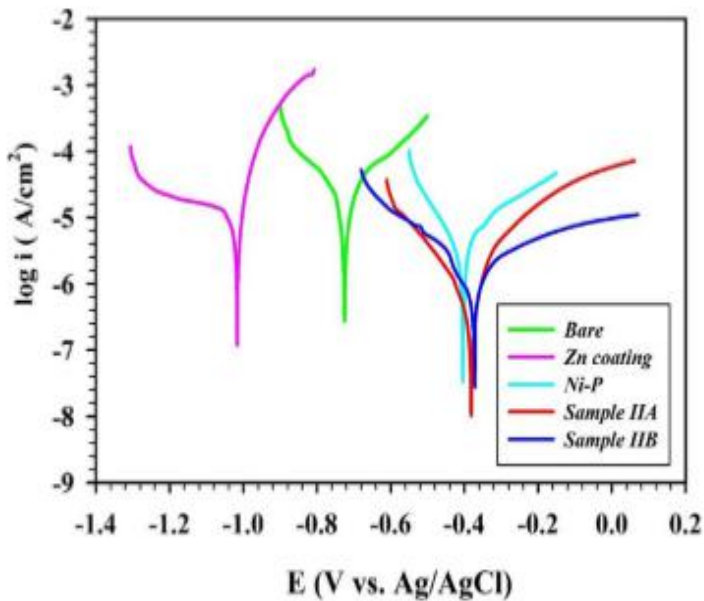


Рисунок 1.12 – Участки Тафеля образцов.[7]

поверхностью (для образца с покрытием Ni-P,  $R_p \approx 8000 \Omega \text{cm}^2$ ). Кроме того, оба образца, обработанные горячей водой, обладают более высокой антикоррозионной защитой по сравнению с другими образцами. Меньшая тенденция к коррозии, наблюдаемая в этих образцах, может объясняться наличием структур ZnO, сформированных под матрицами Ni-P. Усиление шероховатости поверхности, создаваемое образованием микро- и неизмеренных структур ZnO, приводит к лучшей адгезии верхнего слоя (фазы Ni-P) к базовой подложке. Кроме того, основываясь на научных отчетах, структуры с нанометрическими размерами демонстрируют более высокое удельное электрическое сопротивление. Это явление связано с дополнительными центрами рассеяния, в основном от поверхности и границ зерен. В дополнение к физическому действию оксида цинка, его химический эффект на улучшение коррозионной стойкости образцов можно рассматривать как еще один определяющий фактор. Этот полупроводник путем захвата электрона действует как барьер для переноса ионов. Этот механизм был предложен для усиленной защиты от коррозии органических покрытий, модифицированных пигментами ZnO. В нашем случае (металлическое покрытие) захват электронов приводит к уменьшению переноса ионов и, следовательно, влияет на степень растворения металла.

Авторы [8] провели сравнение коррозионных свойств меди с покрытием из частиц вольфрамата никеля. Частицы покрытия были синтезированы, во-первых, с помощью простого мокрого химического осаждения без каких-либо укупорочных средств (традиционный процесс) и, во-вторых, с лимонной кислотой в качестве укупорочного средства, в присутствии вольфрамата натрия ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ). Результаты показали улучшенную защиту меди от коррозии покрытыми частицами по сравнению с частицами без покрытия (обычным способом). Также было проведено сравнение с

$\text{Na}_2\text{WO}_4$  (коммерчески доступный ингибитор коррозии).

В исследовании [9] гибридные гидрофобные нанопорошки  $\text{ZnO} / \text{CuO}$  были синтезированы с использованием обычного одностадийного способа химического осаждения без использования модификаторов. Исследовано влияние исходных концентраций прекурсора  $\text{ZnO} : \text{CuO}$  и типа щелочного агента на смачиваемость полученных образцов. Свойства смачиваемости приготовленных образцов оценивали путем измерения значений угла контакта с водой и гистерезиса угла контакта. Изображения, полученные на сканирующем электронном микроскопе синтезированных нанокмозитов  $\text{ZnO} / \text{CuO}$ , выявили энергетические морфологии, содержащие большое количество наногл, стержней и листов толщиной менее 90 нм. Образец, приготовленный в оптимальных условиях, был супергидрофобным с углом контакта с водой и гистерезисом угла контакта  $162,6^\circ \pm 1$  и  $2^\circ$  соответственно. Частицы наносили на поверхность сеток из нержавеющей стали методом напыления. Получающаяся в результате супергидрофобная поверхность демонстрирует превосходные свойства самоочистки (водоотталкивающие свойства) и подходящую стабильность в окружающей среде и солевом растворе ( $\text{NaCl}$ , 3,5%). Кроме того, электрохимические коррозионные испытания подтвердили, что коррозионная стойкость изготовленного покрытия  $\text{ZnO-CuO}$  была выше, чем у исходного металла.

### **1.3 Защита от коррозии с помощью наноструктурированных покрытий**

Для улучшения коррозионной стойкости металлов были разработаны различные методы обработки поверхности. Одним из наиболее эффективных методов является нанесение защитного керамического покрытия на поверхность металла, например, нитридов, карбидов, силицидов или оксидов переходных металлов.

В работе [10] была предпринята попытка нанесения нанокмозитных покрытий на основе  $\text{TiO}_2$  на сталь 316L для повышения барьерной коррозионной стойкости и гидрофобности. Исследована модификация нанокмозитных наночастиц  $\text{TiO}_2$  на металле.

В соответствии с механизмом защиты металлов от коррозии, гидрофобные покрытия с низкой смачиваемостью могут эффективно предотвращать попадание воды на поверхность подложки и демонстрируют превосходную коррозионную стойкость во влажных средах.

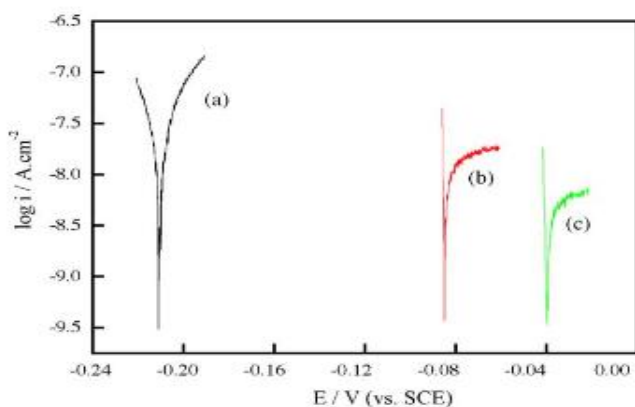


Рисунок 1.13 – Поляризационные кривые для чистого 316L и пленок в насыщенном кислороде растворе Рингера. а) 316L; (б) покрытия  $\text{TiO}_2$  / 316L; (с) Покрытия ФАС /  $\text{TiO}_2$  / 316L [10]

На рисунке 1.13 показаны кривые поляризации электродов из нержавеющей стали 316L, покрытых наночастицами  $\text{TiO}_2$  и ФАС (Бесплатно вместе с кораблем) /  $\text{TiO}_2$ , покрытых нержавеющей сталью 316L, в растворе Рингера. Электроды с  $\text{TiO}_2$ -покрытием помещали в темноту более чем на 1 месяц перед измерениями, и все эксперименты проводили в темной комнате, чтобы избежать фотоэлектрохимического

воздействия. Электроды из нержавеющей стали с покрытием  $\text{TiO}_2$  и ФАС /  $\text{TiO}_2$  из нержавеющей стали 316L демонстрируют относительно меньшую плотность тока, или меньше на два-три порядка по сравнению с чистым образцом. Кроме того, следует отметить, что коррозионный потенциал электродов, покрытых  $\text{TiO}_2$  и ФАС /  $\text{TiO}_2$ , значительно выше, чем у нержавеющей стали 316L, а коррозионный потенциал положительно смещается от -0,21 до -0,083 В и -0,04 В. соответственно. Причина, вызвавшая потенциальный положительный сдвиг, не ясна, что можно объяснить различным эффектом гидрофобности покрытия.

Гидрофобность покрытий, обусловленная воздухом, захваченным в нанопорах, ограничивает доступ к воде и концентрацию коррозионных частиц в отверстиях из нержавеющей стали и, следовательно, вызывает замедление процесса анодного растворения. Транспортировка кислорода в поры через захваченный газ обычно не влияет или даже увеличивается, что приводит к аналогичным или даже более высоким концентрациям кислорода в порах и усилению катодного процесса (восстановление кислорода). Различное влияние гидрофобности покрытия на положение катодной и анодной ветвей на кривых поляризации может быть затем объяснено, почему это не только уменьшение тока коррозии, но и смещение потенциала коррозии при нанесении  $\text{TiO}_2$ -покрытий.

Ожидается, что модификация поверхности нанопокрывтиями  $\text{TiO}_2$  может стать перспективным способом улучшения коррозионной стойкости металлов.

В [11] было исследовано влияние термообработки на антикоррозионные характеристики нержавеющей стали 316L с покрытиями из диоксида титана при ультрафиолетовом (УФ) освещении и темноте. Однородные покрытия без трещин были приготовлены с использованием золь-гель процесса. Характеристики разрушения покрытий  $TiO_2$  были исследованы на основе разложения водного раствора метилового оранжевого в виде модель. Кроме того, влияние температуры термообработки покрытий на их защитные свойства оценивали как в темноте, так и в условиях ультрафиолетового освещения на основе полученных кривых поляризации. Результаты показали, что оптимальные антикоррозионные характеристики покрытий достигаются при температурах термообработки  $500\text{ }^\circ\text{C}$  и  $450\text{ }^\circ\text{C}$  для темноты и освещения соответственно, тогда как образец, термообработанный при  $450\text{ }^\circ\text{C}$ , показал наилучшую фотокаталитическую активность.

Также покрытия на основе диоксида титана изучали в работе [12]. Авторы проводили модификацию покрытия азотом, серой и кислородом и оценивали коррозионную устойчивость сталей с таким покрытием.

Нанотитановые покрытия, легированные анионами азота, серы и хлора, наносились на поверхность нержавеющей стали 316L погружением в золи оксида. Показано, что N-модифицированные нанопокрyтия  $TiO_2$  показывают самую высокую коррозионную стойкость среди полученных покрытий. Из РЭМ, РФА и комбинационного рассеяния обнаружено, что поверхность N-модифицированных нанопокрyтий  $TiO_2$  является более компактной и однородной, относительно хорошо кристаллизована и способна служить оптимальным барьерным слоем для металлических подложек. Предполагается, что добавление азота полезно для улучшения компактной структуры и улучшения гидрофобных свойств.

## 2. Экспериментальные методики

В качестве объектов исследования коррозионной устойчивости были выбраны образцы стали марки: инструментальная сталь У8А.

Таблица 2.1. Химический состав У8А стали (% масс.)

C	Si	Cr	Mn	Cu
0,76 - 0,83	0,17 - 0,33	до 0,2	0,17 - 0,28	до 0,2



P	S	Ti	Fe	Ni
до 0.035	до 0,018	0.4-1	~98	до 0,2

Оценку проводили с применением методов гравиметрии, потенциометрии, оптической микроскопии, растровой электронной микроскопии

## 2.1 Методика подготовки образцов

Подготовка поверхности осуществлялись посредством травления образцов в смеси азотной и соляной кислот с объемной концентрацией 200 об.ч.(HNO<sub>3</sub>):300 об.ч.(HCl) : 500 об.ч.(H<sub>2</sub>O) в течение 5 минут. Затем удалить ржавчину с поверхности образца.

Для приготовления ингибиторов коррозии использовали нанопорошки ZrO<sub>2</sub> и традиционные органические ингибиторы, такие как полиэтиленгликоль (ПЭГ-400) (С = 10%, масс) Суспензии гидроксидов циркония получали из растворов ZrO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Выделение частиц из растворов проводил методом нанораспылительной сушки (НРС) с помощью установки Nanospray Drying В-90.

Полученные растворы ингибиторов обрабатывали ультразвуком (УЗ), для уменьшения агломерации НЧ

Перед испытанием образцы сталей либо погружали в раствор ингибитора, либо протирали поверхность тканью, пропитанной раствором.

Нано-распылительная сушилка В-90 была разработана для получения частиц размером от 300 нм до 10 мкм из растворов или суспензий, путем высушивания или инкапсулирования с выходом до 90%. Размер частиц на выходе зависит в основном от выбранного распылительного колпачка.



Рисунок 2.1 – Установка – Nano Spray Dryer B-90

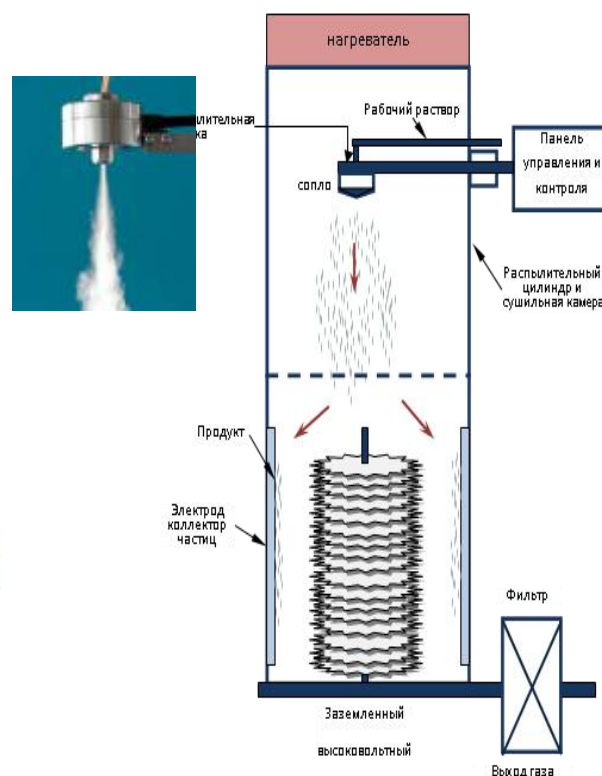


Рисунок 2.2 – Схема установки – Nano Spray Dryer B-90

Процесс сушки происходит внутри распылительного цилиндра. После установления стабильного газового потока, через распылительную головку в распылительный цилиндр поступают мельчайшие капельки рабочего раствора. Капли образца высыхают в атмосфере горячего воздуха. Из-за небольшого размера высушенных частиц, требуется достаточно сильное электрическое поле, чтобы вывести их из потока осушающего газа. На рисунке 2.2 представлена детальная схема процесса распылительной сушки.

Осушающий газ проходит через нагреватель и поступает на вертикально (или под углом) закрепленную распылительную головку. Капли образца высыхают в потоке нагретого воздуха по мере движения по распылительному цилиндру. Электрическое поле генерируется благодаря высокому напряжению между электродом-коллектором и электродом высокого напряжения. В то время как высоковольтный электрод изменяет траекторию частиц (сдвигает в сторону стенок), электрод-коллектор притягивает их. Таким образом, частицы собираются на внутренней стороне электрода-коллектора частиц. По завершении работы установки частицы снимают со стенки колбы с помощью специальной лопатки, получая тем

самым нанопорошок. В ходе эксперимента использовали следующие параметры распылительной сушки: скорость газового потока 140 л/мин, относительная интенсивность распыления – 35 - 56% ,  $T = 60 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 120\text{ Па}$ , время работы установки – 5-15 минут

## 2.2 Методика гравиметрии

При измерениях использовали электронные лабораторные весы AL -110d4. Потом выдерживали образцы в среде смеси азотной и соляной кислот в течение различных промежутков времени. Затем измеряли потерю массы стальных образцов.

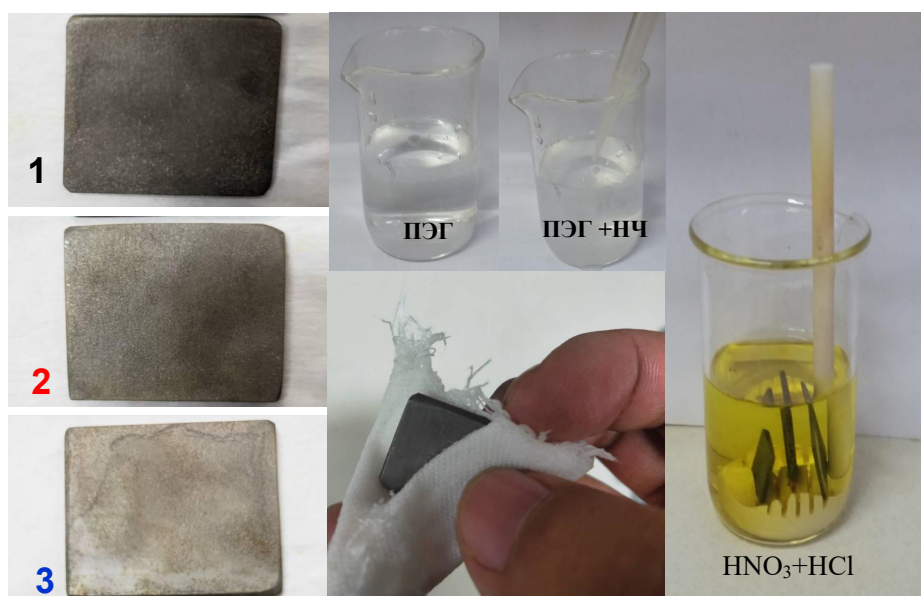


Рисунок 2.3 – Процесс нанесения ингибитора

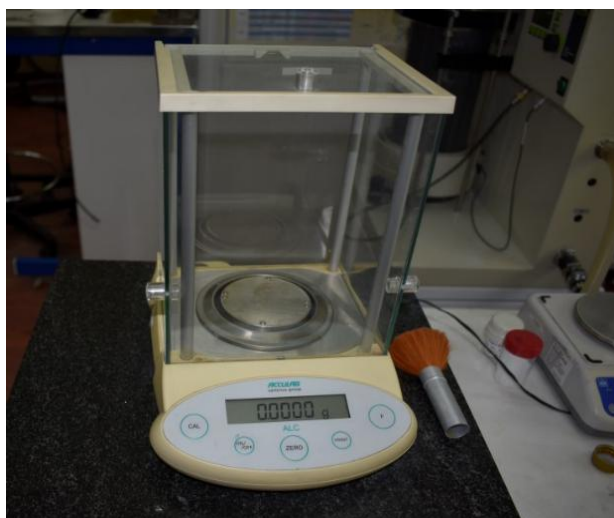


Рисунок 2.4. – Электронные лабораторные весы AL -110d4.

### 2.3 Потенциометрия

При измерениях использовали мультиметр VC98 0CA+.



Рисунок 2.5. Мультиметр VC98 0CA+.

Изменение потенциала стали проводили в разных средах до и после обработки в растворах ингибиторов. Используемые растворы электролитов (0.1M): NaOH, HCl, NaCl. В качестве противоэлектрода использовали насыщенный хлоридсеребряный электрод.

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1 Сравнение изменения массы стали у8А в $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ до и после обработки в растворах ингибиторов.

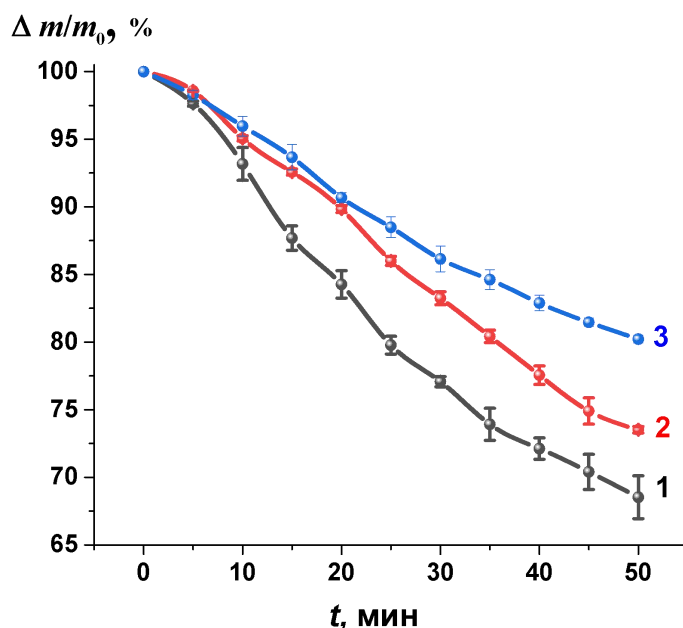


Рисунок 3.1. Потеря массы стали У8А в смеси  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ .

(1-образец до обработки; 2- образец после выдержки в ПЭГ-200;

3-образец после выдержки в ПЭГ-400 с НЧ  $\text{ZrO}_2$ .)

Результаты представлены на рисунке 3.1. Видно, что использование ингибиторов эффективно даже в такой агрессивной среде. Сталь без ингибитора значительно быстрее теряет массу (кривая 1). Добавление наночастиц в данном случае снижает скорость растворения металла (кривая 3, рис. 3.1), что особенно заметно после 20 минут проведения процесса.

Таким образом, предложенные растворы ПЭГ-400 с добавлением наночастиц оксида циркония могут быть использованы в качестве недорогого, имеющего простую технологию получения, ингибитора электрохимической коррозии низколегированных сталей.

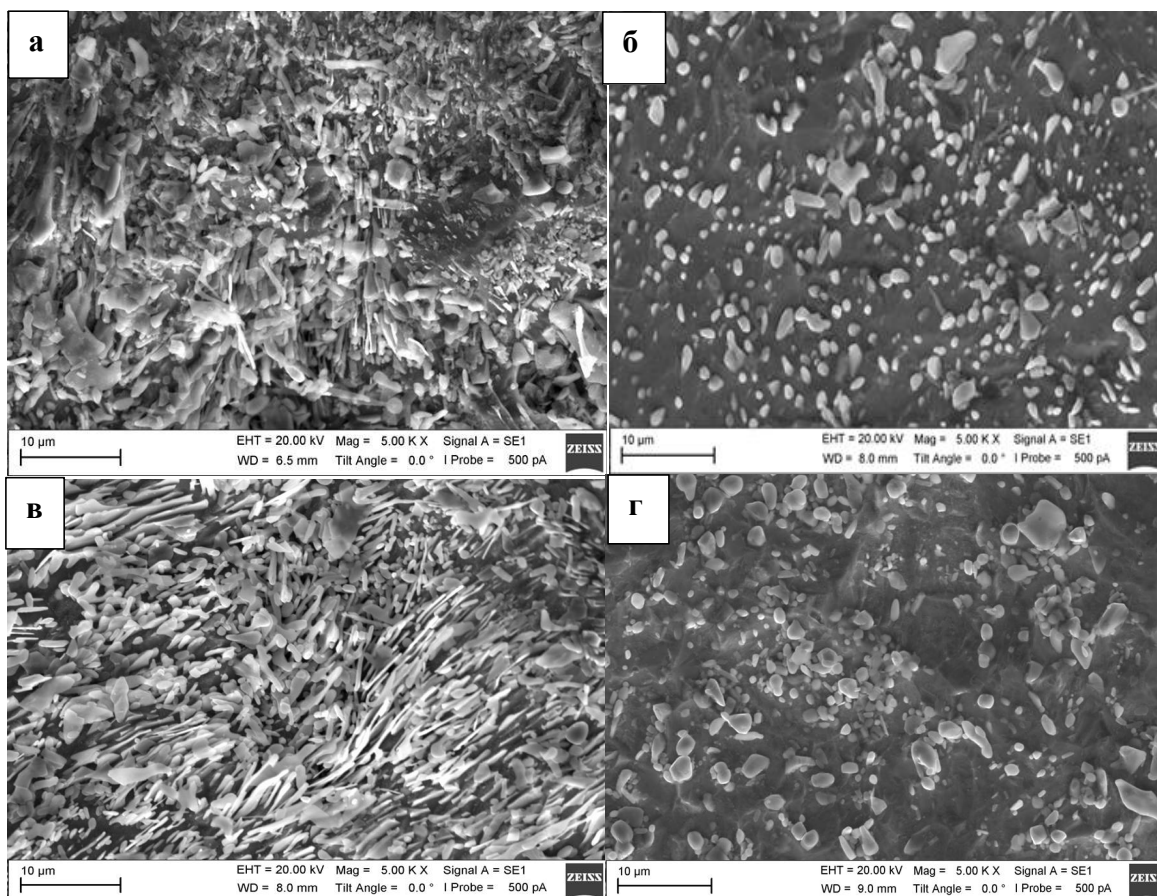


Рисунок 3.2. – РЭМ-изображения стали У8А обработанной ПЭГ-400 (а, б) и ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$  (в, г), до (а, в) и после (б, г) выдержки в смеси  $HNO_3-HCl$ .

На изображениях а и в рисунке 3.2, видны слоистые структуры, это материал самой стали. Светлые частицы, преимущественно овальной формы, это полиэтиленгликоль. Частицы оксида циркония сложно увидеть при таком разрешении микроскопа, однако, хорошо видно, что при их добавлении поверхность металла покрыта более полно.

После выдержки в смеси кислот слоистая структура полностью стравливается и поверхность становится более гладкой (рис. 3.2, б, г). При этом частицы ингибитора также диффундируют в раствор. Никакой существенной разницы между поверхностями, выдержанными в растворе ПЭГ с наночастицами (рис. 3.2, г) и без (рис. 3.2, б) не выявлено. Единственное, что можно заметить, сравнивая эти образцы, это укрупнение частиц ингибитора. Возможно, это связано с тем, что молекулы ПЭГ адсорбируются на поверхности частиц  $ZrO_2$ , вызывая агломерацию частиц и ускоряя тем самым их диффузию в раствор.

### 3.2 Сравнение изменения потенциала стали у8А в разных средах до и после обработки в растворах ингибиторов.

Оценку эффективности ингибитора проводили методом потенциометрии. Исследования проводили в трех средах: кислой щелочной и нейтральной. В качестве рабочего электрода использовали исследуемый металл – низколегированную сталь У8А.

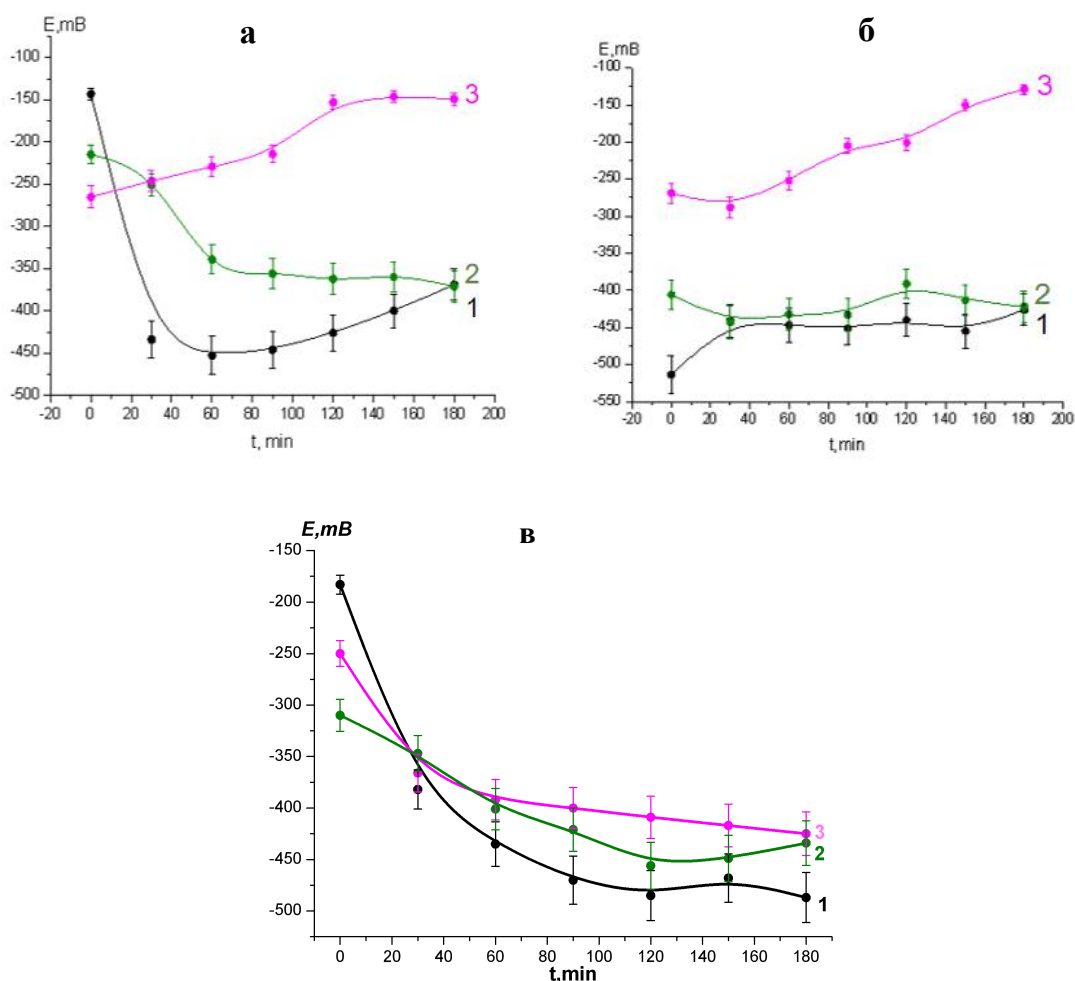


Рисунок 3.3 – Кривые изменения потенциала стали у8А в разных средах до и после обработки в растворах ингибиторов. (а-NaOH, б-HCl, в-NaCl; 1-у8А, 2-у8А+ПЭГ-400, 3-у8А+ПЭГ-400+НЧ ZrO<sub>2</sub>.)

На рисунке. 3.3 представлено влияние ингибиторов на изменение равновесного потенциала в растворах сред. Перед измерением электрод выдерживали в средах различных ингибиторов. По характеру изменения кривые можно разделить на две группы. В первом случае наблюдается увеличение электродного потенциала от времени, во втором – уменьшение. Прослеживается

четкая закономерность: к первой группе относятся образцы, выдержанные в растворах, содержащих частицы оксида циркония (кривые 3 на рис. 3.3). Увеличение потенциала, прямо коррелирующее в большинстве случаев, с коррозионной устойчивостью металла, свидетельствует о другом механизме формирования ДЭС и значительном изменении свойств поверхности. Применение традиционных ингибиторов не приводит к существенному изменению электродного потенциала стали (кривые 2 на рис 3.3).

В таблице 3.1 приведены конечные электродные потенциалы стали, установившиеся после 3 часов выдержки электродов в модельных агрессивных средах.

Таблица 3.1 – Равновесные потенциалы,  $E_{\text{равн}}$ , мВ.

Образцы среда	0,1 М HCl (pH=1)	0,1 М NaCl (pH=7)	0,1 М NaOH (pH=13)
У8А	-430	-500	-385
У8А + ПЭГ-400	-425	-440	-385
У8А + ПЭГ-400 + НЧ ZrO <sub>2</sub>	-150	-445	-150

Из таблицы видно, что в наиболее агрессивной среде, щелочной и кислой, наблюдается схожая тенденция. А в нейтральной среде, обработка металла в растворе традиционного ингибитора не приводит к значительному эффекту. В данном случае это может быть связано и с тем фактом, что часть ингибиторы смывается с поверхности в раствор электролита.

В свою очередь в кислых и щелочных средах добавление наночастиц позволяет увеличить значение электродного потенциала в 2–3 раза.



## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. 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 ВКР – Разработка ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц циркония.

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

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

- 1) Исследование антикоррозионной способности наносмешанного оксида металла пигментное дисперсное алкидное покрытие и его оптимизация для стали А36.
- 2) Исследование гидрофобного нано-TiO<sub>2</sub> покрытия и его свойств для коррозионной защиты металлов.

В таблице 4.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Устойчив к агломерации	0,14	5	3	3	0,7	0,42	0,42
2. Размер частицы	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
3. Выдерживание высоких температур	0,08	4	1	5	0,32	0,08	0,4
4. Коррозионная стойкость	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
5. Технологичность	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Эффективность работы	0,16	5	2	2	0,8	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Реализация продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень охвата рынка	0,03	4	5	3	0,12	0,15	0,09
3. Предполагаемая цена	0,08	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>82</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>4,89</b>	<b>3,33</b>	<b>3,36</b>

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

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. 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 4.2–4.5.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможност и проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

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

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможност и проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

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

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b> С1. Низкая стоимость исходного сырья С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции С3. Взаимосвязи ТПУ с	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Невысокие объемы производства Сл3. Риск нарушения
--	--	--

	<p>потенциальными заказчиками</p> <p>C4. Экологичность технологии</p> <p>C5. Квалифицированный персонал</p>	<p>правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>B1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>B2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>B3. Внедрение технологии в производство</p> <p>B4. Участие в грантах</p> <p>B5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>B2C2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p> <p>B3C2C4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>B4C2C4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах</p> <p>B5C1C2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>B1Cл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака</p>
<p><b>Угрозы</b></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><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1C1C2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса</p>	<p><b>Уязвимости:</b></p> <p>У2Cл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства</p> <p>У1Cл4. 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 работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – 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 ВКР	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	Оценка эффективности результатов	научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	инженер

### 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях  $T_p$ ), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – 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		$t_{ожи}$ , 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	1		4		2		2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2	2	2	3

3. Обзор научной литературы		7		10		8	8	12
4. Выбор методов исследования		5		8		6	6	9
5. Планирование эксперимента	2	8	4	10	3	9	6	9
6. Проведение эксперимента		20		25		22	22	33
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		6	4	6
8. Оценка эффективности результатов	4		8			6	6	9
9. Составление пояснительной записки		6		10		8	8	11
<b>Итого</b>	8	51	20	75	7	67	64	95

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.9).

Если умеете пользоваться диаграммами, то диаграмму Ганта можно сделать не таблицей, а диаграммой. Но тогда это будет не таблица, а рисунок (как у вашего консультанта в примере).

Таблица 4.9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3														
2	Календарное	Исп1	3														

№	Вид работ	Исп	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	планирование выполнения ВКР	Исп2													
3	Обзор научной литературы	Исп2	12			■									
4	Выбор методов исследования	Исп2	9			■									
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	9				■								
6	Проведение эксперимента	Исп2	33					■							
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6								■				
8	Оценка эффективности результатов	Исп1	6									■			
9	Составление пояснительной записки	Исп2	11										■		

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.

Для расчета бюджета следует рассчитать следующие затраты:

1. материальный затрат
2. амортизации специального оборудования
3. основная заработная плата исполнителей темы
4. отчисления **во внебюджетные фонды**
5. накладные расходы

##### 4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или



являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Затраты на получение образца порошковой системы  $ZrO_2 - 30 \text{ мас } \% ZrO(NO_3)_2$

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг(литр)	Итого затраты, руб.
Реактив Тиомочевина ГОСТ 6344-73	0,164	347.80	57,0392
Полиэтиленгликоль - ПЭГ-400 ГОСТ 5322-68	0,144	90,00	12,96
Порошок цирконий азотнокислый, кг.	0,287	1900	545,3
Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72, л	1	14	14
Мыло туалетное ГОСТ 28546- 2002 ГОСТ 790-89	1	35	35
Очки защитные ГОСТ Р 12.4.013- 97, шт.	1	58	58
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			734,26

#### 4.2.3.2 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 4.11).

Таблица 4.11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Аналитические весы Acculab ALC-110d4 (110г / 0,0001г)	1	10	99	99
2	Мультиметр VC980CA+	1	5	1,25	1,25
3	Нано Распылительная Сушилка Nanospray Drying B-90	1	7	700	700

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

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

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

Рассчитаем амортизацию для аналитических весы, 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:

Аналитические весы:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 99000}{12} \cdot 1 = 825 \text{ руб.} \quad (6)$$

Мультиметр:

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 1250}{12} \cdot 1 = 20,8 \text{ руб.} \quad (7)$$

Нано Распылительная Сушилка :

$$A = \frac{H_A N}{12} \cdot m = \frac{0,143 \cdot 700000}{12} \cdot 1 = 25083,3 \text{ руб.} \quad (8)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 825 + 20,8 + 25083,3 = 25929,1 \text{ руб.}$$

#### 4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $Z_{он}$  – 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):

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

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_o$  – 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):

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

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (12)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (13)$$

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

Таблица 4.12 – 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 4.13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, руб$	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{dn}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{ocn}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	15	32209.5
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	56	97613.6
Итого:								129823.1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{don} = K_{don} \cdot Z_{ocn} = 0,15 \cdot 32209,5 = 4831,4 руб. \quad (14)$$

– для инженера:

$$Z_{don} = K_{don} \cdot Z_{ocn} = 0,15 \cdot 97613,6 = 14642 руб., \quad (15)$$

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

#### 4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{ocn} + Z_{don}) = 0,3 \cdot (32209,5 + 4831,4) = 11112,2 руб. \quad (16)$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{ocn} + Z_{don}) = 0,3 \cdot (97613,6 + 14642) = 33676,7 руб., \quad (17)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

#### 4.2.3.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (826,29 + 25929,1 + 129823,1 + 19473,4 + 44788,9) \cdot K_{np} = 220840,8 \cdot 0,2 = 44168,2 руб. \quad (18)$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется

калькуляция плановой себестоимости НИ «Использование наночастиц оксида циркония как ингибитора в коррозии стали.» по форме, приведенной в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
25929,1	734,26	129823,1	19473,4	44788,9	220840,8	44168,2	265009

#### 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 ходе 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 НТР рассмотрены:

1) Исследование антикоррозионной способности наносмешанного оксида металла пигментное дисперсное алкидное покрытие и его оптимизация для стали А36.

2) Исследование гидрофобного нано-TiO<sub>2</sub> покрытия и его свойств для коррозионной защиты металлов.

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (19)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} 270417/270417 = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} 267713/270417 = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} 265009/270417 = 0,98.$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НТР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Безопасность при использовании установки	0,1	3/0,3	3/0,3	5/0,5
2. Стабильность работы	0,15	3/0,45	4/0,6	5/0,75
3. Технические характеристики	0,15	3/0,45	4/0,6	5/0,75
4. Ремонтпригодность	0,20	5/1	5/1	5/1
ИТОГО	1	22/3,9	23/3,75	28/4,6

$$I_{p-вар1} = 3,9;$$

$$I_{p-вар2} = 3,75;$$

$$I_{p-вар3} = 4,6;$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{вари}$ ) по формуле:

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{\text{финр}}^{\text{вари}}} \quad (20)$$

$$I_{вар1} = \frac{3,9}{1} = 3,9, \quad I_{вар2} = \frac{3,75}{0,99} = 3,8, \quad I_{вар3} = \frac{4,6}{0,98} = 4,7.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР

сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,75	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	3,9	3,8	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,8 Вар. 1/Вар. 3= 1	Вар. 2/Вар. 1 = 0,9 Вар. 2/Вар. 3 = 0,8	Вар. 3/Вар. 1 = 1,2 Вар. 3/Вар. 2 = 1,2

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

#### **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 – 64 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 56; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 15;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 265009 руб;

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

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,98, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с

аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,6, по сравнению с 3,75 и 3,9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 3,8 и 3,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

Научно-исследовательская работа выполнена в Научно-образовательном инновационном центре «Наноматериалы и нанотехнологии», ТПУ (корпус 15, аудитория 203).

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

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

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [13]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства. Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда; обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

#### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Рабочее место располагается на 2 этаже на проспекте Ленина, 2Ас15, помещение представляет собой комнату размером 3 м на 4 м, высотой 3 м, 2 окон выходящих на север, в помещении находится 3 единицы технологического оборудования, 2 людей.



В лаборатории исследование проводят в двух положениях – стоя и сидя. Следовательно, при организации рабочего места инженера необходимо учитывать требования соответствующих ГОСТ [14, 15]. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара.

Рабочую зону необходимо оборудовать системой отопления. Для отделки помещения должны использоваться диффузно-отражающие материалы. Необходимо, чтобы поверхность пола была без выбоин.

## 5.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [15]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу атация	
1. Вредные вещества	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88[16]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [17] ГОСТ 12.1.005-88 [16]
3. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [19] ГОСТ 12.1.029-80 [20] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	ГОСТ 17.1.3.13-86 [22] ГН 2.1.5.2280-07[23]
5. Электробезопаснос ть	+	+	+	МУ2.1.7.1185-03 [24] ГОСТ Р52105-2003[25]
6. пожар		+		ГОСТ 12.1.005-88 [26] ГН 2.2.5.3532-18 [27] СанПиН 2.2.4.548-96 [17]

### 5.2.1 Анализ условий труда на рабочем месте.

К числу опасных факторов следует отнести:

#### **Наличие оборудования с повышенной температурой поверхности.**

Лаборатории расположено следующее оборудование:

- распылительная сушка Nano Spray Dryer B-90
- аналитические весы Acculab ALC-210D4, Германия, с точностью до 0,0001 г на отдельном столике с мраморной подставкой;
- 2 вытяжных шкафа;
- 2 шкафа для хранения лабораторной посуды;
- 2 шкафа для хранения химикатов;
- 2 рабочих стола;
- 2 раковины

В ходе испытаний такого оборудования не будет, поскольку повышение температуры поверхности не может работать.

**Механическое оборудование:** распылительная сушка Nano Spray Dryer B-90 и аналитические весы Acculab ALC-210D4.

При использовании этих устройств следует соблюдать надлежащие методы работы, а после их применения необходимо очистить и отключить питание.

#### **Вредные вещества**

Для безопасной работы с вредными химическими веществами является необходимо знание свойств, особенностей их токсичного действия и симптомов отравления. Неосторожность при работе с химическими реактивами может привести к острым и хроническим отравлениям, раздражению дыхательных путей, химическим и термическим ожогам.

Таблица 5.2 – Показатели токсичности материалов согласно ГОСТ 12.1.005-88 [16].

Соединение	Показатель	
	Класс опасности	Величина ПДК с. сут. (мг/м <sup>3</sup> )
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	IV	20
Спирт этиловый (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	IV	1000
Тиомочевина (CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> S)	II	0,3
Полиэтиленгликоль (C <sub>2n</sub> H <sub>4n+2</sub> O <sub>n+1</sub> )	III	7
Диоксид циркония (ZrO <sub>2</sub> )	III	6

Напорошковые материалы могут вызывать раздражение слизистой оболочки и кожного покрова, засорение дыхательных путей организма. Для обеспечения безопасности труда при контакте с наноматериалами обязательно должны применяться средств индивидуальной защиты (маски, респираторы), технические средства (приточная и вытяжная вентиляции), а также необходимо проводить

инструктаж обслуживающего персонала. Индивидуальной защитой служат противогаз марки БКФ, респираторы типа «Астра-2», «Лепесток-200», защитные очки, спецодежда из хлориновой ткани.

### 5.2.2 Анализ показателей микроклимата

Под микроклиматом производственной среды, согласно общим санитарным нормам, понимают сочетание температуры, относительной влажности воздуха и интенсивности теплового излучения. Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье, надежность работы. Согласно комната управления относится к помещению без повышенного тепловыделения.

Работы делятся на три категории тяжести на основании общих энергозатрат организма. Оптимальные значения микроклимата для этого случая даны в таблице 5.3. Помещение и его размеры (площадь, объем) должны в первую очередь соответствовать количеству рабочих и размещенному в нем оборудованию. Помещение, где находится рабочее место лаборанта, отапливается в зимнее время года и соответствует данным нормам.

Таблица 5.3 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	легкая Ib	21 - 23	40 - 60	0,1
Теплый	легкая Ib	22 - 24	40 - 60	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека - не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01[17] устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 4,5 м<sup>2</sup> площади помещения и 20 м<sup>3</sup> объема воздуха.

Помещение лаборатории имеет следующие параметры:

- длина помещения - 4 м;
- ширина - 3 м;
- высота - 3 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 3 \cdot 4 = 12 \text{ кв.м};$$

$$\text{объем: } V = 3 \cdot 4 \cdot 3 = 36 \text{ куб. м.}$$

В лаборатории работает 2 человека. Значит, на каждого человека приходится 6 м<sup>2</sup> рабочей площади и 36 м<sup>3</sup> объема воздуха. Это удовлетворяет санитарным нормам.

### 5.2.3 Анализ показателей шума

Шум является распространенным биологическим стимулом, который не только влияет на слуховой анализатор, но и влияет на структуру мозга, что приводит к изменениям в различных функциональных системах организма человека. Влияние шума на организм человека заметно: неразборчивость речи, дискомфорт, развитие усталости и снижение производительности труда, а также появление шумовой патологии.

Таблица 5.4 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

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

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в децибелах в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$W(L) = 20 \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

где,  $P$  – среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па – исходное значение звукового давления в воздухе.

Шум от работающих 2 компьютеров создает  $P = 0,072$  Па. Таким образом,  $L = 32$  дБ.

Согласно предельно допустимый уровень звукового давления составляет  $L_{max} = 75$  дБ. Иными словами, шум, создаваемый работой компьютеров, по своим характеристикам удовлетворяет санитарным нормам.

#### 5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

Нормы освещения научно-технических лабораторий, в том числе физических, стилометрических, спектрографических и т. п., по [18] представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом,	Естественное освещение КЕО $e_n$ , %		Совмещенное освещение КЕО $e_n$ , %		Искусственное освещение			
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, КЕО $e_n$ , %, не более
					при комбинированном освещении	при общем освещении		
					все го	от общ его		

М									
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	50 0	300	400	40	10

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 [175] и СП 52.13330.2016 [18] норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения КЕО=1,2 %, для совмещенного освещения КЕО=2,1 %. Для искусственного освещения при общем освещении норма 300-500 лк, при коэффициенте пульсации не более 10 %.

Нормы разных видов освещения для промышленных помещений со зрительными работами четвертого разряда [19] представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории IVГ)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	UGR, не более	К <sub>п</sub> , %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны:

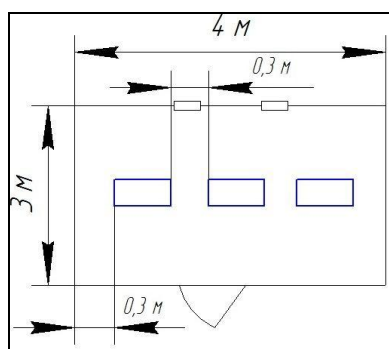


Рисунок 5.1 – План размещения светильников

$q_n = 70\%$ ,  $q_c = 50\%$ ,  $q_3 = 10\%$ . Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$H = h - h_p - h_c,$$

$$H = 3 - 0,80 - 0 = 2,20 \text{ м},$$

где  $h$  – высота потолков, м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности, м;

$h_c$  – расстояние светильников от перекрытия, м.

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет  $\lambda = 1,4$ . Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м}.$$

Число рядов светильников:

$$n = B/L = 3/3,08 = 0,97,$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

Выбираем  $n = 1$  ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{12}{1 \cdot (4 + 3)} = 1,7$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 43\%$ .

Световой поток лампы ЛБ составляет  $F_0 = 2480$  лм. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп  $F = 4960$  лм.

Необходимое число светильников в ряду:  $\frac{6210 \text{ лм}}{4265,6 \text{ лм}} \approx 3$ .

Далее рассчитывается фактическое освещение в помещении.

Число светильников в ряду 3 (число ламп 2):

$$\Phi = 2850 \cdot 3 \cdot 2 = 17100 \text{ лм}.$$

Фактическое освещение в помещении  $\Phi = 17100$  лм для одного ряда светильников, т. е. для трех светильников с двумя лампами. Рассчитывается фактическое значение освещения в помещении по формуле:

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \eta \cdot \Phi}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{4960 \cdot 3 \cdot 43\%}{12 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 100\%} = 309 \text{ лк}.$$

Согласно расчётам, фактическое значение освещения укладывается в диапазон освещённости искусственным светом 300-500 лк:  $E_{\text{факт}} = 309$  лк.

### 5.2.5 Электрический ток

Знание допустимых для человека значений тока и напряжения позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным мерам от поражения электрическим током. ГОСТ 12.1.038-82 [20] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек.

Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука / рука или рука / ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок.

Таблица 5.7– Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

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

Таблица 5.8.Классификация помещения по электрической опасности.

Категория помещения	Признак
Особо опасные помещения.	- Постоянно 100 % влажность (особо сырое помещение); - наличие химически активной среды;
Помещения повышенной опасности поражения электрическим током	- повышенная температура воздуха ( $t = + 35$ С); - повышенная влажность ( $> 75$ %); - наличие токопроводящей пыли; - наличие токопроводящих полов; - возможности прикосновения
Мало опасные помещения.	-



Как видно из Таблицы 5.8, в моей помещении по электрической опасности нет вышеуказанного признака, поэтому помещение относится к “Мало опасным помещениям”.

### 5.2.6 Анализ пожарной безопасности

Таблице 5.9. категория помещения по пожаровзрывоопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении	
А Взрыво- пожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки <u>не более 28°C</u> в таком количестве, что могут образовывать <u>взрывоопасные парогазовоздушные смеси</u> , при воспламенении которых развивается расчетное <u>избыточное давление взрыва</u> в помещении, <u>превышающее 5 кПа</u> . Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с <u>водой, кислородом воздуха или друг с другом</u> в таком количестве, что расчетное <u>избыточное давление взрыва</u> в помещении <u>превышает 5 кПа</u> .	
Б Взрыво- пожароопасная	Горючие пыли или волокна, легко-воспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки <u>более 28°C</u> , горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрыво-опасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное <u>избыточное давление взрыва</u> в помещении, <u>превышающее 5 кПа</u> .	
В1 – В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, <u>при условии</u> , что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.	
Примечание. Разделение помещений на категории В1 — В4 регламентируется положениями, изложенными ниже.		
Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж·м <sup>-2</sup>	Способ размещения
В1	Более 2200	
В2	1401 — 2200	См. п. 25
В3	181 — 1400	То же
В4	1 — 180	На любом участке пола помещения площадью 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно НПБ 105-03, п. 25.

Нанопорошок, используемый в эксперименте, может гореть при высокой температуре, поэтому помещение относится к Б взрыво-пожароопасная.

При распространении огня, если возгорание не ликвидировано в первые несколько секунд, следует в первую очередь отключить вентилятор и закрыть вентиляционный канал. В хорошо вентилируемом помещении интенсивный приток воздуха может способствовать быстрому распространению пламени. Последовательность действий при пожаре:

- подать сигнал о помощи;
- удалить из зоны горения все материалы, способные к воспламенению, в случае возможности, удалить источник воспламенения;
- обесточить электрооборудование, ставшее источником воспламенения или обесточить все помещение;
- применить первичные средства пожаротушения.

Лаборатория оснащена 2-мя углекислотными огнетушителями марки ОУ-2, которые предназначены для тушения возгораний химических веществ за исключением тушения щелочноземельных элементов, электрических приборов, работающих под напряжением ниже 1000 В.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Наночастицы, благодаря малому размеру, могут проникнуть практически в любые среды и даже в организмы. Поступая из разных источников в окружающую среду, наночастицы, способны проникать в самые разные области нашего мира. Схема миграции наночастиц представляет собой взаимное перемещение наночастиц между средами обитания (воздух, гидросфера и литосфера), а также миграцию в различные биологические объекты (человек и наземные обитатели, растительный и животный мир водной системы, почва и отложения и т.д.).

*Защита гидросферы.* Наночастицы с производства, при неправильной утилизации суспензий металлических нанопорошков могут попадать в воду, используемую для питьевых нужд. Данным путем частицы попадают в пищеварительный тракт человека. В настоящее время исследования, доказывающие данный механизм попадания частиц не проведены, а такая возможность рассматривается только на вероятностном уровне. При этом, на сегодняшний день тема поведения наночастиц в водных средах не изучена глубоко, а в России наноматериалы не признаны потенциально опасными. По ГОСТ 17.1.3.06–82 [21] и

ГОСТ 17.1.3.13–86 [22] если ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 [23] не превышен, очистка воды не требуется.

*Защита литосферы.* Наночастицы попадают в почву путем осаждения, адсорбции или адгезии из атмосферы, растворением и осаждением из гидросферы, а также из биологических объектов, например, при их разложении. Наночастицы легко проникают из почвы в бентос, в растения, и, далее по пищевой цепочке, в организмы животных и людей. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве регламентируется МУ 2.1.7.1185-03. 2.1.7. [24].

*Утилизация люминесцентных ламп и макулатуры.* К числу наиболее важных направлений управления промышленными отходами и отходами потребления относится не только экологически безопасное обращение с отходами, но и их переработка во вторичные материальные ресурсы. Утилизация люминесцентных ламп по ГОСТ Р 52105-2003 [25] каждая трубка люминесцентной лампы содержит в себе от 3 до 5 мг ртути. Люминесцентные лампы причислены к первому классу токсичных отходов, и требуют специальной утилизации: вышедших из строя ламп, помещают в индивидуальные картонные коробки от ламп типа ЛБ, ЛД и другие, после упаковки ламп в тару для хранения их следует сложить в отдельные коробки из фанеры или ДСП. При накоплении определенного количества ртутьсодержащих и прочих опасных видов ламп их сортируют, помещают в отдельные ячейки и отправляют в профильную компанию для последующей нейтрализации и переработки [26].

Макулатура по ГОСТ Р 55090-2012 [27] проводится с разными методами. Для макулатуры существуют специально установленные контейнеры, в которые помещаются отработавшие печатные издания, офисная бумага и другие изделия из переработанной целлюлозы. Они отвозятся в пункты по сбору макулатуры, где утилизируются. Выделяется несколько основных способов: захоронение; брикетирование; компостирование; переработка (химически, механически, термически).

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) необходимо разработать и ознакомить сотрудников с рядом действий и, уменьшающих масштабы

ЧС. Также необходимо проводить планирование по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Рассматриваем две ситуации ЧС:

1) Природная – сильные морозы зимой:

Учитывая условия, в которых находится наша лаборатория, зимой может возникнуть низкотемпературная ситуация, которая может привести к тому, что оборудование не сможет нормально работать, поэтому необходимо обеспечить следующие защитные меры:

- Лаборатория должна обеспечивать нормальное функционирование отопления и, при необходимости, включать кондиционер.
- Экспериментаторы должны также позаботиться о тепле, носить шляпу, шарф и перчатки.

Когда температура слишком низкая, персонал должен рассмотреть возможность временного приостановления эксперимента, чтобы обеспечить безопасность экспериментатора и прибора.

2) Техногенная – исключить несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (большая вероятность проведения диверсии).

Когда незнакомцы входят в лабораторию, могут возникнуть некоторые неожиданные ситуации, такие как случайное опрокидывание экспериментальных материалов и вмешательство в ход эксперимента. Чтобы избежать такой ситуации, должны быть приняты следующие меры:

- Напишите этикетку на используемом инструменте.
- Токсичные или коррозионные химические реагенты должны храниться в безопасном месте.
- Выходя из лаборатории, дверь должна быть закрыта, а лабораторное оборудование выключено.

Когда незнакомцы входят в лабораторию без разрешения и используют экспериментальные реагенты или лабораторное оборудование без разрешения, их следует вовремя остановить и предупредить.

## 5.5 Выводы по разделу

Главным направлением обеспечения экологической безопасности нанотехнологий и наноматериалов является жесткий контроль нанопродуктов и их производных на всех стадиях жизненного цикла: от разработки и изучения в лаборатории до полной утилизации. Так как система гигиенического контроля и нормирования для наночастиц и наноматериалов на сегодняшний день еще не разработана, то при работе с наночастицами следует проводить мониторинг риска для каждого используемого материала. Целью такого мониторинга должно стать уменьшение до приемлемого уровня риска и снижение негативных воздействий исследуемых частиц на персонал и окружающую среду.

В данном разделе диссертационной работы рассмотрены основные требования к безопасности работы персонала на всех этапах работы с выбранными материалами для минимизации негативного воздействия. Организация работы по представленным протоколам также является основным минимумом для перехода от лабораторного производства к опытному, а затем и к массовому производству и использованию предложенных в работе идей в промышленности.

В работе исследовались правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Так же рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. В итоге, установлено, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

## Выводы

1. На основании кривых потери массы стали установлено, что использование полиэтиленгликоля эффективно в агрессивной среде. Добавление наночастиц  $ZrO_2$  снижает скорость растворения металла, что особенно заметно после 20 минут проведения процесса.

2. С помощью РЭМ установлено, что при добавлении частиц оксида циркония к раствору ПЭГ, поверхность металла покрыта более полно.

3. На основании кривых изменения потенциала стали установлено, что в нейтральной среде, обработка металла в растворе традиционного ингибитора не приводит к значительному эффекту. В кислых и щелочных средах добавление наночастиц позволяет увеличить значение электродного потенциала в 2–3 раза.

4. 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.

5. Показано, что для разработки ингибитора коррозии низколегированной стали на основе наночастиц оксида циркония затраты на реализацию проекта составляют 265009 руб. По сравнению с другими решениями, значение интегрального финансового, интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального показателя эффективности ИР, являются наиболее высоким, что означает, что наша работа является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## Список используемых источников

1. Benitha, V.S., Jeyasubramanian\* K., Hikku G.S. Investigation of anti-corrosion ability of nano mixed metal oxide pigment dispersed alkyd coating and its optimization for A36 steel / V.S. Benitha, K. Jeyasubramanian\*, G.S. Hikku // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 721 (1). – P. 563-576.
2. Deyab M.A., AmrA.Nada, Hamdy A. Comparative study on the corrosion and mechanical properties of nano-composite coatings incorporated with TiO<sub>2</sub> nanoparticles, TiO<sub>2</sub> nano-tubes, and ZnO nano-flowers / M.A.Deyab, AmrA.Nada, A.Hamdy // Progress in Organic Coatings. – 2017. – Vol. 105(5). – P. 245 – 251.
3. ZiadT.Khodair, AneesA.Khadomb, HassanA.Jasim Corrosion protection of mild steel in different aqueous media via epoxy / nanomaterial coating: preparation, characterization and mathematical views / ZiadT.Khodair, AneesA.Khadomb, HassanA.Jasim // Progress in Organic Coatings. – 2017. – Vol. 105 (10) – P. 245 – 251.
4. Kocijan, Conradi.M Fine-tuning of surface properties of dual-size TiO<sub>2</sub> nanoparticle coatings / Kocijan, M. Conradi // – 2019. – Vol. Issue 1(1-5). – P. 424-435.
5. Behzadnasab\*, Mirabedini S.M., Esfandeh M. Corrosion protection of steel by epoxy nanocomposite coatings containing various combinations of clay and nanoparticulate zirconia / Behzadnasab, S.M. Mirabedini, M. Esfandeh // – 2016. – Vol. 304 (10). – P. 486-491.
6. Sherif Elbasuney, Mohamed Gobara, Mahmoud Zoriany, Ahmed Maraden The significant role of stabilized colloidal ZrO<sub>2</sub> nanoparticles for corrosion protection of AA2024 / Sherif Elbasuney, Mohamed Gobara, Mahmoud Zoriany, Ahmed Maraden // Environmental Nanotechnology and Monitoring. – 2019. – P. 100-242.
7. Zahra Sharifalhoseini, Mohammad H., Entezaria, Mohsen Shahidi Direct growth of ZnO nanostructures on the Zn electroplated mild steel to create the surface roughness and improve the corrosion protection of the electroless Ni-P coating / Zahra Sharifalhoseini, Mohammad H. Entezaria, Mohsen Shahidi // Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 231(5). – P. 18-27.
8. Chukwuike V.I., Sam Sankar S., Subrata Kundu, Barik R.C., Capped and uncapped nickel tungstate (NiWO<sub>4</sub>) nanomaterials: A comparison study for anti-corrosion of copper metal in NaCl solution / V.I. Chukwuike, S. Sam Sankar, Subrata Kundu,

- R.C. Barik // Corrosion Science . – 2019. – Vol. 158(9). – P. 101-108.
9. Elmira Velayi, Reza Norouzbegi Single-step prepared hybrid ZnO/CuO nanopowders for water repellent and corrosion resistant coatings / Elmira Velayi, Reza Norouzbegi // Progress in Organic Coatings. – 2019. – Vol. 45(10), – P. 16864-168721.
  10. Shena G.X., Chena Y.C., Lina L., Scantlebury D. Study on a hydrophobic nano-TiO<sub>2</sub> coating and its properties for corrosion protection of metals / G.X. Shena, Y.C. Chena, L. Lina, C.J. Lina, D. Scantlebury // Electrochimica Acta . – 2005. – Vol. 50. – P. 5083 – 5089.
  11. Mohammad Karimi Sahnesarayi, Hossein Sarpoolaky\* , Saeed Rastegari Effect of heat treatment temperature on the performance of nano-TiO<sub>2</sub> coating in protecting 316L stainless steel against corrosion under UV illumination and dark conditions / Mohammad Karimi Sahnesarayi, Hossein Sarpoolaky\* , Saeed Rastegari // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Vol. 258(11). – P. 861-870.
  12. Hong Yun Study on the N-, S- and Cl-modified nano-tio<sub>2</sub> coatings for corrosion protection of stainless steel/ Hong Yun, Jing Li, Hong-Bo Chen, Chang-Jian Lin // Electrochimica Acta, – 2007. – Vol. 52 .– P. 6679 – 668.
  13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
  14. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
  15. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
  16. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
  17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
  18. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (дата введения: 08.05.2017).
  19. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).



20. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983)
21. ГОСТ 17.1.3.06-82. Государственный комитет ссср по управлению качеством продукции и стандартам. Москва межгосударственный стандарт
22. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения..
23. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (пдк) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования..
24. МУ2.1.7.1185-03Сбор,транспортирование,захоронение асбестсодержащих отходов.
25. ГОСТ Р52105-2003 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов..
26. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
27. ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги.