



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** 22.04.01. Материаловедение и технологии материалов  
**Отделение школы** Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы   |
|---|
| <b>Разработка антикоррозионных покрытий на основе акрилового лака и наночастиц оксидов металлов</b> |

УДК 621.793-036.6:546.3-31:620.197.3

Студент

| Группа | ФИО        | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 4БМ12  | Чэнь Лянси |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность                         | ФИО         | Ученая степень | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|-------------|----------------|---------|------|
| Доцент отделения материаловедения | Лямина.Г.В. | к.х.н..        |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность   | ФИО        | Ученая степень | Подпись | Дата       |
|-------------|------------|----------------|---------|------------|
| Доцент ОСГН | Кащук И.В. | к.т.н.         |         | 20.05.2023 |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность  | ФИО            | Ученая степень | Подпись | Дата       |
|------------|----------------|----------------|---------|------------|
| Доцент ОБН | Антоневич О.А. | к.б.н.         |         | 15.05.2023 |

По разделу «Приложение. Раздел на английском языке»

| Должность          | ФИО             | Ученая степень | Подпись | Дата       |
|--------------------|-----------------|----------------|---------|------------|
| ст. преп. ОИЯ ШБИП | Демьяненко Н.В. | -              |         | 26.05.2023 |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП   | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--------------------|--------------|------------------------|---------|------------|
| Профессор ОМ ИШНПТ | Хасанов О.Л. | Д.Т.Н., профессор      |         | 14.06.2023 |

Томск – 2023 г.

## Планируемые результаты обучения ООП

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

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 22.04.01. Материаловедение и технологии материалов**  
**Отделение школы Отделение материаловедения**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ О.Л. Хасанов  
 «13» марта 2023г.

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

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

|               |            |
|---------------|------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b> |
| 4БМ12         | Чэнь Лянси |

Тема работы:

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>Разработка антикоррозионных покрытий на основе акрилового лака и наночастиц оксидов металлов</b> |                                |
| Утверждена приказом директора ИШНПТ   | Приказ № 61-7/с/от 02.03.2023г |
| Срок сдачи студентом выполненной работы:  | 07.06.2023 г.                  |

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|  |   |
|--|---|
| Исходные данные к работе   | Исследование возможность использования ингибиторов на основе наночастиц ZnO, полученных распылительной сушкой, и акрилового лака на примере стали У8А и Ст3.  |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | 1. Получить и оценить устойчивость ингибиторов на основе НЧ ZnO – методом гравиметрии в смеси концентрированных азотной и соляной кислот.<br>2. Определить параметры коррозии бронзы (потенциал, ток коррозии) в разбавленных электролитах из коррозионных диаграмм, полученных в потенциодинамическом режиме.<br>3. Изучить морфологию сталей методом оптической микроскопии.<br>4. Оценить фазовый состав поверхности сталей с ингибиторами до и после коррозии |
| Перечень графического материала  | Коррозионные диаграммы, гравиметрические кривые, дифрактограммы фотографии образцов стали Ст3 и У8А в процессе тестирования; оптические изображения Ст3 и У8А   |

|  |                    |
|--|--------------------|
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  |                    |
| <b>Раздел</b>  | <b>Консультант</b> |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  | Гасанов М.А.       |
| Социальная ответственность   | Антоневич О.А.     |
| Раздел ВКР на английском языке   | Демьяненко Н. В.   |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>  |                    |
| <b>Разделы на русском языке:</b> Литературный обзор; экспериментальные методики; результаты и их обсуждение; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность |                    |
| <b>Раздел на иностранном языке:</b> Отдельные пункты литературного обзора  |                    |

|  |               |
|--|---------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 02.02.2023 г. |
|--|---------------|

**Задание выдал руководитель:**

|                                   |             |                       |                |             |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>                  | <b>ФИО</b>  | <b>Ученая степень</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент отделения материаловедения | Лямина.Г.В. | к.х.н..               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |            |                |             |
|---------------|------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 4БМ12         | Чэнь Лянси |                |             |



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 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
Уровень образования магистр  
Отделение школы Отделение материаловедения  
Период выполнения весенний семестр 2021 /2023 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

|  |               |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 14.06.2023 г. |
|--|---------------|

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

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

| Должность                         | ФИО         | Ученая степень | Подпись | Дата       |
|-----------------------------------|-------------|----------------|---------|------------|
| Доцент отделения материаловедения | Лямина.Г.В. | к.х.н..        |         | 13.03.2023 |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

| Должность          | ФИО          | Ученая степень      | Подпись | Дата |
|--------------------|--------------|---------------------|---------|------|
| Профессор ОМ ИШНПТ | Хасанов О.Л. | Д.Т.Н,<br>профессор |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|        |            |
|--------|------------|
| Группа | ФИО        |
| 4БМ12  | Чэнь Лянси |

|                     |         |             |   |
|---------------------|---------|-------------|---|
| Школа               | ИШНПТ   | Отделение   | Отделение материаловедения                        |
| Уровень образования | Магистр | Направление | 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов |

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

|   |  |
|---|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска<br>Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование   |
| 3. <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>               | <i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>   |
| <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>   | <i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>                                    |
| <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>               | <i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>  |
| <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i> | <i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i> |

**Перечень графического материала**

1. *Оценка конкурентоспособности ИР*
2. *Матрица SWOT*
3. *Диаграмма Ганта*
4. *Бюджет НИ*
5. *Основные показатели эффективности НИ*

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность        | ФИО                   | Ученая степень  | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------|-----------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Кацук Ирина Вадимовна | к.т.н<br>доцент |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО        | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 4БМ12  | Чэнь Лянси |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|                     |              |                  |   |
|---------------------|--------------|------------------|---|
| <b>Группа</b>       | <b>ФИО</b>   |                  |   |
| 4БМ12               | Чэнь Лянси   |                  |   |
| <b>Школа</b>        | <b>ИШНПТ</b> | <b>Отделение</b> | <b>Отделение материаловедения</b>                 |
| Уровень образования | магистратура | Направление      | 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов |

Тема ВКР:

|   |  |
|---|--|
| <b>Разработка антикоррозионных покрытий на основе акрилового лака и наночастиц оксидов металлов</b>   |  |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |  |
| <p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>  | <p><i><b>Объект исследования:</b> стали У8А, Ст3, наночастицы ZnO, акриловый лак</i></p> <p><i><b>Область применения</b> защита стали от коррозии</i></p> <p><i><b>Рабочая зона:</b> лаборатории расположена в здании корпуса №15 ТПУ, 210, 201, 202, 211 аудитории.</i></p> <p><i><b>Размеры помещений:</b> 3×4×3 м, при общей площади 12 м<sup>2</sup>, что удовлетворяет требованиям к лабораторному помещению.</i></p> <p><i><b>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</b> индукционная плита, нанораспылительная сушилка В-90, весы аналитические «Acculab ALC-210D4», потенциостат CorrTest CS310, потенциометр.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: взвешивание, ультразвуковое перемешивание, приготовление нанопорошков, коррозионные испытания, потенциодинамические испытания, статистическая обработка данных</i></p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:  |  |
| <p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | <p>«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24. 09.03.2021).</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020).</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности (Переиздание)</p>  |
| <p><b>2. Производственная безопасность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>  | <p>1. Отклонение показателей микроклимата</p> <p>2. Электромагнитное излучение</p> <p>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>4. Повышенный уровень шума, ультразвук</p> <p>5. Загрязнение воздуха в зоне дыхания</p> <p>6. Воздействие вредных веществ</p> <p>7. Химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться и т.п.</p>  |

|  |  |
|--|--|
| <p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>                                   | <p>8. Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов<br/>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>   |
| <p><b>3.Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</b></p>            | <p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> аэрозоли наночастиц ZnO и реагентов.<br/><b>Воздействие на литосферу:</b> осаждение наночастиц ZnO на близлежащей территории.<br/><b>Воздействие на гидросферу:</b> сброс суспензий и реагентов в канализацию, в сточные воды.<br/><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентраций аэрозолей наночастиц ZnO и реагентов.</p> |
| <p><b>4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</b></p> | <p>Возможные ЧС: пожар; разлив концентрированных веществ; случайное высвобождение нано порошка и превышение ПДК;<br/>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>  |
| <p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>  |  |

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО        | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 4БМ12  | Чэнь Лянси |         |      |

## РЕФЕРАТ

*Выпускная квалификационная работа* содержит 136 с., 47 рис., 47 табл., 87 источник, 4 прил.

*Ключевые слова:* наночастицы оксида цинка, ингибитор коррозии, низколегированная сталь, высокоуглеродистая сталь, акриловый лак.

*Объектом исследования* является суспензия наночастиц оксида цинка в акриловом лаке, стали Ст3 и У8А.

*Цель работы* – оценка защитных свойств ингибиторов на основе наночастиц ZnO, полученных распылительной сушкой, и акрилового лака на примере стали У8А и Ст3.

*В процессе исследования проводили* обзор литературы, посвященный современному состоянию применения наночастиц в качестве ингибиторов; оценку ингибиторов коррозии стали на основе наночастиц оксида цинка, полученного нанораспылительной сушкой и акрилового лака методами гравиметрии, рентгенофазового анализа, оптической микроскопии, расчета потенциалов, токов и скорости коррозии.

*В результате исследования установлено,* что добавка НЧ ZnO в акриловые лаки позволяет эффективно замедлять коррозию сталей Ст3 и У8А в кислых концентрированных и разбавленных средах. Установлено, что при нанесении ингибитора на поверхности сталей формируется преимущественно плотная фаза метгидроксида железа, а содержание карбида железа на поверхности не обнаруживается. Показано, что наночастицы обуславливают лучшую адгезию лака к поверхности.

*Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:* Исследуемый ингибитор представляет собой суспензию 0,15 % НЧ ZnO в акриловом лаке для защиты от коррозии низкоуглеродистой и высокоуглеродистой стали.

*Степень внедрения:* НИР

*Область применения:* решение актуально как для производителей деталей из высокоуглеродистой и низкоуглеродистой стали, так и для предприятий, эксплуатирующих металлическое оборудование: машиностроения, нефтехимической промышленности и инструментальной промышленности.

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

*В будущем планируется* разработать технологию полупромышленного получения ингибиторов.

## Сокращения

**Ac1** – температура, при которой при нагревании начинает формироваться аустенит.

**Ac3** – температура, при которой заканчивается превращение феррита в аустенит при нагревании.

**Ar1** – температура, при которой превращение аустенита в феррит или феррит плюс цементит заканчивается при охлаждении

**Эпофом** – эпоксидная смола

**ЭИС**— электрохимическая импедансная спектроскопия

**НЧ** — наночастица (ы)

**ПРЦ**— потенциал электрода при разомкнутой цепи

***b*катод** — коэффициент Тафеля на катодной ветке

***b*анод** — коэффициент Тафеля на анодной ветке

***C*корр**— скорость коррозии

***E*корр**— потенциал коррозии

***I*корр**— ток коррозии

***R*корр**— сопротивление коррозии

***R*s**—сопротивление раствора

***R*po**— поровое сопротивление

***R*ct**— сопротивление переносу заряда

**СРЕс**— элемент постоянной фазы покрытия

**СРЕd1**— элемент постоянной фазы покрытия

**N-CDs**— функционализированные углеродные точки

**РС**— железобетон

**СЭМ**— сканирующий электронный микроскоп

**АСМ**— атомно-силовой микроскоп

**ПЭМ**— просвечивающий электронный микроскоп

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 13 |
| 1.ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....   | 15 |
| 1.1. Подбор травителей и условий термообработки для сталей различных марок.....  | 15 |
| 1.2. Ингибиторы коррозии на основе наночастиц металлов и их соединений.....      | 17 |
| 1.3. Ингибиторы коррозии на основе полимерных покрытий и наномодификаторов ..... | 22 |
| 1.4. Ингибиторы коррозии сталей на основе органических соединений.....           | 31 |
| 1.5. Ингибиторы коррозии сталей на основе неорганических соединений.....         | 42 |
| 2.ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....  | 47 |
| 2.1 Объекты исследования и используемое оборудование .....                       | 47 |
| 2.2 Методика подготовки образцов и ингибиторов .....                             | 47 |
| 2.3 Гравиметрический метод.....  | 51 |
| 2.4 Потенциометрический метод .....  | 52 |
| 2.5 Потенциодинамический метод.....  | 53 |
| 2.6 Оптическая микроскопия.....  | 53 |
| 2.7 Рентгенофазовый анализ.....  | 54 |
| 3.РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....   | 57 |
| 3.1 Гравиметрические испытания .....   | 57 |
| 3.2 Оптические изображения образцов стали в процессе коррозии.....               | 58 |
| 3.3 Рентгенофазовый анализ сталей в процессе коррозии .....                      | 60 |
| 3.4 Потенциометрия стали в разбавленных электролитах .....                       | 63 |
| 3.5 Потенциодинамические испытания.....  | 65 |
| 4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЕ .....        | 69 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 69         |
| 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....  | 69         |
| 4.1.2 SWOT-анализ .....   | 71         |
| 4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....   | 75         |
| 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....   | 75         |
| 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения ....  | 77         |
| 4.3 Бюджет научно-технического исследования .....   | 81         |
| 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования .....   | 81         |
| 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....   | 82         |
| 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....   | 83         |
| 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....  | 85         |
| 4.3.5 Накладные расходы .....   | 86         |
| 4.3.6 Бюджет НИР.....   | 86         |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....     | 87         |
| Выводы по разделу .....   | 91         |
| <b>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>  | <b>92</b>  |
| 5.1. Введение .....   | 92         |
| 5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....  | 93         |
| 5.3. Производственная безопасность .....  | 95         |
| 5.4. Экологическая безопасность .....   | 105        |
| 5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 108        |
| 5.6. Выводы по разделу «социальная ответственность» .....   | 110        |
| <b>ВЫВОДЫ .....</b>   | <b>111</b> |

|  |     |
|--|-----|
| СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ .....  | 112 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....  | 113 |
| Приложения А.....  | 120 |
| Приложение Б .....   | 121 |
| Приложение В.....  | 123 |
| Приложение Г .....   | 124 |
| Introduction .....   | 125 |
| Electrochemical cells.....   | 126 |
| Chapter 1. Literary Review .....   | 130 |
| 1.1. Selection of etchants and heat treatment conditions for steels of various grades..... | 130 |
| 1.2. Corrosion inhibitors based on nanoparticles of metals and their compounds .....       | 131 |

## ВВЕДЕНИЕ

Металлы широко используются в нашей повседневной жизни, они необходимы во всех сферах жизнедеятельности. Однако, поверхность металлических материалов и окружающая среда вступают в химические или электрохимические взаимодействия [1], вызывая деградацию или повреждение материала (коррозию). Глобальные ежегодные потери металла от коррозии составляют около 700 миллиардов долларов.

Статистика показывает, что в России ежегодно производится около 47 млн тонн металлопроката, а корродированный металл составляет 10% от общего объема производства, что наносит огромный экономический урон и наносит прямой или потенциальный ущерб окружающей среде.

Коррозия углеродистой стали — неизбежный, но контролируемый процесс. Поэтому для замедления процесса коррозии используются специальные вещества – ингибиторы.

Ингибиторы коррозии могут быть предварительно нанесены на металл или введены непосредственно в агрессивную среду. Из-за разнообразия агрессивных сред первый вид антикоррозионного покрытия легче реализовать на практике. Защита от коррозии с помощью покрытий привлекательна тем, что это одна из наиболее эффективных, гибких, экономичных и простых стратегий. Согласно исследованию, проведенному в Китае, среди всех антикоррозионных методов промышленность тратит 66,5% стоимости на антикоррозионные покрытия.

Из многих методов, которые используют для защиты металлов, эффективными и экономичными являются органические и полимерные покрытия [2]. Последние считаются наиболее эффективным и экономичным методом замедления коррозии металлов [3].

На характеристики полимерных покрытий часто влияет присущая им пористость, дефекты, которые создают пути для агрессивных веществ, что приводит к механическим и

коррозионным повреждениям. Один из способов решения этой проблемы использование добавок наноматериалов к полимерным матрицам.

**Цель работы** – оценка защитных свойств ингибиторов на основе наночастиц ZnO, полученных распылительной сушкой, и акрилового лака на примере стали У8А и Ст3.

**Задачи:**

1. Оценить устойчивость ингибиторов на основе НЧ ZnO – методом гравиметрии в смеси концентрированных азотной и соляной кислот.
2. Определить параметры коррозии бронзы (потенциал, ток коррозии) в разбавленных электролитах из коррозионных диаграмм, полученных в потенциодинамическом режиме.
3. Изучить морфологию сталей с ингибиторами до и после коррозии методами оптической микроскопии.
4. Оценить фазовый состав поверхности сталей с ингибиторами до и после коррозии

## 1.ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Ингибиторы коррозии – это химические вещества или соединения, способные предотвращать или замедлять коррозию материалов при наличии их в окружающей среде [4]. Их можно разделить на органические, неорганические и полимерные в зависимости от их химического состава.

Ингибиторы коррозии могут наноситься на металл заранее, перед эксплуатацией или вводить сразу в коррозионную среду. Использование различных покрытий, керамических или полимерных, как правило, более эффективно для защиты металла. Однако такой подход зачастую значительно меняет свойства металла и приводит к удорожанию изделия. Также одним из направлений для улучшения эффективности ингибиторов является введение в их состав наномодификаторов, их используют индивидуально или в составе покрытий [5,6,7,8].

На коррозионную устойчивость металлов влияют множество факторов: природа металла, морфология поверхности, условия эксплуатации. Поэтому важно помимо подбора ингибитора в каждом конкретном случае, правильно подбирать способ подготовки поверхности металла. Согласно поставленной цели работы в литературном обзоре выделены следующие направления для анализа:

- подбор травителей и условий термообработки для сталей различных марок;
- ингибиторы коррозии на основе наночастиц металлов и их соединений;
- ингибиторы коррозии на основе полимерных покрытий и наномодификаторов;
- ингибиторы коррозии сталей на основе органических соединений;
- ингибиторы коррозии сталей на основе неорганических соединений.

### 1.1. Подбор травителей и условий термообработки для сталей различных марок

В диссертационном исследовании были использованы стали марок У8А и Ст3. Это высоко и низкоуглеродистая сталь, соответственно. Сталь У8А применяют в качестве зубил,

топоров, молотков, стамесок, колунов и пр. Сталь Ст3 применяют в качестве строительной арматуры различного объема и назначения, крышек для станочного оборудования, кожухов и пр.

Травление металла можно проводить тремя способами: электролитическое; химическое; плазменное. Из-за удобства и быстроты химические методы используются в лаборатории чаще. В таблице 1.1.1 представлены травители для сталей российских марок, температуры фазовых переходов, а в таблице 1.1.2 приведены методики травления сталей.

Таблица 1.1.1 – Состав, основные травители и температуры обработки сталей [9, 10]

| Марка РФ/<br>аналог  | Состав, % |           |           |           |      |       |       |     |      | Травитель   | Основные температуры<br>(фазовых переходов,<br>рекристаллизация)   |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------|-------|-----|------|---|--|
|  | Fe        | C         | Si        | Mn        | Ni   | S     | P     | Cr  | Cu   |   |  |
| <b>У8А / Т8 (СН)</b>                                       | 96        | 0.75-0.84 | 0.17-0.33 | 0.17-0.28 | 0.25 | 0.018 | 0.025 | 0.2 | 0.25 | 10-20%<br>HCl,<br>8-20%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | <b>Ac1=730°C</b> ,<br><b>Ac3=765°C</b> ,<br><b>Ar1=700°C</b> ,<br>Температура закали 780 °С-<br>800 °С<br>Температура отпуска<br>400°C |
| <b>Ст3/<br/>G235C(CN)<br/>SS330 (JIS)<br/>A57036 (США)</b> | 97        | 0.14-0.22 | 0.15-0.17 | 0.4-0.65  | 0.3  | 0.05  | 0.04  | 0.3 | 0.3  | 10-20%<br>HCl,<br>8-20%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Температураковки<br>750-°С1300°C<br>Температура закали<br>900°C-920°C<br>Температура отпуска<br>180°C-250°C                            |

Таблица 1.1.2.–Методика травления металлов [11].

| № | Травитель  | Методика травления  | Применение  |
|---|--|---|---|
| 1 | Нитал:<br>1-5 мл азотная<br>кислота(HNO <sub>3</sub> )+100 мл<br>этиловый спирт (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) или<br>метанол (CH <sub>3</sub> OH) спирта. | Продолжительность<br>травления от<br>нескольких секунд<br>до 1 мин и ещё<br>дольше для<br>легированных<br>сталей. | Может быть применён для<br>травления железа, серых<br>чугунов и<br>низколегированных сталей.              |
| 2 | 30 мл азотная кислота(HNO <sub>3</sub> ),<br>20 мл уксусный ангидрид<br>(C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> ).                                       | Наносится<br>тампоном.  | Для травления<br>нержавеющих сталей и<br>сталей, содержащих<br>большое количество<br>никеля или кобальта. |

| № | Травитель  | Методика травления   | Применение  |
|---|--|--|---|
| 3 | 50 мл соляная кислота (HCl) (10%-20%), 50 мл этиловый спирт (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)   | -  | Пригоден для травления хромистых, никелевых и нержавеющей сталей. |
| 4 | 10 г хлорид железа (III) FeCl <sub>3</sub> , 30 мл соляная кислота (HCl), 120 мл дистиллированной воды.  | Продолжительность травления не более 30 с. Раствор наносят тампоном. | Для травления нержавеющей сталей.                                 |
| 5 | 10 мл азотная кислота(HNO <sub>3</sub> ), 20 мл плавиковая кислота (HF)(40 %-ной), от 20 до 40 мл глицерин C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub> . | -  | Для травления высококремнистых железных сплавов типа «Дурирон».   |
| 6 | 100 мл серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) (8-20%), 10 мл хромовая кислота (H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> ).                                  | -  | Ферритная сталь   |
| 7 | 12% соляная кислота (HCl), 12% серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), 1% азотная кислота(HNO <sub>3</sub> ).                                      | -  | Нержавеющая сталь или жаропрочная сталь                           |

Реактивы, обычно используемые для травления металлов в лаборатории, — это в основном различные кислоты: соляная, серная и азотная кислоты при комнатной температуре. Плавиковая кислота обычно используется при высоких температурах.

## 1.2. Ингибиторы коррозии на основе наночастиц металлов и их соединений

В работе [12] защищенный металл -углеродистая сталь, а ингибитор - нанокompозит (НЧ) полианилин / диоксид церия (PANI / CeO<sub>2</sub>).

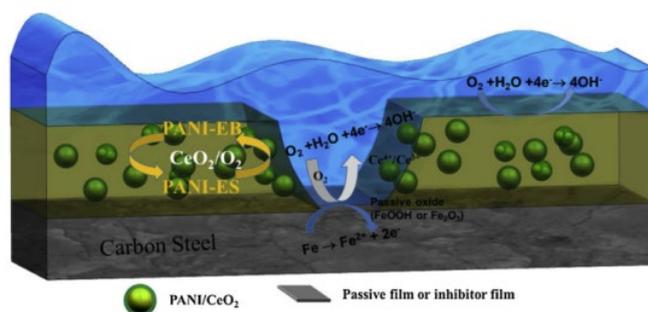


Рисунок.1.2.1– Схематическое изображение механизма защиты от коррозии нанокompозитных покрытий нанокompозитполианилин / диоксид церия на углеродистой стали в 3,5% NaCl.

Среда раствора для этого эксперимента: водный раствор 3,5 % -й NaCl. Защитные характеристики данного ингибитора можно отнести к синергетическим эффектам.

В работе [ 13 ] использовался метод потери веса для сравнения эффекта ингибирования коррозии наноксидом церия в двух кислых средах.

НЧ  $\text{CeO}_2$  показали хорошую эффективность в качестве ингибитора коррозии в  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Максимальная эффективность ингибирования оксидом церия составила 83,55 % в 1 М  $\text{HCl}$  и 99,73 % в 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  соответственно при комнатной температуре в течение 24 ч погружения. Эффективность ингибирования увеличивалась при концентрации ингибиторов от 0,05% в течение 24 ч при комнатной температуре. Из сравнительных исследований сделан вывод, что эффективность ингибитора выше в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , чем в  $\text{HCl}$ , поскольку серная кислота является двухосновной кислотой и, таким образом, стимулирует скорость коррозии мягкой стали.

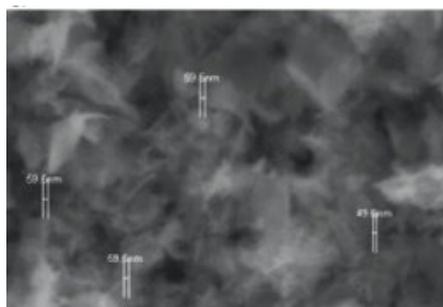


Рисунок.1.2.2–РЭМ-изображение наночастиц  $\text{CeO}_2$

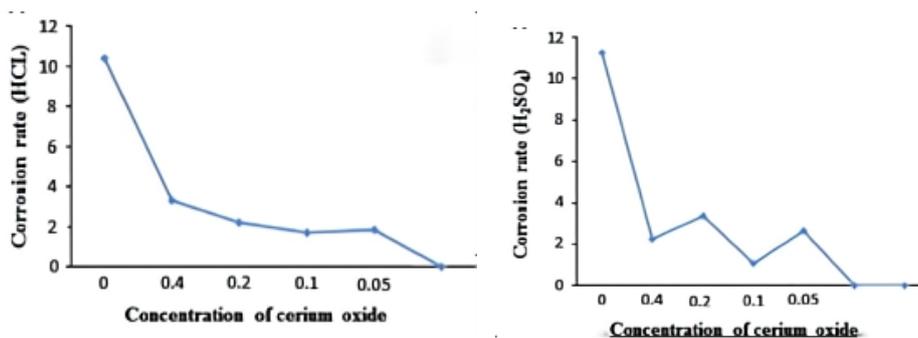


Рисунок.1.2.3– Ингибирование коррозии оксида церия 1 М  $\text{HCl}$  и 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 0,1% раствором ингибитора коррозии при комнатной температуре в течение 24 часов.

В работе [ 14 ] измеряли ингибирование коррозии мягкой стали наночастицами серебра в качестве ингибитора коррозии в градириях.

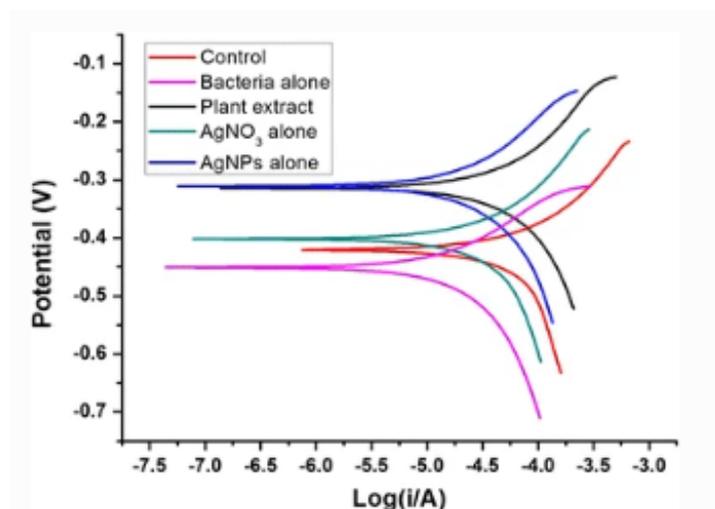


Рисунок.1.2.4–Поляризационные кривые Тафеля низкоуглеродистой стали, подвергнутой воздействию различных систем коррозии.

Наночастицы серебра были идентифицированы как эффективные ингибиторы на поверхностях мягкой стали, что приводит к повышению коррозионной стойкости с эффективностью 77%. Это может быть связано с синергетическим эффектом антибактериального потенциала НЧ Ag и барьерными свойствами, индуцированными НЧ.

В работе [15] изучали коррозию мягкой стали в среде 1,0 М соляной кислоты, а влияние ингибиторов коррозии при 300 К в течение 4, 8 и 16 ч методом потери массы.

Согласно данным измерения потери веса, на рис. 9 показана зависимость между скоростью коррозии и концентрацией при различном времени погружения в присутствии нано-ZnO соответственно. Рисунок 1.2.5, с одной стороны, подтверждает, что скорость коррозии испытанных ингибиторов уменьшается с увеличением концентрации ингибитора. С другой стороны, было подтверждено, что скорость коррозии тестируемых ингибиторов снижалась с увеличением концентрации ингибитора в присутствии  $1 \times 10^{-3}$  г ZnO. Добавление  $1 \times 10^{-3}$  г НЧ ZnO оказывает синергетическое действие с ингибитором и снижает скорость коррозии.

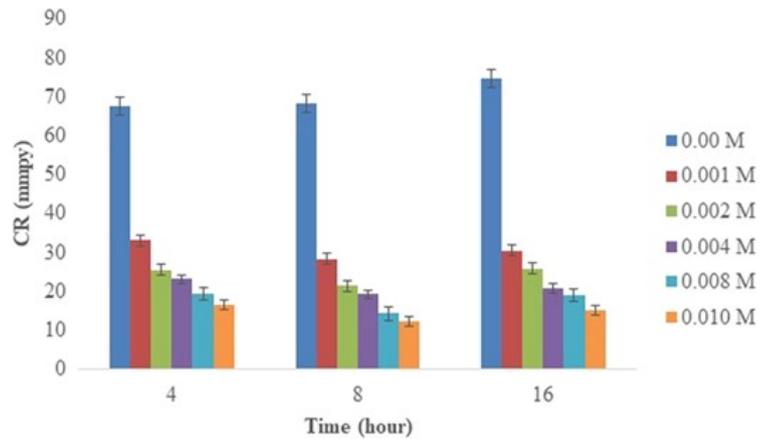


Рисунок.1.2.5–Изменение скорости коррозии при различных концентрациях ингибитора и  $1 \times 10^{-3}$  г наночастиц оксида цинка для низкоуглеродистой стали в 1М HCl при 300 К для времени погружения 4, 8 и 16 часов.

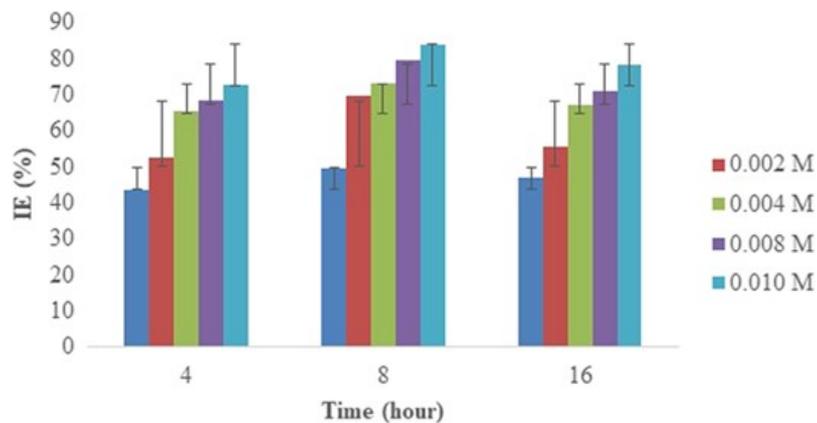


Рисунок 1.2.6–Изменение IE % при различных концентрациях ингибитора для мягкой стали в 1 N HCl при 300 К для времени погружения 4, 8 и 16 часов

На рисунке 1.2.6 показано, что эффективность ингибирования тестируемых ингибиторов увеличивается с увеличением концентрации исследуемых ингибиторов. При самой низкой из изученных концентраций ингибирующая эффективность постепенно возрастала и достигла почти полного насыщения при концентрации  $1.0 \times 10^{-3}$  М.

В работе [16] использовали поливинилпирролидон в качестве матрицы, а в качестве добавки – наночастицы магнетита. Было изучено действие ингибиторов коррозии на углеродистую сталь в среде 1М HCl при 30 °С.

Данные, представленные в таблице 1.2.1, показывают, что не произошло существенного изменения значений  $E_{\text{corr}}$  в ингибированном растворе по сравнению с

неингибированным раствором, что свидетельствует о том, что эти соединения действуют как ингибиторы смешанного типа. Увеличение концентрации наночастиц магнетита приводит к дальнейшему снижению значения  $i_{\text{corr}}$ , что увеличивает эффективность ингибирования. Это можно объяснить с точки зрения увеличения среднего размера агрегатов с увеличением концентрации магнетита, таким образом, можно наблюдать увеличение покрытия поверхности и, следовательно, повышение эффективности ингибирования. Измерения поляризации также показали небольшие изменения значений  $\beta_a$  и  $\beta_c$ , указывая на то, что ингибитор блокирует катодные и анодные участки без изменения механизма коррозии.

Таблица 1.2.1.–Потенциодинамические электрохимические параметры коррозии стали в 1М HCl в отсутствие и в присутствии различных конц. наночастиц магнетита при 30°C.

| Контент НЧ | -E <sub>корр</sub> ,мВ | I <sub>корр</sub> , мА/см <sup>2</sup> | $\beta_a$ , мВ/дес | - $\beta_c$ , мВ/дес | $\eta$ ,% |
|------------|------------------------|--|--------------------|----------------------|-----------|
| -          | 558,2                  | 1,31                                   | 128,5              | 144,1                | -         |
| P          | 535,1                  | 0,19                                   | 143,1              | 155,2                | 85,49     |
| 0,05%      | 548,7                  | 0,09                                   | 118,3              | 130,4                | 93,12     |
| 0,1%       | 588,6                  | 0,021                                  | 103,7              | 122,7                | 98,39     |

В работе [ 17 ] в качестве ингибиторов коррозии использовались углеродные наночастицы MnS/MnO/Mn, легированные N и S, а эффективность ингибирования коррозии углеродистой стали измеряли с использованием потенциодинамической поляризации.

Результаты показали, что эффект ингибирования коррозии усиливался с увеличением концентрации наночастиц и наилучший, при концентрации 200 мг/л, составляет 93,7%.

Таблица 1.2.2 – Параметры поляризации углеродистой стали, измеренные с различными концентрациями MnS/MnO/Mn@SNC при 25 °C.

| C (мг/л) | -E <sub>корр</sub> ,мВ | I <sub>корр</sub> , А/см <sup>2</sup> | $\beta_a$ , мВ/дес | - $\beta_c$ , мВ/дес | $\eta$ ,% |
|----------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------|-----------|
| 0        | 703                    | 2.218                                 | 92                 | 284                  | -         |
| 80       | 698                    | 2.942                                 | 127                | 165                  | 86.7      |
| 160      | 677                    | 1.940                                 | 126                | 178                  | 91.3      |
| 200      | 664                    | 1.403                                 | 120                | 187                  | 93.7      |

Таблица 1.2.3 – Сравнение ингибиторов коррозии с добавлением наночастиц для защиты стали.

| Источник | Тип частицы         | Защищать                | $-E_{корр}$ , мВ | $I_{корр}$ , А/см <sup>2</sup> | Среда   | $\eta$ , %     |
|----------|---------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|---|----------------|
| [12]     | НЧ CeO <sub>2</sub> | Углеродистая сталь      | -                | -                              | 3,5мас.% NaCl                                 | -              |
| [13]     | НЧ CeO <sub>2</sub> | Низкоуглеродистая сталь | -                | -                              | 1 М HCl<br>1 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 83,55<br>99,73 |
| [14]     | НЧ Ag               | Низкоуглеродистая сталь | -                | -                              | 3,5мас.% NaCl                                 | 77.            |
| [15]     | НЧ ZnO              | Низкоуглеродистая сталь | -                | -                              | 1М HCl  | 92             |
| [16]     | НЧ магнетита        | Углеродистая сталь      | -588,6           | 0,021                          |   | 98.39          |
| [17]     | НЧ MnS/MnO/Mn       | Углеродистая сталь      | -664             | 1.403                          | 3,5мас.% NaCl                                 | 93.7           |

### 1.3. Ингибиторы коррозии на основе полимерных покрытий и наномодификаторов

В работе [18] для защиты используется сталь Q235 (Китай), аналог российской стали Ст3. В этой работе были приготовлены модифицированные додецилтриметоксисиланом цеолитовые имидазолатные каркасные наночастицы и добавлены в эпоксидную (Эпофом) матрицу для изготовления композитного покрытия.

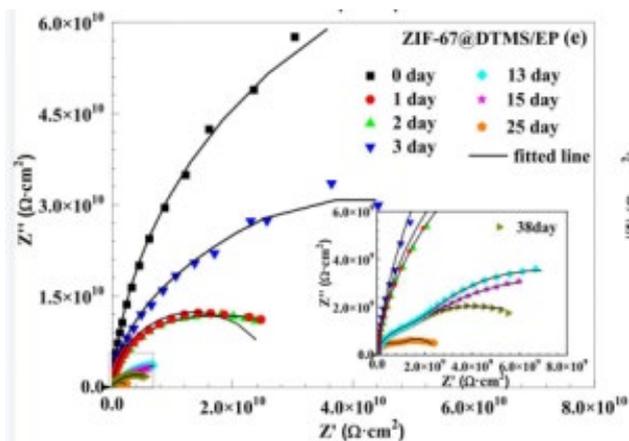


Рисунок. 1.3.1–ЭИС стального образца с эпоксидно-модифицированным покрытием из наночастиц, подвергнутого воздействию 3,5 мас. % NaCl

Сравнили эквиваленты электрического сопротивления эпоксидного покрытия с эпоксидным покрытием, модифицированным наночастицами в течение 38 дней.

Каркас наночастиц в качестве нанонаполнителей позволяют значительно улучшить антикоррозионные характеристики и адгезию противозадирного покрытия. Испытания ЭИС показывают, что целостный каркас лучше силанового.

В работе [19] основным материалом является сталь Q235. Используемое покрытие представляет собой полиуретановое покрытие с добавлением nano-CeO<sub>2</sub>.

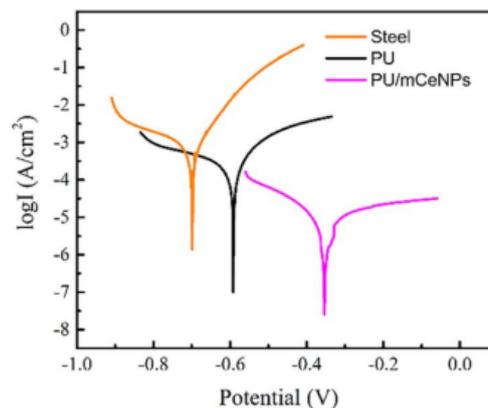
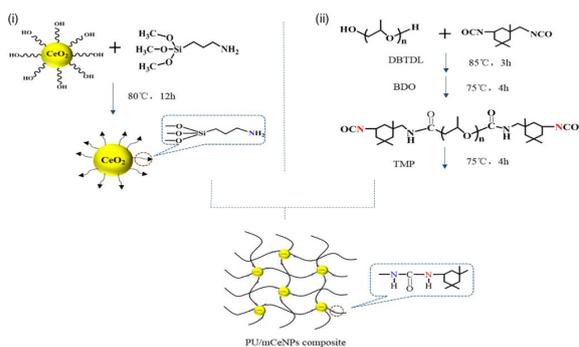


Рисунок. 1.3.2–Схема приготовления композита полиуретан/НЧ CeO<sub>2</sub>

Рисунок.1.3.3–Поляризационные кривые покрытия из стали, полиуретана и НЧ полиуретана/CeO<sub>2</sub>, погруженных в 3,5% NaCl

По результатам измерений ЭИС и поляризации Тафеля показано, что добавление НЧ CeO<sub>2</sub> улучшило долгосрочную коррозионную стойкость полиуретанового покрытия; при содержании НЧ CeO<sub>2</sub> 5 % высвобождающий эффект оксида церия был очевиден, а гибридное покрытие могло защищать сталь более 140 дней в агрессивной среде.

В работе [20] в качестве антикоррозионного покрытия использовались наночастицы SiO<sub>2</sub> и эпоксидная смола.

Оценка коррозии углеродистой стали с покрытием в 3,5-м % NaCl и 0,5 об.% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с помощью потенциала электрода при разомкнутой цепи (ПРЦ) и поляризации Тафеля показала, что эпоксидное/нано-SiO<sub>2</sub> покрытие обладает более высокими антикоррозионными характеристиками, которые возрастают с увеличением концентрации диоксида кремния от (0,1% масс., 0,3% масс. и 0,5% масс.). Скорость коррозии снижается в 63 раза в соленой среде, а в кислой – в 436 раза. Эффективность защиты от коррозии

увеличивается с увеличением концентрации нанокремнезема, это означает, что покрытие эпоксидной смолой/0,5 % НЧ SiO<sub>2</sub> на подложке из углеродистой стали может достигать 98,4% и 99,7% в солевых и кислых растворах соответственно.

Таблица 1.3.1–Коррозионные характеристики образцов, испытанных в среде с 3,5 мас. % NaCl

| b <sub>катод</sub> , мВ | b <sub>анод</sub> , мВ | S <sub>корр</sub> , мм/год | I <sub>корр</sub> , А/см <sup>2</sup> | E <sub>корр</sub> , В | ПРЦ, В | Группа                     |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------|----------------------------|
| 153                     | 165                    | $1.59 \times 10^{-2}$      | $1.410 \times 10^{-6}$                | -0.616                | -1.216 | -                          |
| 69                      | 74                     | $8.45 \times 10^{-3}$      | $7.500 \times 10^{-7}$                | -0.550                | -1.176 | 0,1 мас.% SiO <sub>2</sub> |
| 109                     | 130                    | $9.68 \times 10^{-4}$      | $8.620 \times 10^{-8}$                | -0.490                | -0.977 | 0.3 мас.% SiO <sub>2</sub> |
| 118                     | 121                    | $2.51 \times 10^{-4}$      | $2.240 \times 10^{-8}$                | -0.587                | -0.666 | 0.5 мас.% SiO <sub>2</sub> |

Процент пористости уменьшился с увеличением концентрации наносиликата и составил 1,4% и 0,45% соответственно в NaCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Можно сделать вывод, что наночастицы SiO<sub>2</sub> с эпоксидной смолой улучшают химические свойства и повышают коррозионную стойкость в агрессивных средах.

В работе [21] в качестве антикоррозионного покрытия использовались наночастицы SiO<sub>2</sub> и Эпофом-20.

Показано, что наночастицы диоксида кремния, функционализированные органическим ингибитором, ускорили образование более надежного барьерного компонента и, таким образом, обеспечили лучшие характеристики смягчения коррозии, чем у исходного ингибитора коррозии и только с наночастицами, внедренными в эпоксидную подложку, что в основном объясняется синергетическим вкладом наночастиц.

Таблица 1.3.2–Электрические параметры, полученные для различных покрытий после 48-часового погружения в 3,5 мас. % NaCl при 25 °С.

| Образец          | E <sub>корр</sub> , В | I <sub>корр</sub> , А/см <sup>2</sup> | R <sub>корр</sub> , (Ом/см <sup>2</sup> ) | βс, мВ/дес | βb, мВ/дес | η <sub>р</sub> , % |
|------------------|-----------------------|---------------------------------------|---|------------|------------|--------------------|
| Мягкая сталь     | -0.746                | $1.158 \times 10^{-6}$                | $3.80 \times 10^4$                        | 4.417      | 5.446      | -                  |
| Эпоксидная смола | -0.559                | $3.999 \times 10^{-8}$                | $1.10 \times 10^6$                        | 5.009      | 4.908      | 96.6               |

| Образец                                | $E_{корр}, В$ | $I_{корр}, А/см^2$      | $R_{корр}, (Ом/см^2)$ | $\beta_c, мВ/дес$ | $\beta_b, мВ/дес$ | $\eta_p, \%$ |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Эпоксидная смола+0.5%SiO <sub>2</sub>  | -0.528        | $4.990 \times 10^{-8}$  | $8.81 \times 10^5$    | 4.879             | 5.00              | 95.7         |
| Эпоксидная смола+1.25%SiO <sub>2</sub> | -0.279        | $7.079 \times 10^{-10}$ | $6.23 \times 10^7$    | 4.729             | 5.123             | 99.9         |
| Эпоксидная смола+0.25%SiO <sub>2</sub> | -0.239        | $1.570 \times 10^{-10}$ | $2.73 \times 10^8$    | 4.867             | 5.274             | 99.9         |

В работе [22] основной материал был защищен нано- $\alpha$ -Fe и эпоксидным покрытием.

$R_{po}$  отражает непроницаемость покрытия, что свидетельствует об ионном переносе дефектов внутренней части покрытия, а  $R_{po}$  часто снижалось при проникновении электролита в агрессивную среду из-за разрушения матрицы покрытия.

$CP_{ec}$  представляет собой водопоглощающую способность покрытия, а увеличение значения  $CP_{ec}$  означает обогащение водой внутреннего слоя покрытия (рисунок. 1.3.4, б) в течение всего периода погружения. Образец 0,7%-ТАFe имеет самое низкое значение  $CP_{ec}$ , по сравнению с другими покрытиями после 70-дневного погружения, что указывает на то, что покрытие 0,7%-ТАFe обладает устойчивой внутренней структурой и характерной компактностью матрицы. Это свидетельствует о том, что концентрация электролита в матрице пленки была близка к насыщению, и покрытие утратило свойство барьера.

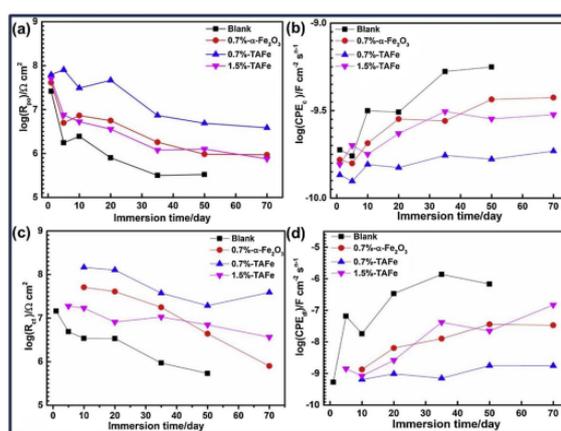


Рисунок. 1.3.4— Изменение параметров ЭИС различных покрытий в 3,5 мас. % растворе NaCl,  $R_{po}$  (а),  $R_{ct}$  (б),  $CP_{ec}$  (в) и  $CP_{edl}$  (г).

$R_{ct}$  часто используется для оценки активности переноса электронов между границей раздела покрытия и металлической подложкой. Более высокое значение  $R_{ct}$  означает более

низкую скорость коррозии. На рис. 1.3.4, в показаны изменения значения  $R_{ct}$  различных покрытий в течение 70-суточного погружения. Как видно из рисунка значение  $R_{ct}$  имеет тенденцию к снижению в течение всего времени погружения, отражая ускорение активности переноса электронов на границе раздела покрытие/металл.

Значение  $SPEDl$  часто используется для представления расслоения и стабилизации границы раздела покрытие/металл, то есть защитная способность покрытия зависит от стационарности линии тренда и значения  $SPEDl$ . Как видно из рисунка. 1.3.4, г, по сравнению с другими покрытиями, покрытие 0,7%-ТАFe имеет наименьшее значение  $SPEDl$  и относительно устойчивый тренд графиков  $SPEDl$ , что свидетельствует о хорошей совместимости между покрытием 0,7%-ТАFe и металлической поверхностью и наличием частиц ТАFe сдерживает расслоение границы раздела покрытие/металл.

В работе [ 23 ] защитное покрытие стали Q235 представляет собой смешанное покрытие из нанодиркония и акриловой смолы.

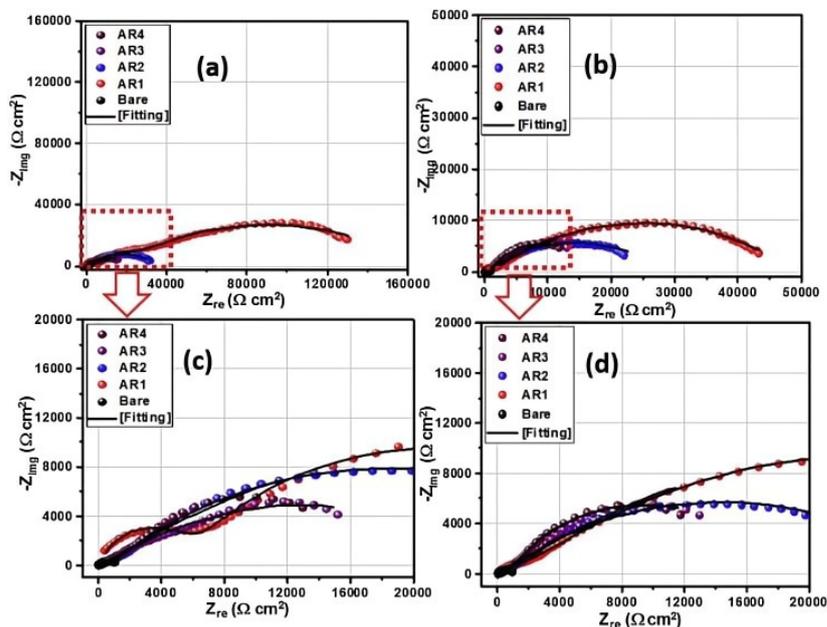


Рисунок.1.3.5–Кривые Найквиста для модифицированных диоксидом циркония акриловых нанокомпозитных смол, покрытых и непокрытых стальных подложек при разной продолжительности воздействия после первого (а, б) и седьмого (в, г) дней воздействия солевого коррозионного агента.

Наполнители НЧ  $ZrO_2$  создают антикоррозионное покрытие из акриловой нанокompозитной смолы с эффективными барьерными свойствами; 1 мг синтезированного НЧ  $ZrO_2$  в 10 г акриловой смолы.

При избыточном содержании НЧ  $ZrO_2$  внутренняя структура покрытия насыщается наполнителями  $ZrO_2$ , что, в свою очередь, создает больше поперечных каналов для миграции ионов. Впоследствии это приводит к появлению микротрещин и отслоению покрытия.

В работе [ 24 ] защитное покрытие стали Q235 представляет собой смешанное покрытие из наноксидов титана и акриловой смолы.

Результаты экспериментов показывают, что наилучший эффект ингибирования коррозии достигается при содержании наноксидов титана 10 %, скорость коррозии снижается в 13,27 раза, а ток коррозии снижается в 4,56 раза. Это показывает, что покрытие из акриловой смолы с наноксидом титана обладает лучшим эффектом ингибирования коррозии.

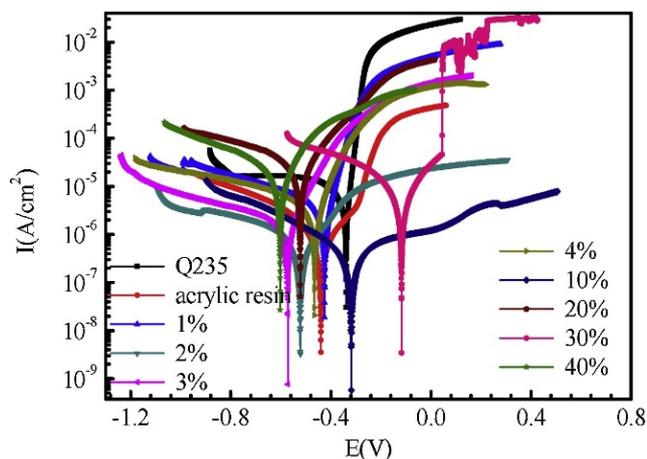


Рисунок.1.3.6–Поляризационные кривые Q235 и различных покрытий  $TiO_2$ /акриловой смолы на стали Q235.

В работе [25] использовалось смешанное покрытие из наногибридного двойного гидроксида CaFe-толил-триазола с эпоксидной смолой.

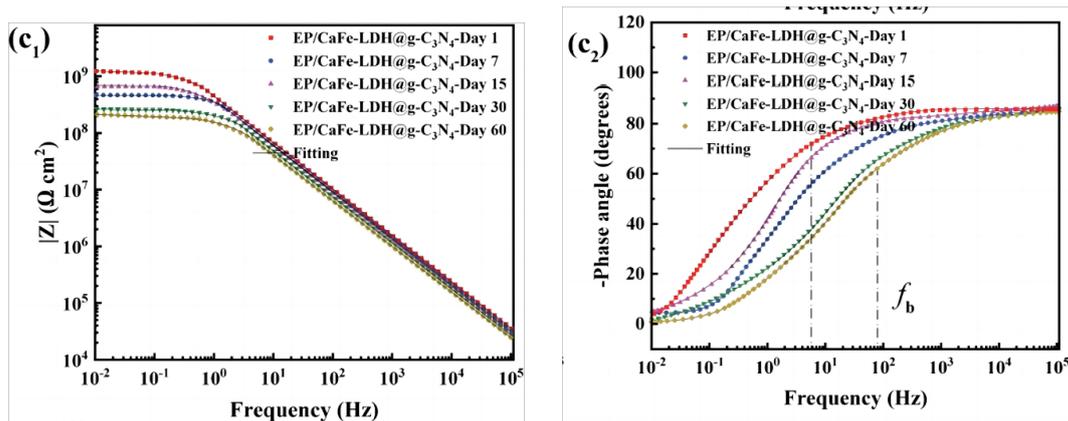


Рисунок.1.3.7–Графики Бодэ для эпоксидной смолы/CaFe-толил-триазола с двойным покрытием из гидроксида и графитового нитрида углерода

Испытание на адгезию при отрыве показывает, что эпоксидная смола и нанонаполнитель имеют большее сцепление друг с другом, что означает, что эпоксидная смола и нанонаполнитель имеют хорошую адгезию к подложке.

Результаты показали, что нанокompозитные покрытия одновременно обеспечивают превосходные характеристики барьера/активного ингибирования, а также продемонстрировали лабиринтный эффект благодаря нанонаполнителям.

В работе [26] сталь Q235 была защищена композитным покрытием из наночастиц металлоорганического каркаса, перфтороктилтриэтоксисилана и эпоксидной смолы.

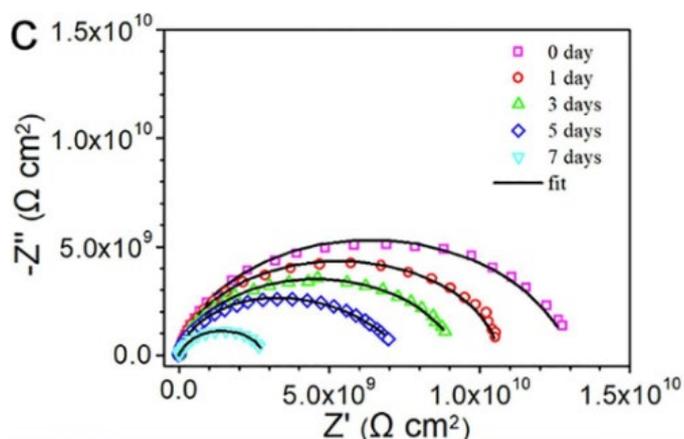


Рисунок.1.3.8–Графики Найквиста приготовленного композиционного покрытия на стали Q235 с разным временем погружения в 3,5 мас.% водный раствор NaCl, вставка: соответствующая частичная увеличенная деталь.

Приготовленное супергидрофобное покрытие демонстрирует прекрасные водоотталкивающие свойства с краевым углом смачивания водой до  $168,2^\circ$ . Кроме того, композитное покрытие обладает отличной прочностью и долговечностью, что сохраняет его супергидрофобность по отношению к воде с диапазоном pH 1,0 –13,0 или погружению в 3,5% NaCl в течение 60 дней.

Потрясающая коррозионная стойкость: модуль импеданса (при 0,01 Гц) композитного покрытия после погружения в 3,5% NaCl в течение 7 дней был примерно на 7 порядков больше, чем у стали Q235.

В работе [ 27 ] методом электростатического напыления был приготовлен модифицированный наноцирконий, который был добавлен в эпоксидную смолу для формирования композиционного покрытия для защиты металла.

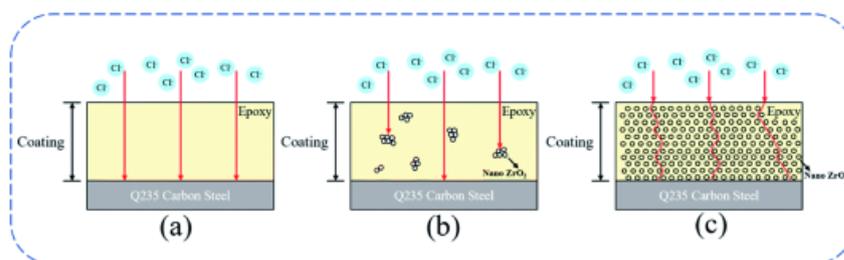


Рисунок.1.3.9–Механизм защиты покрытий от коррозии: (а) эпоксидная смола, (б) 3–4 % НЧ

В этом исследовании нано- $ZrO_2$  был модифицирован 3-аминопропилтриэтоксисиланом и использован в качестве нанонаполнителя для повышения коррозионной стойкости эпоксидного покрытия. Результаты показывают, что морфология поверхности покрытия с 1–2 мас. % модифицированных наночастиц  $ZrO_2$  плотная. Результаты электрохимических испытаний показывают, что барьерное действие наночастиц позволяет повысить защитные свойства эпоксидного покрытия. Однако из-за увеличения количества наночастиц  $ZrO_2$  между наночастицами может произойти сильная агломерация, что снизит коррозионную стойкость покрытия.

Таблица 1.3.3–Параметры поляризации различных образцов в 3,5 мас. % NaCl

| Образец                          | $E_{корр}, В$ | $I_{корр}, А/см^2$      |
|----------------------------------|---------------|-------------------------|
| Q235                             | -1.0587       | $2.0695 \times 10^{-4}$ |
| Эпоксидная смола                 | -0.69154      | $1.9105 \times 10^{-5}$ |
| Эпоксидная смола+1% масс $ZrO_2$ | -0.61533      | $6.0130 \times 10^{-6}$ |
| Эпоксидная смола+4% масс $ZrO_2$ | -0371485      | $2.8199 \times 10^{-5}$ |

Таблица 1.3.4–Сравнение результатов экспериментов по защите стали Ст3 полимерами с добавками наночастиц и их аналогами

| Параметры | Покрытие   | $I_{корр}, мкА$         | $E_{корр}, мВ$ | $S_{корр}, мм/(м^2 \cdot Г)$ | $d_{НЧ}, нм$ | Толщина покрытия мкм | $\eta, \%$ |
|-----------|--|-------------------------|----------------|------------------------------|--------------|----------------------|------------|
| [18]      | НЧ цеолитовый имидазолатный каркас+Эпоксидная матрица                            | -                       | -              | -                            | 250          | 100±10               | 81.69      |
| [19]      | НЧ $SeO_2$ + Полиуретан  | $7.63 \times 10^{-3}$   | -0.35          | 0.0593                       | 30-50        | 80±0.5               | 83.97      |
| [20]      | НЧ $SiO_2$ + Эпоксидная смола  | $1.410 \times 10^{-6}$  | -0.616         | 0.0159                       | 55-75        | 50                   | 98.4       |
| [21]      | НЧ $SiO_2$ + Эпоксидная смола  | $1.570 \times 10^{-10}$ | -0.239         | 0.00774                      | 200          | 80 ± 5               | 99.9       |
| [22]      | НЧ $\alpha$ -Fe +Эпоксидным покрытием  | -                       | -              | -                            | -            | 40 ± 3               | 97         |
| [23]      | НЧ $ZrO_2$ + Акриловая смола   | -                       | -              | -                            | < 100        | -                    | 99.7       |
| [24]      | НЧ $TiO_2$ + Акриловая смола   | $7.90 \times 10^{-7}$   | -0.3184        | 0.0093                       | -            | -                    | 78         |
| [25]      | Наногибрид CaFe-толил-триазол, слоистый двойной гидроксид+Эпоксидная смола       | -                       | -              | -                            | 70           | 65±5                 | 75         |
| [26]      | НЧ металлоорганического каркаса + Перфтороктилтриэт оксисилан + Эпоксидная смола | -                       | -              | -                            | 100          | 80±10                | 59.2       |
| [27]      | НЧ $ZrO_2$ + Эпоксидная смола  | $6.229 \times 10^{-7}$  | -0.6097        | $4.84 \times 10^{-6}$        | -            | 110                  | 86.4       |

#### 1.4. Ингибиторы коррозии сталей на основе органических соединений

В работе [28] использовали наночастицы  $\text{Ag}/\text{SiO}_2$  с концентрацией 1 мас. %, добавленные к акриловой смоле.

Результаты показали, что серебро полностью покрыто диоксидом кремния, а его кристаллическая форма не изменилась после покрытия. Приготовленный ингибитор коррозии использовали для защиты от коррозии углеродистой стали в среде морской воды.

Влияние наночастиц  $\text{Ag}/\text{SiO}_2$  на микробную коррозию стали с акриловым покрытием было исследовано с помощью анализа электрохимического шума. Результаты электрохимического шумового анализа показали, что наночастицы  $\text{Ag}/\text{SiO}_2$  в концентрации 1 мас. % проявляют лучшие антимикробные и коррозионные свойства, чем обычные биоциды в концентрации 40 мас. %  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Этот материал имеет потенциально широкое применение при разработке антимикробных красок и покрытий, а также для долговременной защиты в океане и в индустрии экологически чистых покрытий.

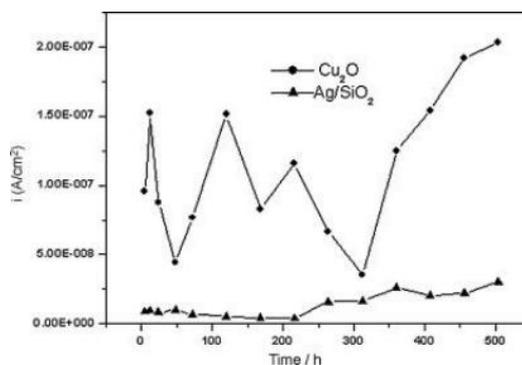


Рисунок 1.4.1.—Кривые электрохимического шума в зависимости от времени погружения покрытий в водную среду

В работе [29] акриловую смолу модифицировали частицами  $\text{CeO}_2$  в количестве 0,5-3,0 мас.%. Эксперимент проводили с помощью спектроскопии электрохимического импеданса в солевом тумане. Ингибитор коррозии с добавлением наноксида церия используется для защиты углеродистой стали.

На рисунке 1.4.2 представлены спектры ЭИС систем окраски в начале анализа и после 24 и 192 ч воздействия 0, 1 М NaCl. Вначале спектры ЭИС для всех систем окраски были относительно схожими. Различие значений полного импеданса на частоте  $10^{-2}$  Гц ( $Z = 0,01$  Гц) составляло менее одного порядка. Значения были найдены между  $10^8$  и  $10^9$  Ом·см<sup>2</sup>.

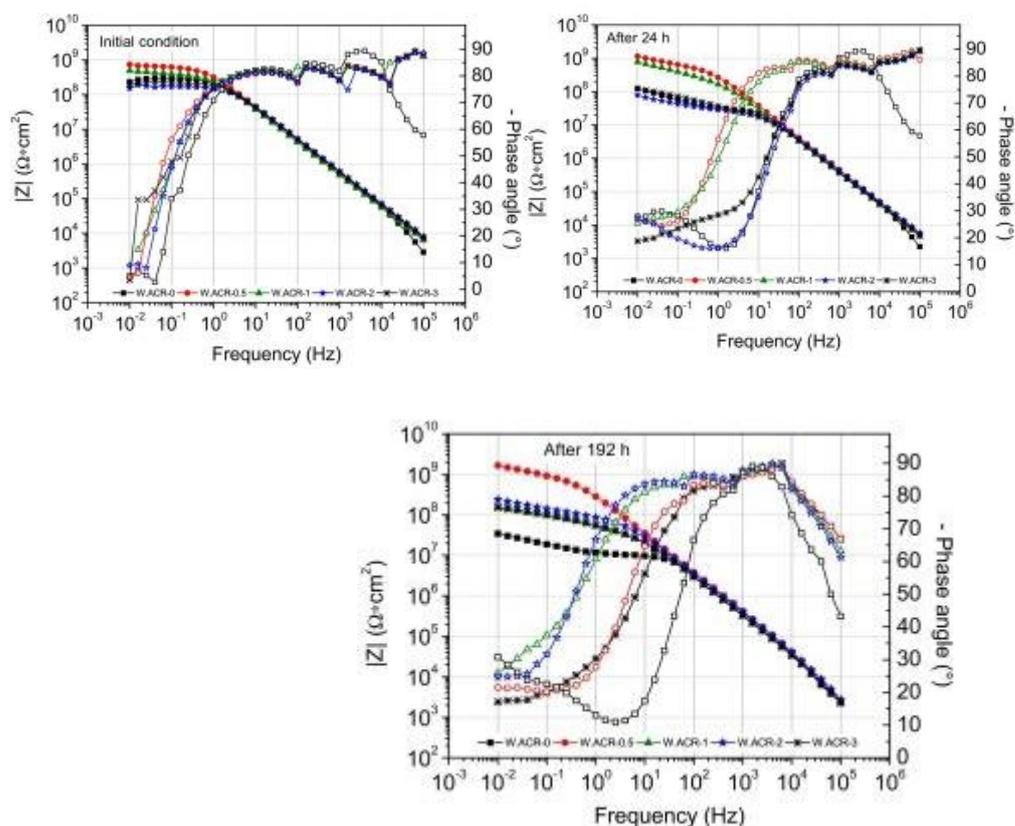


Рисунок 1.4.2. –ЭИС-диаграмма Боде неповрежденных покрытий в начале, через 24 и 192 ч выдержки в растворе хлорида натрия. (Содержание наночастиц  $\text{CeO}_2$  W\_ACR-0—W\_ACR-3 составляет 0%, 0,5%, 1%, 2%, 3%.)

Повышенная антикоррозионная эффективность получена за счет включения наночерия в грунтовочный слой водоразбавляемых акриловых красок.

Ингибирующий или физический вклад в повышение эффективности защиты от коррозии зависит от массовой концентрации синтезированных частиц  $\text{nano-CeO}_2$  в покрытии (1,0% - оптимальная). При добавлении в более высокой концентрации происходит переход от ингибирующего покрытия к покрытию с более высоким физическим барьерным эффектом.

В работе [30] использовали три покрытия: покрытие из керамики, содержащее  $\text{Cr}_{1.3}\text{Fe}_{0.7}\text{O}_3$ , гибридное полимерно-нанокompозитное покрытие  $\text{ZnO}$  и гибридное покрытие, содержащее наночастицы  $\text{SiO}_2$  в связке с акрилатными мономерами. Ингибиторы коррозии используются для защиты углеродистой стали.

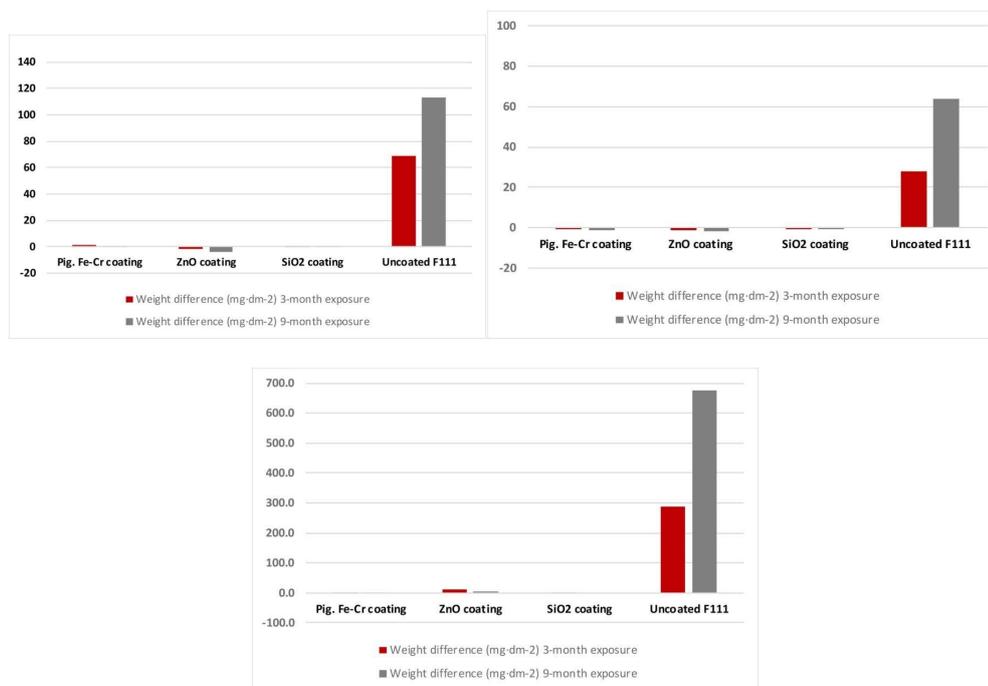


Рисунок 1.4.3. –Разница в весе между сталью без покрытия и сталью с другим покрытием в атмосфере:с содержанием хлора(а);в океане(б);специфических загрязняющих веществ(в).

Три атмосферные среды (хлорсодержащая, морская и с конкретными загрязнителями) были выбраны в качестве коррозионных сред, где в течение 3 и 9 месяцев проводились эксперименты по коррозии для сравнения эффектов ингибирования коррозии с использованием гравиметрического метода.

Результаты, представленные на рисунке 1.4.3, показывают, что покрытия  $\text{ZnO}$  и  $\text{SiO}_2$  обладают хорошим антикоррозионным эффектом в хлорсодержащих атмосферах и атмосферах с характерными загрязняющими веществами. Однако, покрытия  $\text{SiO}_2$  демонстрируют низкий антикоррозионный эффект в морской атмосферной среде. Через

один месяц покрытия, содержащие наночастицы  $\text{SiO}_2$ , полностью отделялись от поверхности стали без последующего воздействия.

В работе [31] наночастицы оксида алюминия и модифицированного оксида графена были добавлены к эпоксидной смоле для получения антикоррозионных покрытий. Ингибиторы коррозии используются для защиты углеродистой стали.

В этом исследовании коррозия в солевом тумане и потенциодинамические поляризационные кривые использовали для анализа эффекта ингибирования коррозии эпоксидной смолой с добавлением наночастиц. Ингибиторы коррозии используются для защиты углеродистой стали.

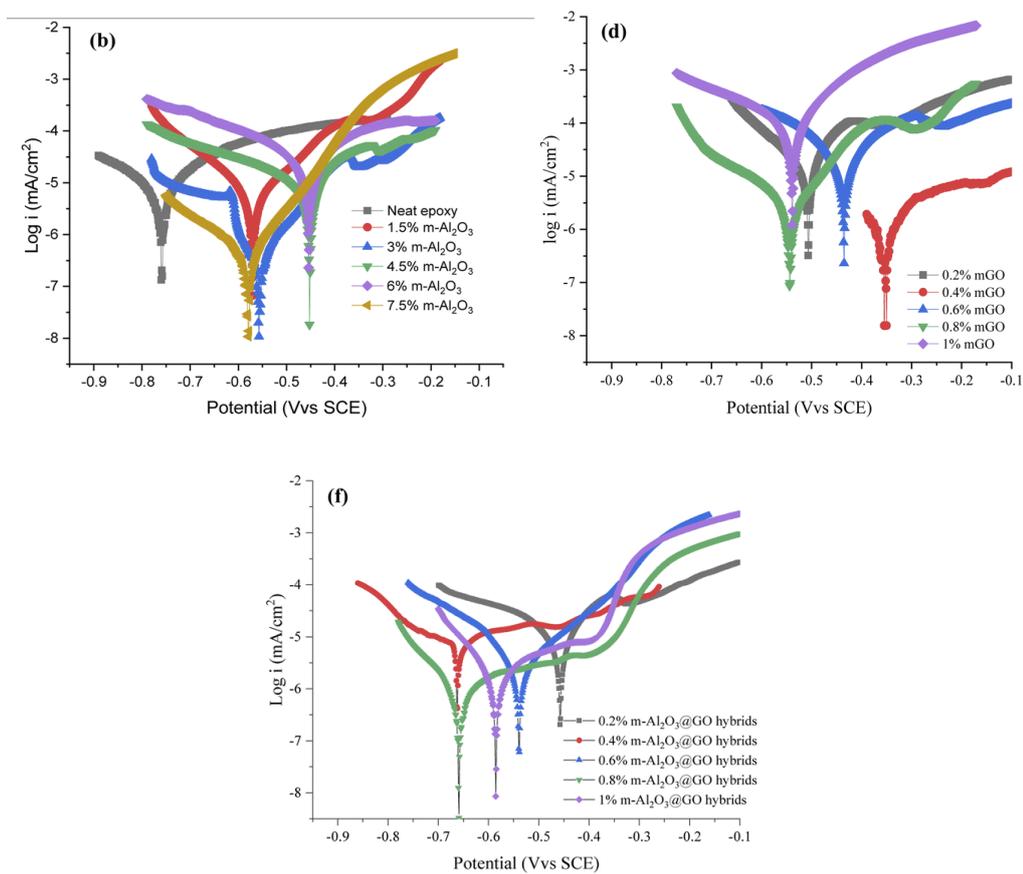


Рисунок 1.4.4. — потенциодинамические поляризационные кривые покрытий. (b) m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/эпоксидное покрытие, (d) mGO/эпоксидное покрытие, (f) m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@GO/эпоксидное покрытие.

Как правило, покрытия с высоким коррозионным потенциалом, низкой плотностью тока коррозии и большим импедансом проявляли хорошие антикоррозионные свойства. Поэтому в данной работе коррозионная стойкость композиционного покрытия была повышена за счет увеличения дополнительного количества  $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Однако избыточное введение нанонаполнителей приводило к плохому диспергированию и снижению коррозионной стойкости покрытий. Среди этих покрытий покрытие 1,5 мас.%  $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ /эпоксидная смола показало хорошую коррозионную стойкость.

В работе [ 32 ] для модификации акриловой смолы использовали нано- $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ . Наночастицы  $\text{TiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$  добавляли в составы покрытий в количестве 0, 1, 3, 5 и 7 мас. % от общего количества смолы, обозначаемые аббревиатурой SAR0, SAR1, SAR3, SAR5 и SAR7 соответственно, и диспергировали в смоле с помощью покрывающих добавок с помощью ультразвука.

Результаты измерений ЭИС показывают, что композитное покрытие с добавлением наночастиц обладает лучшими антикоррозионными характеристиками на углеродистой стали.

Таблица 1.4.1. – Параметры из исследований ЭИС всех систем покрытий после 6 часов, 600 часов, 1800 часов погружения в 3,5% NaCl

| бч    | $R_c(\text{Ом}\cdot\text{см}^2)$ | CPE  |      | Площадь Чи   | Модель |
|-------|----------------------------------|--|------|--------------|--------|
|       |                                  | $Y_0(\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с})$ | n    |              |        |
| SAR1  | $6.89e^{10}$                     | $2.79e^{-10}$                                      | 0.90 | $0.58e^{-3}$ | a      |
| SAR7  | $6.94e^{10}$                     | $2.61e^{-10}$                                      | 0.82 | $0.66e^{-3}$ | a      |
| 600ч  | $R_c(\text{Ом}\cdot\text{см}^2)$ | CPE  |      | Площадь Чи   | Модель |
|       |                                  | $Y_0(\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с})$ | n    |              |        |
| SAR1  | $7.68e^9$                        | $1.89e^{-10}$                                      | 0.94 | $0.32e^{-3}$ | a      |
| SAR7  | $8.31e^9$                        | $16.5e^{-10}$                                      | 0.94 | $0.47e^{-3}$ | a      |
| 1800ч | $R_c(\text{Ом}\cdot\text{см}^2)$ | CPE  |      | Площадь Чи   | Модель |
|       |                                  | $Y_0(\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с})$ | n    |              |        |
| SAR1  | $8.316e^8$                       | $1.68e^{-10}$                                      | 0.96 | $0.12e^{-3}$ | b      |
| SAR7  | $1.020e^8$                       | $1.985e^{-10}$                                     | 0.96 | $0.94e^{-3}$ | b      |

В работе [33] наночастицы  $ZrO_2$  были добавлены в акриловую смолу в качестве композитного покрытия для защиты от коррозии. Суспензии с 1, 2, 5 и 10 мг наночастиц  $ZrO_2$  в 10, 8, 6 и 4 г акриловой смолы были обозначены AR1, AR2, AR3 и AR4 соответственно. Коррозионную стойкость покрытий из акриловой смолы, модифицированной диоксидом циркония, на стальных Q235 подложках оценивали с использованием электрохимических методов.

Для обоих периодов воздействия в корродирующем веществе NaCl из тенденции данных импеданса можно сделать вывод, что коррозионная стойкость снижается с увеличением содержания частиц наноциркония. Эта аномалия может быть связана с перенасыщением сетки покрытия и уменьшением количества основной смолы. Этот процесс еще больше расширил собственные диффузионные пути для просачивания ионных токов коррозионно-активных ионов к поверхности металла.

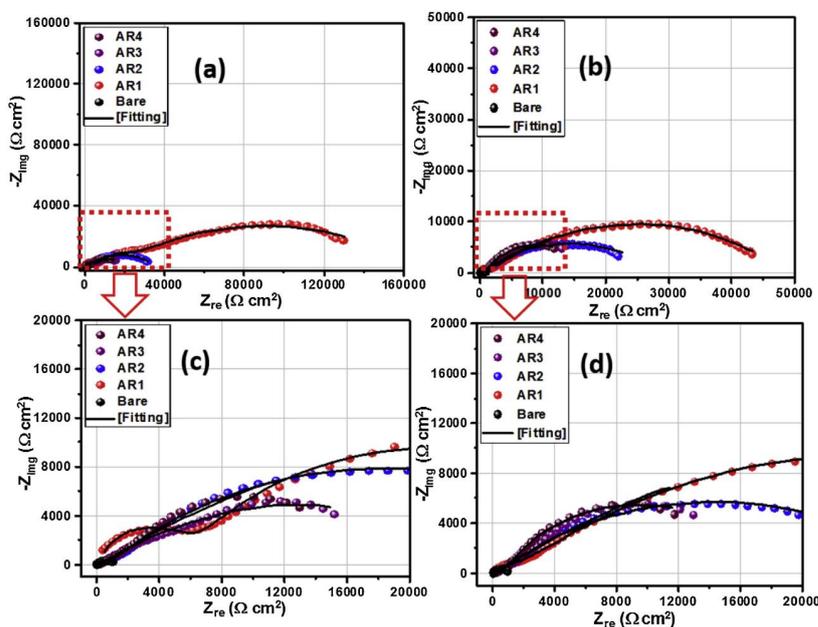


Рисунок 1.4.5. –Кривые Найквиста для модифицированных диоксидом циркония акриловых нанокомпозитных смол, покрытых и непокрытых стальных подложек при разной продолжительности воздействия после первого (а, с) и седьмого (b, d) дней воздействия солевого коррозионного агента

При оптимальных концентрациях эти частицы модифицированного диоксида циркония должны были действовать как наполнители, укрепляя внутреннюю сеть покрытия, тем самым блокируя путь проникновения вызывающих коррозию ионов хлорида. Однако при содержании более 1 мг НЧ  $ZrO_2$  в акриловой смоле присутствие избыточных наполнителей позволяло молекулам нейтрального электролита проникать через покрытие, что медленно приводило к локальной коррозии.

В работе [34] частицы нано- $SiO_2$  смешивали с акриловой смолой для формирования композитного покрытия. Электрохимические коррозионные исследования образцов стали с покрытиями проводили в 1%  $HCl$  и 3,5%  $NaCl$  на электрохимическом анализаторе СНИ650С.

Посредством измерения электрохимического импеданса и измерения поляризации получены данные, показанные в таблицах 1.4.2. и 1.4.3.

По результатам СЭИ видно, что эффективность защиты для  $SiO_2$ /акрил составляет 45,38% в 1% $HCl$  и 77,75% в 3,5%  $NaCl$ . Поляризационные кривые показывают, что эффективность ингибирования наночастицами оксида кремния составляет 44,28 % в 1%  $HCl$  и 76,82 % в 3,5 %  $NaCl$ . Антикоррозионное поведение, изученное в выбранных двух агрессивных средах, 1%  $HCl$  и 3,5%  $NaCl$ , показало, что покрытие  $SiO_2$ /акрил показало плохие защитные свойства в среде 1%  $HCl$  и хорошее поведение в 3,5%  $NaCl$  на электроде из мягкой стали.

Таблица 1.4.2.–Данные электрохимического импеданса для наночастиц кремнезема в 1%  $HCl$  и 3,5%  $NaCl$ .

| Образцы покрытия   | 1% $HCl$                    |              |        |                                    | 3.5% $NaCl$                 |              |        |                                    |
|--------------------|-----------------------------|--------------|--------|------------------------------------|-----------------------------|--------------|--------|------------------------------------|
|                    | $R_{кт}(\Omega \cdot cm^2)$ | $C_{дл}(мФ)$ | Т.е. % | Покрывтне поверхности ( $\theta$ ) | $R_{кт}(\Omega \cdot cm^2)$ | $C_{дл}(мФ)$ | Т.е. % | Покрывтне поверхности ( $\theta$ ) |
| Чистый акрил       | 16.70                       | 0.1648       | -      | -                                  | 12.97                       | 0.1173       | -      | -                                  |
| $SiO_2$ /акриловый | 36.22                       | 0.0900       | 45.38  | 0.53                               | 35.61                       | 0.0261       | 77.75  | 0.63                               |

Таблица 1.4.3. – Измерения поляризации наночастиц кремнезема в 1% HCl и 3,5% NaCl.

| Образцы покрытий            | 1% HCl     |            |        | 3.5% NaCl  |            |        |
|-----------------------------|------------|------------|--------|------------|------------|--------|
|                             | $E_{Корр}$ | $I_{Корр}$ | Т.е. % | $E_{Корр}$ | $I_{Корр}$ | Т.е. % |
| Чистый акрил                | -0.6515    | 0.1637     | -      | -0.6744    | 0.1014     | -      |
| SiO <sub>2</sub> /акриловый | -0.5902    | 0.0912     | 44.28  | -0.5696    | 0.0235     | 76.82  |

В работе [ 35 ] частицы nano-SiO<sub>2</sub> и смешивали с акриловой смолой для формирования композитного покрытия. Ингибиторы коррозии используются для защиты углеродистой стали.

Результаты ЭИС показали, что добавление 1% nano-TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> значительно улучшило коррозионную стойкость эпоксидного лака. В отличие от лака, значения модулей спектров импеданса залитого nano-TiO<sub>2</sub> лака были примерно на порядок выше, чем у лака.

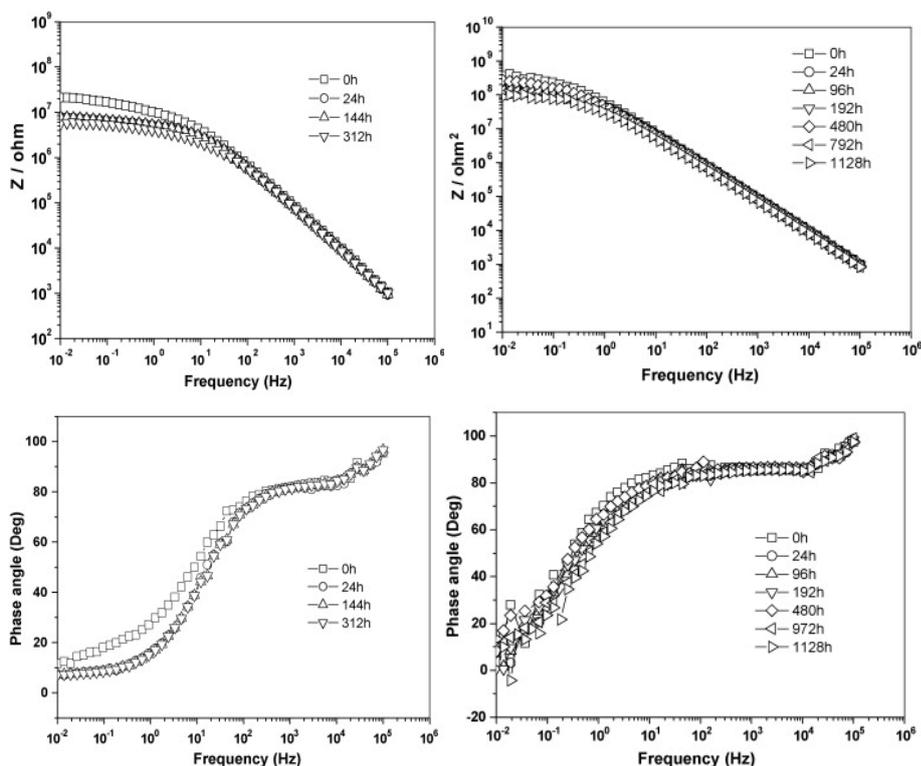


Рисунок 1.4.6. – График Бode эпоксидного лака: (а) с nano-TiO<sub>2</sub> и (б) nano-SiO<sub>2</sub>, погруженного в 3,5% NaCl на разное время.

Механизм улучшения коррозионной стойкости и механических характеристик nano-SiO<sub>2</sub>/эпоксидной смолы можно объяснить образованием слоистого каркаса.

Мультигидроксилы на частице nano-SiO<sub>2</sub> способствуют созданию сшивающей структуры, чему способствует силановое связующее. Структура сшитых частиц nano-SiO<sub>2</sub> в микромасштабе способствовала формированию компактных нанокompозитных покрытий, которые затрудняли транспортировку воды и ионов хлорида и снижали тенденцию к образованию пузырей и расслаиванию, что улучшало коррозионную стойкость. Эффект от этого улучшения был предпочтительнее, а также по твердости по сравнению с частицами nano-TiO<sub>2</sub>.

В работе [36] обработанные силаном наночастицы ZnO использовались в качестве наполнителей в акриловых смолах.

Покрyтия, содержащие 0, 0,3, 1, 5 и 15 % модифицированных наночастиц ZnO в 27 г акриловой смолы, 12,5 г меламинаовой смолы и 30 г растворителя, были обозначены как NCZn0, NCZn0,3, NCZn.1, NCZn.5 и NCZn.15.

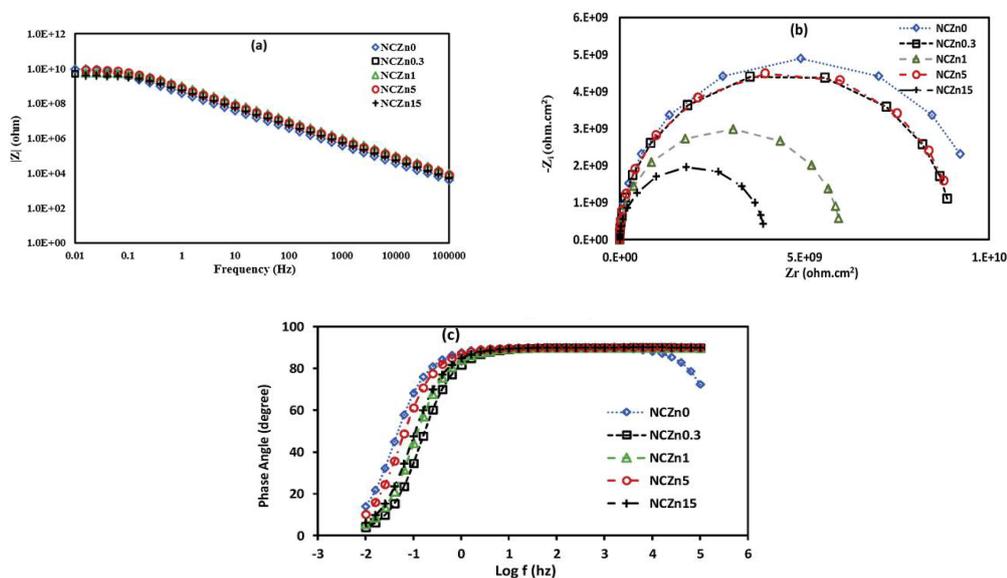


Рисунок 1.4.7. – Боде (а), Найквиста (b) и фазовая (c) диаграммы образцов после однодневного погружения в 3,5% NaCl.

На рисунок 1.4.7 показаны диаграмма Боде, Найквиста и фазовая диаграмма образцов после однодневного погружения в 3,5% NaCl. Значение импеданса на низких частотах  $|Z|_{0,01}$  является одним из параметров, который используется для сравнения

защитных характеристик покрытий. На рисунке видно, что на низких частотах все образцы имеют значения импеданса около  $1010 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  после суток погружения, что свидетельствует о высоких начальных защитных свойствах покрытий.

Наночастицы оксида цинка были синтезированы и модифицированы силановым связующим агентом. Результаты СЭИ показали, что присутствие модифицированного силаном наноксида цинка в акриловых покрытиях до 1% масс. повышает защитные характеристики покрытий. Это может быть связано с качеством диспергирования модифицированного нано ZnO в акриловой матрице.

В работе [37] использование наночастиц  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , легированных церием, в качестве наполнителя для акриловых смолы. Среди них наноксид железа составляет 35% покрытия, акриловая смола составляет 33% покрытия, вода составляет 29%, а другие вещества составляют 3%.

Таблица 5. Параметры ЭИС для пяти покрытий из акриловой смолы на водной основе на основе оксида железа при погружении в 3,5 мас.%. NaCl

| Образец                                     | $E_{\text{Корр}}/\text{мВ}$ | $Y_{\text{Корр}}/\text{мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ | $E_{\text{Бреа}}/\text{мВ}$ |
|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| pH = 4                                      | - 42,235                    | 0.010   | -                           |
| pH = 6                                      | - 48,611                    | 0.003   | 217.421                     |
| pH = 8                                      | - 64,205                    | 0.143   | 166.176                     |
| Неутопленный $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ | - 155,121                   | 0.116   | 29.370                      |
| Байер $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$        | - 46,46                     | 0.030   | -                           |

Результаты показали, что наноразмерные частицы, приготовленные в трех условиях (pH = 4, 6 и 8), были относительно гладкими и сферически диспергированными. Наночастицы, приготовленные в условиях pH=4 и pH=6, в основном представляют собой  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с поверхностной дефектной структурой.

Ионы Ce хорошо легируются в структуру решетки  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , повышая стабильность химических связей, тем самым улучшая эффект ингибирования коррозии  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Наночастицы, приготовленные при pH=8, в основном представляют собой связанную

структуру  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CeO}_2$ . Следовательно, электрохимическая стабильность этой структуры хуже, чем у структуры с поверхностными дефектами, что приводит к худшей коррозионной стойкости.

Кроме того, сложные оксиды железа с поверхностными дефектами могут лучше сочетаться с акриловой смолой на водной основе, а приготовленное покрытие из акриловой смолы на водной основе обладает хорошей коррозионной стойкостью.

Таблица 1.4.4—Сравнение результатов применения ингибиторов коррозии стали с добавками наночастиц органических соединений

| Полимерная матрица | Вид НЧ  | Размер, нм                                      | Методы испытаний на коррозию  | Среда  | Защитный металл    |
|--------------------|---|---|---|--|--------------------|
| Акриловый лак      | $\text{Ag/SiO}_2$                                       | 60  | Анализ электрохимического шума  | Морская вода   | Углеродистая сталь |
|                    | $\text{CeO}_2$  | 2   | ЭИС, Испытание соляным туманом  | 0.1 М NaCl   |                    |
|                    | $\text{ZnO, SiO}_2$                                     | ×   | Гравиметрический метод  | Атмосфера (богатая хлоридами, морская, некоторые загрязнители) |                    |
| Эпоксидная смола   | $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,<br>Наночастицы оксида графена | ×   | Испытание соляным туманом,<br>Потенциометрия,<br>Потенциодинамические испытания | 3,5% NaCl  | Сталь Q235         |
| Акриловый лак      | $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$                             | ×   | ЭИС   | 1% HCl и 3,5% NaCl   |                    |
|                    | $\text{ZrO}_2$  | <100  |   |  |                    |
| Акриловый лак      | $\text{SiO}_2$  | ×   | ЭИС,<br>Потенциодинамические испытания  | 3.5%NaCl   | Углеродистая сталь |
|                    | $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$                             | 20-40<br>$\text{TiO}_2$<br>20<br>$\text{SiO}_2$ | ЭИС, Испытание соляным туманом  |  |                    |
| Акриловый лак      | $\text{ZnO}$  | ×   | ЭИС   | 3.5%NaCl   | Углеродистая сталь |
|                    | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$                          | 83  | ЭИС,<br>Потенциодинамические испытания  |  |                    |

### 1.5. Ингибиторы коррозии сталей на основе неорганических соединений

В работе [ 38 ] защищенный металл – сталь N80, а ингибитор - функционализированные углеродные точки (N-CDs). Среда раствора для этого эксперимента: 1 М HCl и насыщенном CO<sub>2</sub> 3,5 мас.% NaCl.

Таблица 1.5.1.–Параметры потенциальной поляризационной кривой для стали N80 1 М HCl и насыщенных CO<sub>2</sub> 3,5 мас.% NaCl.

| Образцы      | Наночуглеродные точки | E <sub>корр</sub> , мВ | I <sub>корр</sub> , мА/см <sup>2</sup> | β <sub>с</sub> , мВ/дес | β <sub>в</sub> , мВ/дес | η, % |
|--------------|-----------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|------|
| 1М HCl       | -                     | -438                   | 302.30                                 | 143.45                  | -208.47                 | -    |
|              | 50                    | -476                   | 74.67                                  | 77.84                   | -185.18                 | 75.3 |
|              | 200                   | -451                   | 20.56                                  | 75.71                   | -146.70                 | 93.2 |
| 3.5мас.%NaCl | -                     | -697                   | 278.72                                 | 172.43                  | -159.77                 | -    |
|              | 50                    | -694                   | 45.99                                  | 134.15                  | -110.39                 | 83.5 |
|              | 200                   | -671                   | 12.82                                  | 82.95                   | -63.78                  | 95.4 |

Из таблицы 1.5.1 видно, что в двух растворах коррозионной среды с увеличением количества N-CDs плотность тока коррозии имеет тенденцию к снижению, что указывает на то, что N-CDs можно использовать в качестве эффективной коррозионной среды. Анодная реакция в основном подавляется в NaCl. Катодная реакция ингибировалась в основном увеличением концентрации N-CDs в 1 М HCl. Кроме того, значения наклона β<sub>а</sub> и β<sub>к</sub> значительно изменились при добавлении N-CDs по сравнению с холостым раствором. Это связано с тем, что молекулы ингибитора коррозии адсорбируются на активных центрах поверхности металла, препятствуя его влиянию на механизм растворения углеродистой стали. Эти результаты можно объяснить адсорбцией N-CDs на поверхности углеродистой стали N80, что затрудняет контакт раствор/металл. Когда дозировка составляла 200 мг/л, она достигала 93,2% и 95,4% в 1 М HCl и солевом растворе соответственно, что указывает на коррозионную стойкость N-CDs в обеих агрессивных средах.

В работе [39] защищенный металл -холоднокатаная сталь, а ингибитор -  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ .  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$  представляет собой ингибитор смешанного типа, в основном замедляя катодную реакцию. Среда раствора для этого эксперимента: раствор лимонной кислоты.

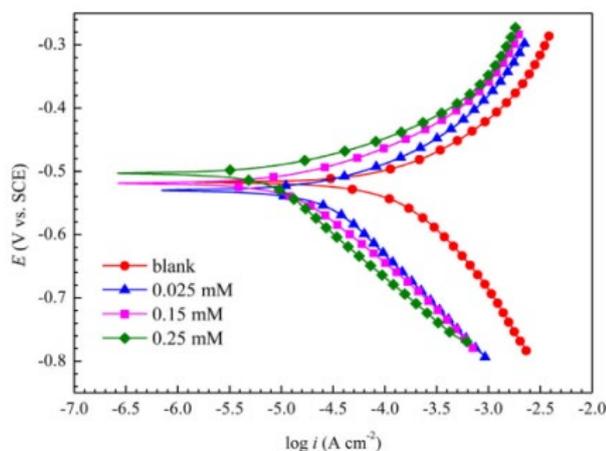


Рисунок 1.5.1–Потенциодинамические поляризационные кривые для холоднокатаной стали (CRS) в 0,50 М растворах лимонной кислоты без и с различными концентрациями  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$  при 20 °С (время погружения 2 часа).

Результаты показали, что  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$  ведет себя как эффективный ингибитор, и максимальная эффективность ингибирования достигает приятного значения 97,2% при 20 °С с небольшой концентрацией 0,25 мМ.

Этот вид ингибитора коррозии может использоваться только в определенных средах, поскольку  $\text{Ce}^{4+}$  непосредственно адсорбируется на поверхности холоднокатаной стали, а затем проявляет ингибирующие свойства, тем самым подавляя коррозию металлов в растворе лимонной кислоты. Его вряд ли можно использовать в других средах.

В работе [40] использовали апатит, легированный магнием и натрием в качестве ингибитора коррозии для оценки эффекта ингибирования коррозии низкоуглеродистой стали в среде фосфорной кислоты.

Из таблицы 1.5.2 видно, что значения  $I_{\text{corr}}$  значительно уменьшаются с уменьшением концентрации апатита. Соответственно значения  $\eta(\%)$  увеличиваются с

уменьшением концентрации ингибитора, достигая максимального значения 89,3% при 100 ppm апатита.

Таблица 1.5.2.–Данные поляризации мягкой стали в 2,0 М Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub> без апатита и с апатитом при 298 К

| Среда                                | Концентрации ppm (частей на миллион) | -E <sub>корр</sub> ,В | I <sub>корр</sub> , мА/см <sup>2</sup> | -βс, мВ/дес | βb, мВ/дес | η <sub>p</sub> ,% |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|-------------|------------|-------------------|
| 2,0 М Н <sub>3</sub> РО <sub>4</sub> | -                                    | 417                   | 1519                                   | 177         | 130        | -                 |
|                                      | 100                                  | 502                   | 163                                    | 154         | 143        | 89,3              |
|                                      | 200                                  | 509                   | 184                                    | 163         | 146        | 87,8              |
|                                      | 300                                  | 500                   | 214                                    | 153         | 137        | 85,9              |

В работе [41] использовался оксид висмута в качестве ингибитора коррозии для защиты низкоуглеродистой стали от коррозии в кислых средах,

Таблица 1.5.3.–Электрохимические параметры и эффективность ингибирования низкоуглеродистой стали в 1,0 М НСl в отсутствие и в присутствии различных концентраций ингибиторов при 298 К (при 150 ppm).

| Среда   | -E <sub>корр</sub> ,В | I <sub>корр</sub> , мА/см <sup>2</sup> | η, % |
|---------|-----------------------|--|------|
| 1 М НСl | 498                   | 983                                    | -    |
| 5 М НСl | 572                   | 127,3                                  | 87,0 |
| 7 М НСl | 601                   | 62                                     | 93,7 |
| 9 М НСl | 565                   | 168                                    | 82,9 |

Ингибирование коррозии мягкой стали в 1,0 М НСl этими неорганическими соединениями изучали с помощью электрохимических измерений. Исследовано влияние концентрации ингибитора и температуры кислой среды на коррозионное поведение. Эффективность ингибирования находили в ряду: 7 М > 5 М > 9 М, причем эффективности ингибирования, определенные методами потенциодинамической поляризации и ЭИС, хорошо согласуются друг с другом.

Экстракт листьев *Morinda citrifolia* использовался в качестве ингибитора коррозии в работе [42] для защиты РЦ в соленой среде.

На рисунок 1.5.2 показана скорость коррозии стальной арматуры. Контрольный образец C0 представлял собой сталь, подвергавшуюся непосредственному воздействию 3% NaCl в течение 90 дней, тогда как контрольный образец 1 (C1) был залит бетоном без экстракта листьев. Скорость коррозии каждого образца рассчитывали по формуле.

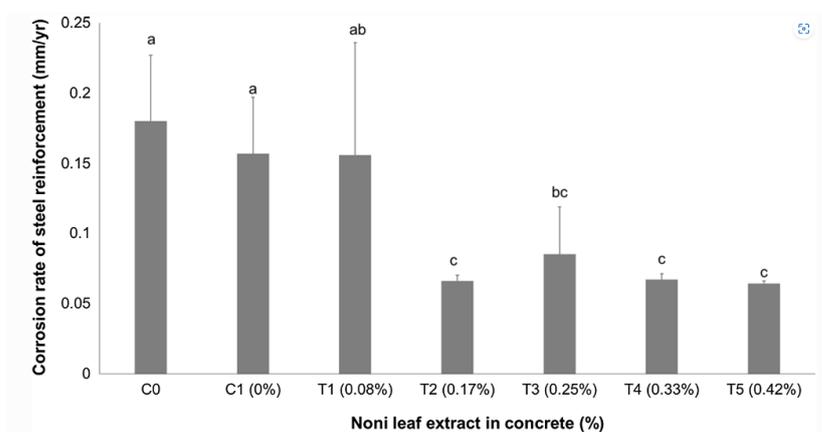


Рисунок 1.5.2.–Скорость коррозии стальной арматуры. Разные буквы над столбцами указывают на значительные различия ( $P < 0,05$ ).

Результаты показывают, что эффективность ингибирования коррозии составила 0,6 % в T1 (0,08 %), 58 % в T2 (0,17 %), 46 % в T3 (0,25 %), 57 % в T4 (0,33 %) и 59 % в T5 (0,42%). Это означает, что применение экстракта листьев *Morinda citrifolia* в качестве ингибитора коррозии в сталежелезобетонных конструкциях, подвергающихся воздействию соленой среды, эффективно при концентрациях выше 0,17%.

В работе [43] использовались три соли фосфата натрия: гидрофосфат динатрия, монофторфосфат натрия и фосфат тринатрия в качестве ингибиторов коррозии для RC.

На рисунок 1.5.3. представлены репрезентативные диаграммы РФА для образцов цементного теста с примесью ингибитора коррозии, отвержденных при относительной влажности 100 % в течение 30 дней.

Три испытанных ингибитора коррозии демонстрируют хорошие ингибирующие свойства. Порядок эффективности фосфатов, действующих как мигрирующие ингибиторы коррозии, был следующим: монофторфосфат натрия > гидрофосфат динатрия > фосфат

тринатрия. Результаты показывают, что динатрийгидрофосфат и тринатрийфосфат являются хорошей альтернативой дорогостоящему монофторфосфату натрия. Для образцов с примесью ингибитора коррозии наилучшее поведение ингибитора коррозии показало соединение динатрия гидрофосфата, которое демонстрировало значения  $I_{corr}$  в пассивном состоянии в течение большей части испытательного времени.

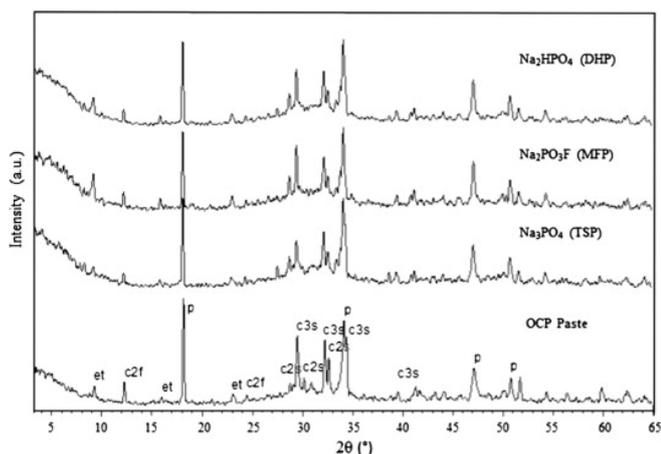


Рисунок 1.5.3. –Графики РФА для образцов с добавками ингибиторов коррозии.

Таблица 1.5.4 – Сравнительные результаты ингибиторов коррозии чугуна и стали на основе неорганических соединений

| Параметр | Ингибитор                               | Защитный металл         | Среда                                | η,%               |
|----------|---|-------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| [38]     | Функционализированные углеродные точки  | Сталь N80               | 1 М HCl<br>3,5 мас.%NaCl             | 93.2<br>и<br>95.4 |
| [39]     | Ce(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>       | Стальной прокат         | Раствор лимонной кислоты             | 97,2              |
| [40]     | Апатит                                  | Низкоуглеродистая сталь | 2,0 М H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 89,3              |
| [41]     | Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          |                         | 1,5,7,9 М HCl                        | 93.7              |
| [42]     | Экстракт листьев моринды лимоннолистной | Железобетон(RC)         | 0.1 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 59                |
| [43]     | Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>         |                         | RC                                   | -                 |

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Объекты исследования и используемое оборудование

В качестве образцов исследования коррозионной устойчивости были выбраны стали марок Ст3 и У8А. Ст3 является конструкционной сталью с низким содержанием углерода, У8А – инструментальная высокоуглеродистая сталь (таблица. 2.1).

Таблица 2.1 – Содержание элементов стали Ст3, %, масс

|     | C         | Si        | Mn        | Ni    | S      | P      | Cr   | Cu    |
|-----|-----------|-----------|-----------|-------|--------|--------|------|-------|
| Ст3 | 0,14-0,22 | 0,05-0,17 | 0,4-0,65  | ≤0,3  | ≤0,05  | ≤0,04  | ≤0,3 | ≤0,3  |
| У8А | 0,75-0,84 | 0,17-0,33 | 0,17-0,28 | ≤0,25 | ≤0,018 | ≤0,025 | ≤0,2 | ≤0,25 |

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

Таблица 2.2 – Оборудование и реактивы

| Оборудование  | Реактивы   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• NanoSprayDryer B-90, (Швейцария);</li><li>• Весы электронные лабораторные ALC-110d4;</li><li>• Мультиметр VC98 0CA<sup>+</sup>;</li><li>• Сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ)</li><li>• Потенциостат CorrTest CS310</li><li>• Рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 7000</li><li>• Универсальный твердомер DuraVision-30</li><li>• Ванна ультразвуковая ODA-LQ40</li><li>• Вортекс ХН-D</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Оксихлорид цинка ZnOCl<sub>2</sub></li><li>• Оксинитрат цинка ZnO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></li><li>• Аммиак (NH<sub>4</sub>OH)</li><li>• Наночастицы ZnO (хч);</li><li>• Кислота азотная HNO<sub>3</sub> (хч);</li><li>• Кислота соляная HCl (хч);</li><li>• Гидроксид натрия NaOH (хч);</li><li>• Гидроксид калия KOH (хч);</li><li>• □ Акриловый лак для дерева Husky, (РФ ЗАО «Декарт»)</li><li>• Морская соль</li></ul> |

### 2.2 Методика подготовки образцов и ингибиторов

**Подготовка наночастиц.** В работе мы использовали НЧ оксида цинка полученные методом нанораспылительной сушки. Распылительная сушка - это метод получения сухого

порошка из жидкости или суспензии путем быстрой сушки горячим газом.

NanoSprayDryer B-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 сопла [44].

Процесс сушки происходит внутри распылительного цилиндра (рисунок 2.1). После установления стабильного газового потока, через распылительную головку в цилиндр поступают мельчайшие капли рабочего раствора. Капли образца высыхают в атмосфере горячего воздуха [ 45 ]. 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.

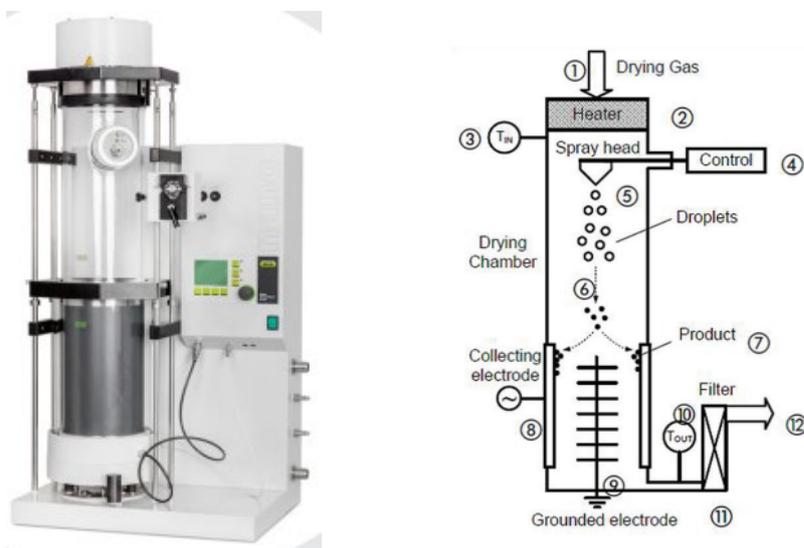


Рисунок 2.1 – Схема работы установки Nano Spray Dryer B-90

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 порошок [46].

На рисунке 2.2 представлена схема процесса получения наночастиц ZnO с помощью распылительной суши. Суспензию для распылительной суши готовили следующим образом: 100 мл раствора нитрата цинка (0,5 моль/л) медленно и равномерно добавляют в 60 мл раствора гидроксида натрия (1 моль/л), чтобы получить суспензию гидроксида цинка. Потом выделение гидроксидов из суспензий на установке Nano Spray B-90.



Рисунок 2.2 – Процесс получения наночастиц ZnO с помощью распылительной суши

В ходе эксперимента использовали следующие параметры распылительной суши: скорость газового потока 103-105 л/мин, относительная интенсивность распыления 45–59 %,  $T = 80^\circ C$ ,  $P = 31$  Па. Нанопорошки собирались из цилиндра и отжигались при температуре  $250^\circ C$  в течение 1 ч.

Полученные наночастицы оксида цинка представляют из себя агломераты размерами порядка 1 микрона, состоящие из кристаллитов нанометрового диапазона (рисунок. 2.3).

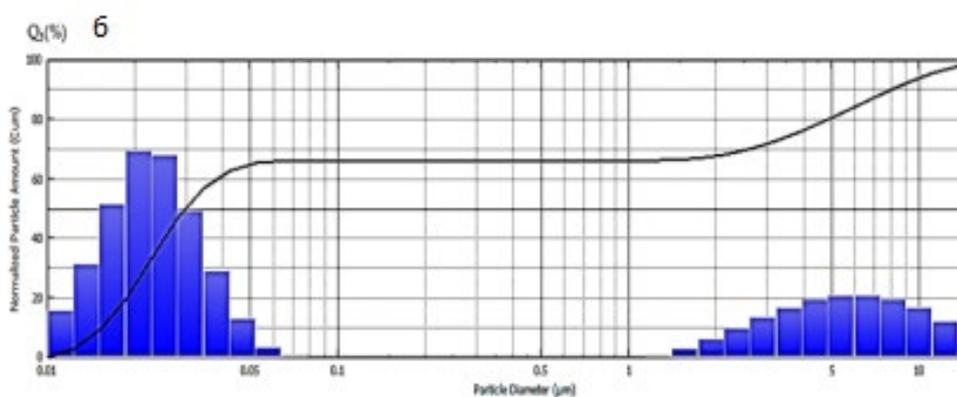
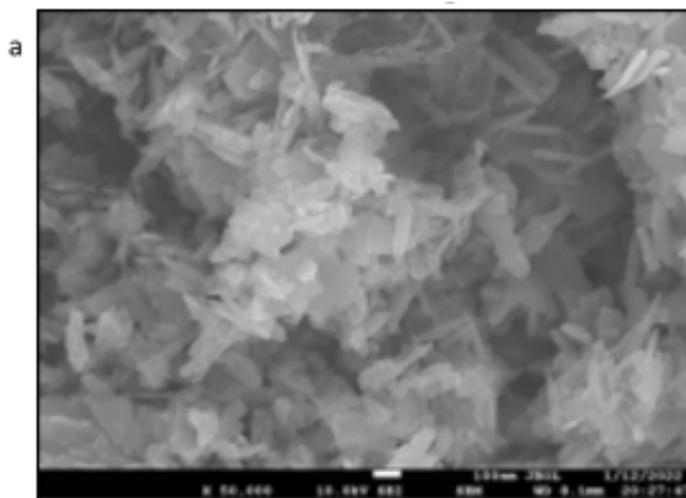


Рисунок 2.3– Порошок оксида цинка полученный методом нанораспылительной сушки на установке Nano Spray Dryer B-90: а – РЭМ изображение, б – распределение частиц по размеру

**Подготовка ингибитора.** В качестве полимерной матрицы для наночастиц оксида цинка была выбрана коммерческая дисперсия акрилового лака. Как показано на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4–Акриловый лак Husky

В состав акрилового лака в основном входят:

- (1) жидкий полимер, акриловая дисперсия (полимеры проп-2-еновой и 2 метилпроп-2-еновой кислот и их производных);
- (2) антисептик;
- (3) пластификатор.

Ингибитор готовили и наносили на поверхность стали двумя способами.

Первый — смешивали акриловый лак с оксидом цинка (10 мл акрилового лака +

0,015 г НЧ ZnO (0.15 масс. %)), затем наносили на поверхность стали.

Второй — сначала наносили наночастицы оксида цинка (25 мл воды + 0,0375 г НЧ ZnO (0.15 масс. %)) из водной суспензии, сушили при комнатной температуре в течение 15 минут, а затем наносили акриловый лак.

Для получения равномерной дисперсии нанooksида цинка суспензию обрабатывали 15 минут с помощью УЗ-ванны ODA-LQ40 и затем 2 минуты перемешивали с помощью вихревой мешалки вортекс ХН-D. Однородно смешанный ингибитор коррозии показан на рисунке 2.5(в).



а



б



в

Рисунок 2.5 – Ванна ультразвуковая ODA-LQ40 (а); вортекс ХН-D (б); смесь акрилового лака и НЧ ZnO (в).

### 2.3 Гравиметрический метод

Поверхность образца полировали шлифовальной бумагой разной зернистости (Р60, Р100, Р320). После чего очищали этанолом. После чего очищали этанолом. Стальные образцы представляли собой пластины размером 1×1 см.

Измерение потери массы стальных образцов в среде смеси кислот и соляной кислоты ( $\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=3:2:5$ ) проводили гравиметрическим методом. При измерениях использовали электронные лабораторные весы ALC-110d4.

Подготовленные образцы погружали в среду смеси азотной и соляной кислот. Массу образца измеряют один раз каждые пять минут, общей продолжительностью 30 минут. Образцы закрепляли на фторопластовом держателе по 3 одновременно. Перед

взвешиванием образцы промакивали бумажными салфетками для удаления влаги с поверхности.



а



б

Рисунок 2.6—Электронных лабораторных весах ALC-110d4 (а); Образец в коррозионных условиях(б);

## 2.4 Потенциометрический метод

Потенциометрия – основана на измерениях равновесного потенциала (ЭДС), данный метод использовался в качестве электрохимической оценки эффективности ингибитора.



а



б



в

Рисунок 2.7 –мультиметр VC9805A+ (а); Рабочая электрохимическая ячейка (б); изолированные электроды стали У8А и СтЗ (в).

Исследования проводили в трех средах: кислой, щелочной и нейтральной. В качестве электрода сравнения был использован насыщенный хлоридсеребрянный электрод. В качестве электролитов использовались: 0,1М HCl, 0,1М NaOH, 3,5% NaCl. Для замера потенциала использовался мультиметр VC980CA<sup>+</sup> (рисунок 2.7, а). Измерения проводили в течение 30 мин.

Стальные электроды представляли собой пластины размерам 5×5 мм с припаянными контактами на одной из сторон. Пластины были помещены в стеклянные трубки. Контакты были изолированы парафином. Как показано на рисунке 2.7 (в).

## 2.5 Потенциодинамический метод

Коррозионные диаграммы регистрировали с помощью трехэлектродной ячейки на потенциостате CorrTest CS310 (рисунок 2.8). В качестве фоновых электролитов использовали 0,1М HCl, 3,5% NaCl, приготовленные с использованием дистиллированной воды, объем электролита в ячейке – 60 мл. Программное обеспечение «CS Studio5» использовалось для получения и частичной обработки результатов.

В качестве вспомогательного электрода сравнения использовались насыщенные хлоридсеребряные электроды. Регистрацию коррозионных кривых проводили в средах 0,1М HCl и 3,5% NaCl.

Диапазон сканирования составил от -0,3 до 0,3 В vs OCP, скорость сканирования составляет 10 мВ/сек.



Рисунок.2.8– Потенциостат CorrTest CS310

## 2.6 Оптическая микроскопия

В этом исследовании он используется для наблюдения за структурой поверхности стали после нанесения ингибитора коррозии. Эффективность ингибитора коррозии определяли путем сравнения структуры до и после коррозии.

Стали Ст3 и У8А подвергали коррозии в смеси кислоты и соляной кислоты ( $\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O} = 3:2:5$ ) в течение 30 мин с ингибиторами коррозии и без них, образцы очищали деионизированной водой и сушили. Образцы до и после коррозии наблюдали с помощью универсального твердомера DuraVision-30 (рисунок 2.9). Увеличение, используемое для наблюдения за образцами, составляло 20 крат.



Рисунок 2.9 – Универсальный твердомер DuraVision-30

## 2.7 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) – это метод количественного и качественного определения фазового состава кристаллических образцов, основанный на изучении дифракции рентгеновских лучей.



Рисунок 2.10 – Дифрактометр рентгеновский Shimadzu XRD-7000S

В этом исследовании мы используем Рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 7000 для фазового анализа (рисунок 2.10).

Стали Ст3 и У8А шлифовали шлифовальной бумагой Р100 до гладкой поверхности без следов коррозии. На поверхность стали наносили смесь акриловой краски и НЧ ZnO в качестве отличного ингибитора коррозии. Разделили на 6 контрольных групп, как показано в таблице 2.3.

Коррозия образцов проводили в смеси кислот ( $\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=3:2:5$ ) 10 минут. Затем стальные образцы промывали дистиллированной водой и сушили. После высыхания упакуйте в пакет, отметьте информацию и подготовьте образец для рентгенофазового анализа.

Таблица 2.3 – Подготовленные образцы стали Ст3/У8А.

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| 1 –Ст3/У8А         | 1' –Ст3/У8А после травления         |
| 2 –Ст3/У8А-АЛ      | 2' –Ст3/У8А-АЛ после травления      |
| 3 –Ст3/У8А-(АЛ+НЧ) | 3' –Ст3/У8А-(АЛ+НЧ) после травления |

Оценка фазового состава в процессе травления была выполнена посредством получения рентгенофазовых дифрактограмм стали до и после травления (Дифрактометр рентгеновский Shimadzu XRD-7000S). Рентгеновская трубка: Cu, напряжение 40 (кВ), ток 30 (мА). Регистрацию дифракции проводили в диапазоне от 20 до 90 градусов ( $2\theta$ ) скорость 1 °/мин, шаг 0,03°.

Для идентификации кристаллических фаз в составе продукта использовали программу «Search-Match» (рисунок 2.11). Анализ дифрактограмм проводили с использованием бесплатного программного обеспечения «PowderCell» (рисунок 2.12) .

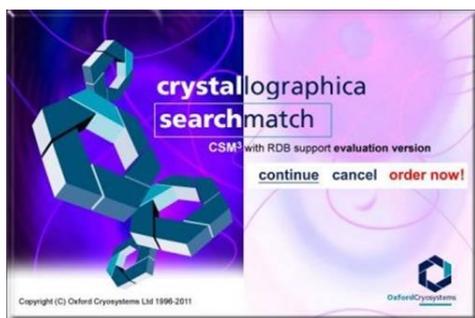


Рисунок 2.11 – Программа Search-Match

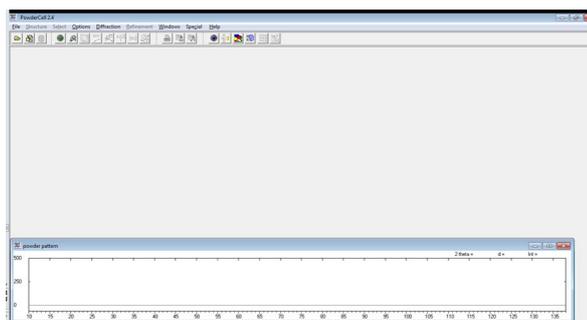


Рисунок 2.12– Рабочее окно программы PowderCell

## **4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЕ**

### **Введение**

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель данной НИ (ВКР) – разработка полимера, легированного наночастицами оксида цинка, для ингибирования коррозии металлов. Решения, представленные в исследовании, актуальны как для производителей деталей из низколегированных сталей, так и для предприятий, занимающихся металлообработкой.

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

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

В настоящее время в центре внимания исследований ингибиторов коррозии находится в основном реакция полимеризации на поверхности защищаемого материала с образованием плотной антикоррозионной полимерной пленки, то есть временной или

кратковременной защитной пленки. В качестве базового полимера покрытия, используемого в данном исследовании, использовался акриловый лак.

Ингибиторы коррозии делятся на неорганические ингибиторы коррозии и органические ингибиторы коррозии. Условно говоря, действие органических ингибиторов коррозии лучше.

Учитывайте влияние продукта. Для сравнения выбираем различные отечественные российские продукты.

В ходе исследования рассматривались две конкурирующие разработки покрытий разного состава:

—Ингибитор коррозии фирмы «ГРЕДРС» с пассиватором IC-V в качестве основного компонента

—Ингибиторы коррозии компании «Краско» с Ингибитором в качестве основного компонента

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. Актуальность исследования                            | 0,1          | 5              | 3               | 4               | 0,5                   | 0,3             | 0,4             |
| 2. Трещиностойкость                                     | 0,14         | 5              | 2               | 3               | 0,7                   | 0,28            | 0,42            |
| 3. Ударопрочность                                       | 0,18         | 4              | 3               | 3               | 0,72                  | 0,54            | 0,54            |
| 4. Стабильность соединения с подложкой                  | 0,14         | 4              | 4               | 3               | 0,56                  | 0,56            | 0,42            |
| 5. Простота изготовления                                | 0,05         | 3              | 5               | 4               | 0,15                  | 0,25            | 0,2             |
| 6. Эффективность работы                                 | 0,05         | 5              | 5               | 5               | 0,25                  | 0,25            | 0,25            |
| 7. Безопасность   | 0,08         | 4              | 4               | 4               | 0,32                  | 0,32            | 0,32            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Цена сырья   | 0,12         | 4              | 8               | 4               | 0,48                  | 0,6             | 0,48            |

| 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               |
| 2. Предполагаемый срок эксплуатации                                    | 0,06         | 4              | 3               | 4               | 0,24                  | 0,18            | 0,24            |
| 3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок | 0,08         | 5              | 4               | 4               | 0,4                   | 0,32            | 0,32            |
| <b>Итого</b>   | <b>1</b>     | <b>43</b>      | <b>41</b>       | <b>38</b>       | <b>4,32</b>           | <b>3,6</b>      | <b>3,59</b>     |

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

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

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл показателя.

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

#### 4.1.2 SWOT-анализ

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

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

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

| <b>Сильные стороны</b>  | <b>Слабые стороны</b>   |
|---|---|
| С1.Короткое время изготовления (простой процесс, быстрая циркуляция продукта )                            | Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. |
| С2. Экологичность технологии(приготовление и использование аминокислот не нанесет вреда окружающей среде) | Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию                     |
| С3. Более низкая стоимость (простое приготовление и дешевые реагенты)                                     | Сл3.Выпускается больше бракованной продукции.                                 |
| С4. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.                            | Сл4. Высокие концентрации ингибиторов коррозии могут ускорить коррозию.       |
| <b>Возможности</b>  | <b>Угрозы</b>   |
| В1. Получайте сырье по более низкой цене через каналы сотрудничества                                      | У1.Могут быть компании, производящие аналогичную продукцию                    |
| В2. Получите инвестиции, рассказав инвестиционным институтам о преимуществах продукта.                    | У2.Нехватка средств   |
| В3. Появление потенциального спроса на новые разработки   | У3.Несчастные случаи, вызванные отказом оборудования на производстве          |
| В4. Привлекайте внимание и клиентов, посещая выставки.  |   |

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

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

|                                |
|--------------------------------|
| <b>Сильные стороны проекта</b> |
|--------------------------------|

|                                |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|
| <b>Возможности<br/>проекта</b> |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|                                | B1 | -  | -  | +  | -  |
|                                | B2 | -  | +  | +  | -  |
|                                | B3 | -  | +  | -  | +  |
|                                | B4 | +  | +  | +  | -  |

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

|                                |    |     |     |     |     |
|--------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Слабые стороны проекта</b>  |    |     |     |     |     |
| <b>Возможности<br/>проекта</b> |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|                                | B1 | -   | -   | -   | -   |
|                                | B2 | -   | +   | -   | -   |
|                                | B3 | -   | -   | -   | -   |
|                                | B4 | -   | -   | -   | -   |

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

|                                |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|
| <b>Сильные стороны проекта</b> |    |    |    |    |    |
| <b>Угрозы<br/>проекта</b>      |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|                                | У1 | -  | +  | -  | +  |
|                                | У2 | -  | -  | -  | -  |
|                                | У3 | -  | -  | -  | -  |

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

|                               |    |     |     |     |     |
|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Слабые стороны проекта</b> |    |     |     |     |     |
| <b>Угрозы<br/>проекта</b>     |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|                               | У1 | -   | -   | -   | -   |
|                               | У2 | -   | +   | -   | -   |
|                               | У3 | -   | -   | +   | -   |

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>C1. Короткое время изготовления (простой процесс, быстрая циркуляция продукта)</p> <p>C2. Экологичность технологии (приготовление и использование аминокислот не нанесет вреда окружающей среде)</p> <p>C3. Более низкая стоимость (простое приготовление и дешевые реагенты)</p> <p>C4. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p>  | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию</p> <p>Сл3. Выпускается больше бракованной продукции.</p> <p>Сл4. Высокие концентрации ингибиторов коррозии могут ускорить коррозию.</p> |
| <p><b>Возможности</b></p> <p>V1. Получайте сырье по более низкой цене через каналы сотрудничества</p> <p>V2. Получите инвестиции, рассказав инвестиционным институтам о преимуществах продукта.</p> <p>V3. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>V4. Привлекайте внимание и</p> | <p><b>Направления развития</b></p> <p>V1C3. Получить более дешевое сырье.</p> <p>V2C2C3. Он привлекает инвестиции инвесторов из-за его низкой стоимости и защиты окружающей среды.</p> <p>V3C2C4. Улучшайте существующие технологии, получайте более качественные продукты и получайте больше потенциальных клиентов.</p> <p>V4C1C2C3. Благодаря преимуществам короткого времени производства, низкой стоимости и защиты окружающей среды, продукты могут участвовать в выставке и завоевывать больше рынков.</p> | <p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>V1Cл3. Поскольку для производства продукции требуется большое количество оборудования, требуются инвестиции.</p>  |

|   |  |   |
|---|--|---|
| клиентов, посещающих выставки.  |  |   |
| <b>Угрозы</b><br>У1. Могут быть компании, производящие аналогичную продукцию<br>У2. Нехватка средств<br>У3. Несчастные случаи, вызванные отказом оборудования на производстве | <b>Угрозы развития</b><br>У1С2С4. Могут существовать компании, производящие аналогичную продукцию с использованием новейших экологически чистых технологий для проекта разработки. | <b>Уязвимости:</b><br>У2Сл2. Не хватает средств из-за высоких требований к экспериментальному оборудованию.<br>У3Сл3. Отказы оборудования на производстве приводят к увеличению выпуска бракованной продукции |

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

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы   | № раб | Содержание работ  | Должность исполнителя         |
|--|-------|---|-------------------------------|
| Разработка технического задания                          | 1     | Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | Научный руководитель          |
|  | 2     | Календарное планирование выполнения работ                                 | Инженер, научный руководитель |
| Выбор способа решения поставленной задачи                | 3     | Обзор научной литературы  | Инженер                       |
|  | 4     | Выбор методов исследования  | Инженер                       |
| Теоретические и экспериментальные исследования           | 5     | Планирование эксперимента   | Инженер, научный руководитель |
|  | 6     | Подготовка образцов для эксперимента                                      | Инженер                       |
|  | 7     | Проведение эксперимента   | Инженер                       |
| Обобщение и оценка результатов                           | 8     | Обработка полученных данных   | Инженер                       |
|  | 9     | Оценка правильности полученных результатов                                | Инженер, Научный руководитель |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР) | 10    | Составление пояснительной записки   | Инженер                       |

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы | Трудоёмкость работ  |       |                     |       |                      |       | Длительность работ в рабочих днях<br>$T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях<br>$T_{ki}$ |
|-----------------|---------------------|-------|---------------------|-------|----------------------|-------|---|---|
|                 | $t_{min}$ , чел-дни |       | $t_{max}$ , чел-дни |       | $t_{ожид}$ , чел-дни |       |   |   |
|                 | Исп.1               | Исп.2 | Исп.1               | Исп.2 | Исп.1                | Исп.2 |   |   |
| 1               | 2                   | 3     | 4                   | 5     | 6                    | 7     | 8   | 9   |

|   |          |           |           |           |           |             |           |            |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1.Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | 2        | -         | 4         | -         | 2,8       | -           | 2,8       | 4          |
| 2.Календарное планирование выполнения работ                                 | 1        | 3         | 3         | 4         | 1,8       | 3,4         | 3,4       | 5          |
| 3.Обзор научной литературы  |          | 6         | -         | 8         | -         | 6,8         | 6,8       | 10         |
| 4.Выбор методов исследования  | -        | 3         | -         | 5         | -         | 3,8         | 3,8       | 6          |
| 5.Планирование эксперимента   | 2        | 6         | 4         | 8         | 2,8       | 6,8         | 6,8       | 10         |
| 6.Подготовка образцов для эксперимента                                      | -        | 5         | -         | 7         | -         | 5,8         | 5,8       | 9          |
| 7.Проведение эксперимента   | -        | 10        | -         | 20        | -         | 14          | 14        | 21         |
| 8.Обработка полученных данных   | -        | 10        | -         | 15        | -         | 12          | 12        | 18         |
| 9.Оценка правильности полученных результатов                                | 2        | 3         | 4         | 6         | 2,8       | 3,8         | 3,8       | 6          |
| 10.Составление пояснительной записки  | 1        | 8         | 2         | 10        | 1,8       | 8,8         | 8,8       | 13         |
| <b>Итого:</b>   | <b>8</b> | <b>54</b> | <b>17</b> | <b>83</b> | <b>12</b> | <b>65,2</b> | <b>68</b> | <b>102</b> |

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

| №  | Вид работ   | Исп          | $T_{ki}$ ,<br>кал.<br>дн. | Продолжительность работ |   |        |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
|----|---|--------------|---------------------------|-------------------------|---|--------|------|---|---|-----|---|--------|-----|---|---|---|
|    |   |              |                           | февр                    |   |        | март |   |   | апр |   |        | май |   |   |   |
|    |   |              |                           | 1                       | 2 | 3      | 1    | 2 | 3 | 1   | 2 | 3      | 1   | 2 | 3 |   |
| 1  | Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | Исп1         | 4                         | ▨                       |   |        |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 2  | Календарное планирование выполнения ВКР                                   | Исп1<br>Исп2 | 4                         | ▨<br>■                  |   |        |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 3  | Обзор научной литературы  | Исп2         | 8                         |                         | ■ |        |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 4  | Выбор методов исследования  | Исп2         | 5                         |                         |   | ■      |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 5  | Планирование эксперимента   | Исп1<br>Исп2 | 8                         |                         |   | ▨<br>■ |      |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 6  | Подготовка образцов для эксперимента                                      | Исп2         | 7                         |                         |   |        | ■    |   |   |     |   |        |     |   |   |   |
| 7  | Проведение эксперимента   | Исп2         | 20                        |                         |   |        |      | ■ | ■ | ■   |   |        |     |   |   |   |
| 8  | Обработка полученных данных   | Исп2         | 15                        |                         |   |        |      |   |   |     | ■ | ■      |     |   |   |   |
| 9  | Оценка правильности полученных результатов                                | Исп1<br>Исп2 | 6                         |                         |   |        |      |   |   |     |   | ▨<br>■ |     | ▨ |   |   |
| 10 | Составление пояснительной записки   | Исп2         | 10                        |                         |   |        |      |   |   |     |   |        |     |   | ■ | ■ |

Примечание:

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

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

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

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

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении образца, нанесенного с покрытием НЧ ZnO. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение образца, нанесенного с покрытием НЧ ZnO.

| Наименование статей                | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Итого затраты, руб. |
|------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------|
| Нано порошок ZnO                   | кг                | 0,015г     | 10660             | 1,6                 |
| Акриловый лак                      | л                 | 0,01       | 932               | 9,32                |
| Порошок цинка азотнокислый, кг.    | кг                | 0,295      | 1900              | 580,21              |
| Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72 | л                 | 1          | 14                | 14                  |
| Мыло туалетное                     | шт.               | 1          | 35                | 35                  |

|   |     |   |    |        |
|---|-----|---|----|--------|
| ГОСТ 28546- 2002<br>ГОСТ 790-89                     |     |   |    |        |
| Перчатки резиновые,<br>технические<br>ГОСТ 20010-93 | пар | 1 | 12 | 12     |
| <b>Итого:</b>                                       |     |   |    | 652,13 |

#### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

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

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

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

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

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

| № п/п | Наименование оборудования                  | Кол-во ед. | Срок полезного | Время использования, мес. | $H_A$ , % | Цена оборудования, руб. | Амортизация |
|-------|--|------------|----------------|---------------------------|-----------|-------------------------|-------------|
| 1     | 2  | 3          | 4              | 5                         | 6         | 7                       | 8           |
| 1     | Аналитические весы<br>Acculab<br>ALC-110d4 | 1          | 11             | 0,98                      | 9,1       | 90000                   | 66,89       |

|               |  |               |   |      |      |         |       |
|---------------|--|---------------|---|------|------|---------|-------|
| 2             | Ультразвуковая ванна<br>ГРАД 28-35                       | 1             | 6 | 0,6  | 16,7 | 8800    | 73,48 |
| 3             | Компьютеры ASUS  | 1             | 8 | 2    | 12,5 | 70000   | 1400  |
| 4             | Мультиметр<br>VC980CA+                                   | 1             | 6 | 0,98 | 16,7 | 1250    | 17,05 |
| 5             | Нано Распылительная<br>Сушилка Nanospray<br>Drying B- 90 | 1             | 8 | 1,33 | 12,5 | 7000000 | 96979 |
| 6             | Потенциостат corrttest<br>cs310                          | 1             | 8 | 2    | 12,5 | 700000  | 14583 |
| <b>Итого:</b> |  | 13119,42 руб. |   |      |      |         |       |

#### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

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

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

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

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

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

Должностной оклад работника за месяц:

–для руководителя:

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

–для инженера:

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

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

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

| Исполнители<br>НИ | $Z_{мс}, руб$ | $k_{пр}$ | $k_{д}$ | $k_{р}$ | $Z_{м}, руб$ | $Z_{осн}, руб$ | $T_p, раб.дн.$ | $Z_{осн}, руб$ |
|-------------------|---------------|----------|---------|---------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Руководитель      | 26300         | 0,3      | 0,2     | 1,3     | 51285        | 2147,3         | 12             | 25767,6        |
| Инженер           | 17000         | 0,3      | 0,2     | 1,3     | 33150        | 1743,1         | 65,2           | 113650,12      |
| Итого:            |               |          |         |         |              |                |                | 139417,72      |

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 25767,6 = 3865,14 \text{ руб} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 113650,12 = 17047,52 \text{ руб} \quad (4.13)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

–для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{бон}) = 0,3 \times (25767,6 + 3865,14) = 8889,82 \text{ руб} \quad (4.14)$$

–для инженера:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{бон}) = 0,3 \times (113650,12 + 17047,52) = 39209,29 \text{ руб} \quad (4.15)$$

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

#### 4.3.5 Накладные расходы

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

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

| Статьи      |                  |                           |                                 |                                |                              |
|-------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1           | 2                | 3                         | 4                               | 5                              | 6                            |
| Амортизация | Сырье, материалы | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Итого без накладных расходов |
| 113119,42   | 652,13           | 139417,72                 | 20912,66                        | 48099,11                       | 322201,04                    |

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

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

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

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (113119,42 + 652,13 + 139417,72 + 20912,66 + 48099,11) \times 0,2 = 322201,04 \times 0,2 = 64440,21$$

руб

#### 4.3.6 Бюджет НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат расчетным институтом была составлена плановая стоимость «ZnO нанометров, добавляемых в полимерное покрытие в качестве ингибитора коррозии для углеродистой стали» в виде,

приведенном в таблице 4.16. В таблице также приведены определения смет для двух конкурирующих исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

| №                 | Наименование статьи  | Сумма, руб.    |           |           | Примечание    |
|-------------------|--|----------------|-----------|-----------|---------------|
|                   |  | Текущий Проект | Исп.2     | Исп.3     |               |
| 1                 | Материальные затраты НИР                                     | 652,13         | 720,11    | 1678,36   | Пункт 4.2.3.1 |
| 2                 | Затраты на специальное оборудование                          | 113119,42      | 93889,12  | 151807,48 | Пункт 4.2.3.2 |
| 3                 | Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 139417,72      | 139417,72 | 139417,72 | Пункт 4.2.3.3 |
| 4                 | Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 20912,66       | 20912,66  | 20912,66  | Пункт 4.2.3.3 |
| 5                 | Отчисления во внебюджетные фонды                             | 48099,11       | 48099,11  | 48099,11  | Пункт 4.2.3.4 |
| 6                 | Накладные расходы  | 64440,21       | 60607,74  | 72383,07  | Пункт 4.2.3.5 |
| Бюджет затрат НИР |  | 322201,04      | 303038,72 | 361915,33 | Сумма ст. 1-6 |

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

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

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

—Ингибитор коррозии фирмы «ГРЕДРС» с пассиватором IC-V в качестве основного компонента

—Ингибиторы коррозии компании «Краско» с Ингибиритом в качестве основного компонента

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 322201,04$ руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 303038,72$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 361915,33$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{322201,04}{361915,33} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{303038,72}{361915,33} = 0,84$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{361915,33}{361915,33} = 1$$

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

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

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

| Объект исследования<br>Критерии             | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|---|-------------------------------|----------------|-------|-------|
| 1. Безопасность при использовании установки | 0,15                          | 4              | 4     | 4     |
| 2. Стабильность работы                      | 0,2                           | 4              | 4     | 4     |
| 3. Технические характеристики               | 0,2                           | 2              | 3     | 4     |
| 4. Механические свойства                    | 0,3                           | 5              | 3     | 3     |
| 5. Материалоёмкость                         | 0,15                          | 3              | 4     | 5     |
| ИТОГО                                       | 1                             | 3,75           | 3,5   | 3,85  |

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1}=0.15\cdot4+0,2\cdot4+0,2\cdot2+0,3\cdot5+0,15\cdot3=3,75$$

$$I_{p2}=0.15\cdot4+0,2\cdot4+0,2\cdot3+0,3\cdot3+0,15\cdot4=3,5$$

$$I_{p3}=0.15\cdot4+0,2\cdot4+0,2\cdot4+0,3\cdot3+0,15\cdot5=3,85$$

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

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

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{3,75}{0,89} = 4,21$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{3,5}{0,84} = 4,17$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{3,85}{1} = 3,85$$

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

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели  | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|----------------|-------|-------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 1              | 0,94  | 0,97  |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,75           | 3,5   | 3,85  |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 4,21           | 4,17  | 3,85  |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1              | 0,99  | 0,91  |

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

## **Выводы по разделу**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 96 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 18 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 322201,04 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,89, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,5 и 3,85;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,21, по сравнению с 4,17 и 3,85, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Чэнь Лянси. Ингибиторы коррозии стали на основе органических веществ и наночастиц / Чэнь Лянси ; науч. рук. Г. В. Лямина // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26-28 апреля 2022 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2022. — [С. 653-657].

2. Чэнь Лянси. Влияние добавки наночастиц оксида цинка на ингибирующие свойства акрилового лака от коррозии стали СТЗ / Чэнь Лянси., И. Н. Шевченко // Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения : сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции, Томск, 17–21 октября 2022 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2022. — [С. 303-306].

3. Чэнь Лянси. Оценка эффективности ингибитора коррозии на основе наночастиц оксида цинка и акрилового лака для инструментальной стали У8А / Чэнь Лянси., И. Н. Шевченко // XXIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых: Химия и химическая технология в XXI веке, Томск, 15-19 Мая 2023 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2023. — [С. 405-406].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Verkholtantsev V V. Chemically active coatings. // European coatings journal. – 2003. – Vol.10. – P. 32-37.
- 2 Mehdi Honarvar Nazari, Yan Zhang, Ali Mahmoodi, Gang Xu, Jiang Yu, Junliang Wu, Xianming Shi, Nanocomposite organic coatings for corrosion protection of metals: A review of recent advances, Progress in Organic Coatings. – 2022. – Vol.162
- 3 Ishita C, Saraswati KO, Priyanka, Veena D, Dalip S.S. Recent advances in epoxy coatings for corrosion protection of steel: Experimental and modelling approach-A review.// Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol.62. – P. 1658-1663
- 4 Kadhim A, Al-Amiery A A, Alazawi R, et al. Corrosion inhibitors. A review. // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2021. – Vol.10. – P. 54-67
- 5 Ma, I.A.W., Ammar, S., Kumar, S.S.A. et al. A concise review on corrosion inhibitors: types, mechanisms and electrochemical evaluation studies.// J Coat Technol Res. – 2022. – Vol.19. – P. 241-268
- 6 Nazeer, AA, Madkour, M, Potential Use of Smart Coatings for Corrosion Protection of Metals and Alloys: A Review. // J. Mol. Liq. – 2018. – Vol.253. – P. 11-12
- 7 Ammar, S, Iling, AWM, Ramesh, K, Ramesh, S. Development of Fully Organic Coating System Modified with Epoxidized Soybean Oil with Superior Corrosion Protection Performance. Prog. //Org. Coat. – 2020.– P. 140
- 8 Wonnie Ma, IA, Shafaamri, A, Kasi, R, Zaini, FN, Balakrishnan, V, Subramaniam, R, Arof, AK. Anticorrosion Properties of Epoxy/Nanocellulose Nanocomposite Coating. //Bioresources, – 2017. – Vol.12. – P. 2912-2929
- 9 ГОСТ 1435-99.Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия
- 10 ГОСТ 380-2005.Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
- 11 ГОСТ 10243-75.Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры
- 12 Yanhua Lei, Zhichao Qiu, Ning Tan, Hailiang Du, Dongdong Li, Jingrong Liu, Tao Liu, Weiguo Zhang, Xueting Chang, Polyaniline/CeO<sub>2</sub> nanocomposites as corrosion inhibitors for improving the corrosive performance of epoxy coating on carbon steel in 3.5% NaCl solution//Progress in Organic Coatings-2020.-Vol.139
- 13 R. Sharmila, N. Selvakumar, K. Jeyasubramanian. Evaluation of corrosion inhibition in mild steel using cerium oxide nanoparticles.//Materials Letters.– 2013. – Vol. 91. – P. 78-80

- 
- 14 Narenkumar, J., Parthipan, P., Madhavan, J. et al. Bioengineered silver nanoparticles as potent anti-corrosive inhibitor for mild steel in cooling towers. // *Environ Sci Pollut* . – 2018. – Vol. 25. – P. 5412–5420
- 15 Buraq T Sh AL-Mosawi, Mohammed M Sabri, Muhanad A Ahmed, Synergistic effect of ZnO nanoparticles with organic compound as corrosion inhibition.// *International Journal of Low-Carbon Technologies*. – 2021. – Vol. 16. – P. 429–435
- 16 Eman A. Khamis, Amal Hamdy, Rania E. Morsi. Magnetite nanoparticles/polyvinyl pyrrolidone stabilized system for corrosion inhibition of carbon steel.//*Egyptian Journal of Petroleum*. – 2018. – Vol. 27. – P. 919–926
- 17 Hongyu Cen, Chonggang Wu, Zhenyu Chen. N, S Co-doped carbon coated MnS/MnO/Mn nanoparticles as a novel corrosion inhibitor for carbon steel in CO<sub>2</sub>-saturated NaCl solution // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2021. – Vol. 630
- 18 Lei Y, Jiang Z N, Zeng X Q, et al. Preparation of ZIF-67@ DTMS NPs/Epoxy composite coating and its anti-corrosion performance for Q235 carbon steel in 3.5 wt.% NaCl solution. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2022.
- 19 Hui W. J.Xu, Xi.Du, H.Wang, Xu Cheng, Z.Du. Stretchable and self-healing polyurethane coating with synergistic anticorrosion effect for the corrosion protection of stainless steels.// *Progress in Organic Coatings*. – 2021.– P. 164
- 20 Rzajj D R, Ahmed N Y, Alhaboubi N. Coating Performance of SiO<sub>2</sub>/Epoxy Composites as a Corrosion Protector. // *Corrosion Science and Technology*. – 2022. – Vol.21. – P. 111-120
- 21 Wufang.Y, Weibin.F, Zutai.L, Yanping.Y. Guolong.M. Bo.Yu. Xiaowei Pei,Protection of mild steel with molecular engineered epoxy nanocomposite coatings containing corrosion inhibitor functionalized nanoparticles. // *Surface and Coatings Technology*. – 2021. – Vol.406
- 22 Tong Liu, Yu Liu, Yuwei Ye, Jingyu Li, Feng Yang, Haichao Zhao, Liping Wang,Corrosion protective properties of epoxy coating containing tetraaniline modified nano- $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,*Progress in Organic Coatings*. – 2019. – Vol.132. – P. 455-467
- 23 Ubong Eduok, Jerzy Szpunar. Eno Ebenso. Synthesis and characterization of anticorrosion zirconia/acrylic nanocomposite resin coatings for steel. // *Progress in Organic Coatings*. – 2019. – Vol.137
- 24 Caixia Sun, Jingjie Dai, Hongxia Zhang, Fengyun Zhang, Nianlong Zhang. Preparation and characterization of spherical titania and their influence on self-cleaning and

---

anticorrosion properties of acrylic resin. // *Progress in Organic Coatings*. – 2019. – Vol.128. – P. 21-31

25 Mohammad.T, Jingmao.Z, Anuj.K, Jiatong.Y. Jingbao.W, Fan.Shi, Jun.Z, Lijun.P, Muhammad.A.M, Ghulam.Y. Developing epoxy-based anti-corrosion functional nanocomposite coating with CaFe-Tolyl-triazole layered double hydroxide@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> as nanofillers on Q235 steel substrate against NaCl corrosive environment.//*Chemical Engineering Journal*. – 2022. – Vol.450.

26 Huaiyin Chen, Fangfang Wang, Huizhou Fan, Ruoyu Hong, Weihua Li. Construction of MOF-based superhydrophobic composite coating with excellent abrasion resistance and durability for self-cleaning, corrosion resistance, anti-icing, and loading-increasing research.//*Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Vol.408

27 Wu.J. Ji.G. Wu.Q. Preparation of epoxy/ZrO<sub>2</sub> composite coating on the Q235 surface by electrostatic spraying and its corrosion resistance in 3.5% NaCl solution // *RSC advances*. – 2022

28 Le Y., Hou P., Wang J., Chen J.-F. Controlled release active antimicrobial corrosion coatings with Ag/SiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles // *Materials Chemistry and Physics*. – 2010. – Vol. 120, Iss. 2. – P. 351-355

29 Ecco L.G., Fedel M., Deflorian F., Becker J. Iversen B.B., Mamakhel A. Waterborne acrylic paint system based on nanoceria for corrosion protection of steel // *Progress in Organic Coatings*. – 2016. – Vol. 96. – P. 19-25

30 María F.G, Marta R, Jessica G, Javier M, Development of anti-corrosive coatings for non-alloyed steels subjected to different real use conditions.// *Materials Today Communications*. – 2019. – Vol. 19.– P. 87-97

31 Huang J, Liu K, Song X, et al. Incorporation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GO, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@ GO nanoparticles into water-borne epoxy coatings: abrasion and corrosion resistance. // *RSC advances*. – 2022. – Vol. 12. – P.24804-24820

32 Jiang W, Jin X, Huan Li, Shiyu Zhang, Tao Zhou, Huasheng Xie. Modification of nano-hybrid silicon acrylic resin with anticorrosion and hydrophobic properties.//*Polymer Testing*. – 2020. – Vol.82

33 Ubong Eduok, Jerzy Szpunar, Eno Ebenso. Synthesis and characterization of anticorrosion zirconia/acrylic nanocomposite resin coatings for steel.// *Progress in Organic Coatings*. – 2019. – Vol. 137

34 R. Rajkumar, C. Vedhi, A study of corrosion protection efficiency of silica nanoparticles acrylic coated on mild steel electrode Vacuum. – 2019. – Vol.161.– P.1-4

- 
- 35 Hongwei Shi, Fuchun Liu, Lihong Yang, Enhou Han. Characterization of protective performance of epoxy reinforced with nanometer-sized TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>.// Progress in Organic Coatings. – 2008. – Vol.62.– P.359-368
- 36 Ehsan J, Mehdi G, Ghasem B, Peyman T. Photocatalytic, corrosion protection and adhesion properties of acrylic nanocomposite coating containing silane treated nano zinc oxide: A combined experimental and simulation study. // Progress in Organic Coatings. – 2019. – Vol.135.– P.496-509
- 37 Ning, J., Shi, P., Jiang, M. et al. Ce-doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles prepared by hydrothermal method used in corrosion-resistant field: effects of pH on the structure, morphology and chemical stability. //Appl. Phys. – 2021. – Vol.127
- 38 Xiaodan Wu, Jianbo Li, Chaoyi Deng, Lan Yang, Jie Lv, Luoping Fu, Novel carbon dots as effective corrosion inhibitor for N80 steel in 1 M HCl and CO<sub>2</sub>-saturated 3.5 wt% NaCl solutions//Journal of Molecular Structure-2021.-Vol.1250.
- 39 Xianghong Li, Shuduan Deng, Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> as an efficient corrosion inhibitor for cold rolled steel in citric acid solution//Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.-2021.- Vol.122.-P.273-283.
- 40 Ouakki M, Galai M, Cherkaoui M, et al. Inorganic compound (apatite doped by Mg and Na) as a corrosion inhibitor for mild steel in phosphoric acidic medium.// Anal. Bioanal. Electrochem. – 2018. – Vol.10. – P. 943-960
- 41 Badr Baach, Moussa Ouakki, Soumya Ferraa, Hanane Barebita, Mohammed Cherkaoui, Abderrazak Nimour, Taoufik Guedira. Experimental evaluation of new inorganic compounds based on bismuth oxide Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as corrosion inhibition for mild steel in acidic medium.//Inorganic Chemistry Communications.– 2022. – Vol.137.
- 42 Limco, R.A., Bacosa, H.P., Lubguban, A.A. et al. Morinda citrifolia (Noni) leaf extract as corrosion inhibitor for steel-reinforced concrete in saline environment. //Int. J. Environ. Sci. – 2020.– P. 4531–4540
- 43 D.M. Bastidas, M. Criado, V.M. La Iglesia, S. Fajardo, A. La Iglesia, J.M. Bastidas. Comparative study of three sodium phosphates as corrosion inhibitors for steel reinforcements.// Cement and Concrete Composites. – 2013. – Vol.43.– P. 31-38
- 44 Desmond.H, Sie H. L, Wai K.N. Reginald.BH.Tan. The nano spray dryer B-90 // Expert Opinion on Drug Delivery – 2011. – Vol.8. – P. 965-972
- 45 Nano Spray Dryer B-90 HP Operation manual [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.buchi.com](http://www.buchi.com), свободный.

---

46 Xiang .Li. Nicolas. A. Cordin.A. Fabrice.B. Thierry F. Vandamme, Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: The Büchi Nano Spray Dryer B-90 // Journal of Controlled Release.— 2010. – Vol.147. – P. 304-310

47 «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.09.03.2021)

48 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): Утверждены Федеральным государственным агентством «Центр экологического контроля и анализа» 4 сентября 2003 г. - Москва: Минприроды РФ, 2003. - 30 с

49 ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности

50 Правительства РФ от 12.08.98 N 938 (СЗ РФ. 1998. N 33. Ст. 4037).

51 ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 2016-07-01.

52 Оценка риска воздействия наноматериалов и наночастиц на организм человека: Методические рекомендации.—М.: Феде-ральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012.—79 с.

53 ГОСТ 30333-2007.Паспорт безопасности Паспорт безопасности.Общие требования.

54 ГОСТ 22269-76.Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

55 ГОСТ 12.2.032-78.Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

56 ГОСТ 12.2.033-78.Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

57 ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности (Переиздание)

58 ГОСТ Р 12.3.047-2012.Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

59 ГОСТ 12.0.003-2015.Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

60 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

- 
- 61 ГОСТ 12.4.011-89 (СТ СЭВ 1086-88) Система стандартов безопасности труда Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
- 62 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение
- 63 ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
- 64 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
- 65 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 66 ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения.
- 67 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 68 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)
- 69 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
- 70 ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
- 71 ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
- 72 ГОСТ Р 70280-2022. Охрана окружающей среды. Почвы. Общие требования по контролю и охране от загрязнения
- 73 Анциферова И.В. Источники поступления наночастиц в окружающую среду // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – №.2. – С. 54-66.
- 74 МР 1.2.0037—11. Контроль наноматериалов в воздухе. Методические рекомендации.
- 75 МР 1.2.0016-10 Методика классифицирования нанотехнологий и продукции наноиндустрии по степени их потенциальной опасности
- 76 ГОСТ 17.1.3.06-82 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод
- 77 ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения
- 78 ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения N 1 к ГН 2.1.5.1315-03

- 
- 79 МУ 2.1.7.1185-03. 2.1.7 Сбор, транспортирование, захоронение асбестосодержащих отходов
- 80 ГОСТ Р 22.0.01-2016.Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения
- 81 ГОСТ Р 22.0.07-95.Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций.Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров
- 82 ГОСТ 12.1.004-91.Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
- 83 ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
- 84 Федеральный закон 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
- 85 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 500 с
- 86 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: (СП 12.13130.2009): свод правил:утвержден Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. N 182. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 35 с
- 87 Российская Федерация. Постановление. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление от 31 декабря 2020 г. N 2398: [принят правительством РФ от 31.12.2020]. – Москва: Правительство РФ, 2020. – 11 с