



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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
ООП Химическая технология переработки нефти и газа
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии

УДК 622.692.4:620.193

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Мухина Екатерина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Белинская Наталия Сергеевна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес Ольга Ефимовна	к.т.н.		

Томск – 2023 г.



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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
ООП Химическая технология переработки нефти и газа
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Д92	Мухиной Екатерине Сергеевне

Тема работы:

Разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии

Утверждена приказом директора (дата, номер) №30-98/с от 30.01.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы: 31.05.2023 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования – процесс эксплуатации нефтепроводов.

Исходные данные: компонентный состав нефти, физико-химические свойства нефти, технологические параметры процесса перекачки нефти по нефтепроводу, характеристики нефтепровода.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Обзор литературы 1.1 Причины выхода из строя трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов 1.1.1 Механизм процесса коррозии металлов при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам 1.2 Мероприятия по защите трубопроводов от коррозии 1.2.1 Мероприятия по защите металлов от коррозии 1.3 Математические модели процесса коррозии 1.4 Постановка цели и задач исследования 2 Объект и метод исследования 2.1 Объект исследования 2.2 Метод исследования 3 Расчеты и аналитика 3.2 Разработка математической модели процесса коррозии 3.3 Программная реализация математической модели 4 Результаты разработки 4.1 Влияние содержания воды в нефти на скорость коррозии 4.2 Влияние содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии 4.3 Влияние содержания диоксида углерода в нефти на скорость коррозии 4.4. Влияние расхода нефти на скорость коррозии</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Креницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>22.02.2023 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Белинская Наталия Сергеевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Мухина Екатерина Сергеевна		



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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
ООП Химическая технология переработки нефти и газа
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
Уровень образования Бакалавр
Отделение химической инженерии
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2022 /2023 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: 31.05.2022 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.03.2023	Обзор литературы	20
04.04.2023	Объект и методы исследования	20
25.04.2023	Расчеты и аналитика	20
12.05.2023	Результаты разработки	10
20.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
27.05.2023	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Белинская Наталия Сергеевна	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес Ольга Ефимовна	к.т.н., доцент		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 18.03.01 «Химическая
технология «Технология подготовки и переработки нефти и газа»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности
УК(У)-9	способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции

ПК(У)-2	готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	способностью анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	готовность использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	готовность изучать научно-техническую информацию отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д92	Мухина Екатерина Сергеевна

Школа	ИШПР	Отделение	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология «Технология подготовки и переработки нефти и газа»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка отчислений на социальные нужды – 30%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования получения поливинилхлорида суспензионным способом
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НИ 4. Определение бюджета НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2023
---	------------

Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	Кандидат технических наук		01.03.2023

Задание принял к исполнению студент:			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Мухина Екатерина Сергеевна		01.03.2023

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
2Д92		Мухина Екатерина Сергеевна	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология «Технология подготовки и переработки нефти и газа»

Тема ВКР:

Разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> производственный процесс эксплуатации магистральных трубопроводов.</p> <p><i>Область применения:</i> образовательные учреждения, нефтедобывающее месторождение, нефтеперерабатывающий завод.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> компьютерная аудитория ТПУ (ауд. 133)</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 6 x 5 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> разработка математической модели процесса с использованием персонального компьютера</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Технический перерыв, организация рабочего места и правила работы. (ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере; ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре). Нормативные документы: <ul style="list-style-type: none"> – СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Освещение; – СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха); – ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности; – ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; – ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление; – ГОСТ Р 56397-2015. Техническая экспертиза работоспособности радиоэлектронной аппаратуры, оборудования информационных технологий, электрических машин и приборов. Общие требования; – Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности; – ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
---	---

<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p>	<p>Анализ вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Повышенный уровень шума; – Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона; – Перенапряжение зрительного анализатора; – Умственное перенапряжение. <p>Анализ опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожарная опасность; – Поражение электрическим током; <p>Основные средства защиты: халаты, перчатки, защитные очки, респираторы. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p>	<p>Воздействие на литосферу оказывают влияние загрязнение почв исходными химическими веществами и продуктами реакции, а также отходы, образующиеся при выполнении работ: макулатура, пластик, отработанные люминесцентные лампы и т.д</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар вследствие неисправности рабочего оборудования; – природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган, лесные пожары и т.д.); – геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); – происшествие социального характера (террористический акт) <p>Наиболее типичная ЧС: пожар вследствие неисправности рабочего оборудования (ПК, проводки).</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Мухина Екатерина Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 с., 30 рис., 24 табл., 56 источников.

Ключевые слова: НЕФТЕПРОВОД, КОРРОЗИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Объект исследования – процесс эксплуатации нефтепроводов.

Цель работы – разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии.

Основной метод исследования – метод математического моделирования.

В результате работы установлены физико-химические закономерности процесса коррозии, получена математическая модель, учитывающая реакции электрохимической, сероводородной и углекислотной коррозии стенок нефтепроводов; определены кинетические параметры для данных реакций при составе, свойствах, технологических параметрах процесса перекачки нефти и характеристиках нефтепровода одного из нефтегазовых месторождений; составлена система уравнений математической модели процесса; математическая модель реализована в виде прикладного программного обеспечения.

Основные технико-эксплуатационные характеристики: разработанное прикладное программное обеспечение является универсальным (может применяться для широкого диапазона изменения содержания коррозионно-активных примесей в нефти, свойств нефти, технологических параметров процесса перекачки, характеристик нефтепровода), обладает высокой точностью расчетов (погрешность не превышает 2 %).

Рекомендации по внедрению результатов работы: проведение прогнозных расчетов технического состояния нефтепроводов (по толщине стенки и степени износа) в реальном времени их эксплуатации при транспорте нефти в границах месторождения и по магистральным нефтепроводам.

Степень внедрения: результаты работы апробированы на одном из нефтегазовых месторождений.

Область применения: нефтегазовые месторождения, магистральные нефтепроводы.

Экономическая эффективность достигается за счет планирования даты выхода из строя нефтепровода и, исходя из этого, даты его замены, что позволяет исключить непрогнозируемые выходы из строя нефтепроводов и простои оборудования установок первичной подготовки нефти и магистральных нефтепроводов, приводящие к возникновению потеряннй прибыли.

Объект исследования планируется развивать в следующих направлениях: дополнение модели закономерностями отложения солей на стенках нефтепроводов, закономерностями влияния механических примесей, закономерностей влияния ингибиторов коррозии с перспективами учета большего количества факторов, влияющих на техническое состояние нефтепроводов, подбора наиболее подходящего для конкретной нефти ингибитора и определения оптимального количества подаваемого в нефтепровод ингибитора коррозии в зависимости от содержания коррозионно-активных примесей в нефти, свойств нефти, технологических параметров процесса перекачки, характеристик нефтепровода с целью избежания его экономически-необоснованного перерасхода.

Содержание

Введение.....	14
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	18
1 Обзор литературы	19
1.1 Причины выхода из строя трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов.....	19
1.1.1 Механизм процесса коррозии металлов при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам	22
1.2 Мероприятия по защите трубопроводов от коррозии.....	26
1.2.1 Мероприятия по защите металлов от коррозии.....	26
1.3 Математические модели процесса коррозии	27
1.4 Постановка цели и задач исследования.....	36
2 Объект и метод исследования.....	38
2.1 Объект исследования	38
2.2 Методы исследования.....	40
3 Расчеты и аналитика	44
3.1 Разработка схемы химических превращений в процессе коррозии	44
3.2 Разработка математической модели процесса коррозии	46
3.3 Программная реализация математической модели.....	47
4 Результаты разработки	51
4.1 Влияние содержания воды в нефти на скорость коррозии.....	51
4.2 Влияние содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии.....	52
4.3 Влияние содержания диоксида углерода в нефти на скорость коррозии	54
4.4. Влияние расхода нефти на скорость коррозии	56
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 58	
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	58
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	60
5.1.3 SWOT – анализ.....	61
5.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию	64

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	64
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	66
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	69
5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ	69
5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	70
5.2.8 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	74
5.2.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
5.2.10 Накладные расходы	75
5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	76
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	76
6 Социальная ответственность	80
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	81
6.2 Производственная безопасность	82
6.2.1 Анализ вредных факторов.....	82
6.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	83
6.3 Экологическая безопасность.....	88
6.3.1 Воздействие на литосферу	89
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
Заключение	91
Список использованных источников	92

Введение

С целью обеспечения непрерывной транспортировки нефтепродуктов на трубопроводном транспорте необходимо постоянное технологическое обслуживание. Однако, высоких гарантий от появления протечек на наиболее опасных участках трубопроводов не существует. Обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводов является одной из значимых целей в нефтегазовой отрасли, которое осуществляется при помощи систем непрерывного мониторинга и оперативного реагирования.

При анализе литературы в области транспорта нефти и нефтепродуктов по трубопроводам выявлено, что одной из основных проблем при эксплуатации трубопроводов, приводящей к негативным экономическим и экологическим последствиям, является их быстрый, сложно прогнозируемый выход из строя. Выход трубопроводов из строя происходит вследствие различных дефектов трубопроводов, таких как брак строительно-монтажных работ, механические повреждения, дефекты, связанные с протеканием физико-химических процессов коррозии.

Теоретические и прикладные аспекты организационно-технологических процессов на транспорте разрабатывались В.Г. Аковецким, В.Д. Верескуном, Р.С. Гаспарянц, А.П. Дементьевым, Б.Л. Житморским, А.Г. Коржубаевым, В.К. Липским, А.С. Лопатиным, А.Ф. Максименко, В.М. Пермяковым, В.Е. Селезневым, Л.В. Эдером и др.

Вопросы теоретической разработки и реализации методик технического диагностирования объектов трубопроводного транспорта с применением метода акустической эмиссии рассмотрены в работах В.А. Барат, О.В. Башкова, С.А. Бехера, Г.А. Бигуса, С.И. Буйло, И.Ю. Быкова, В.И. Иванова, Н.А. Махутова, Д.Л. Мерсона, В.В. Носова, А.А. Поллока, Л.Н. Степановой, R.L. Reuben и др.

Авторы описывают различные методы диагностики выхода из строя трубопроводов, такие как магнитооптическая дефектоскопия, ультразвуковая диагностика, мониторинг на основе нейронных сетей, акустической эмиссии,

внутритрубная диагностика, визуально-измерительный. Однако данные методы обладают рядом недостатков, а именно низкая производительность, недостаточная проработанность методик обеспечения, которая отвечает за обработку и оценку результатов обследования; недостаточный уровень автоматизации процессов.

Несмотря на значительное количество теоретических и практических исследований в области производственных процессов на трубопроводном транспорте, вопросы эффективного и доступного управления и организации производственным процессом не получили подробного освещения и возможности реализации. Существующие технологии не позволяют определить предотказное состояние магистральных трубопроводов в режиме реального времени, что напрямую влияет на безопасность и экологичность процесса эксплуатации магистральных трубопроводов.

В ходе обзора литературы и анализа технической документации по опыту эксплуатации трубопроводов одной из российских нефтяных компаний выявлено, что наибольшее влияние на срок службы трубопроводов оказывают физико-химические процессы коррозии стенок трубопроводов.

Накопленный опыт эксплуатации трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов позволяет обобщить и проанализировать имеющиеся данные, выявить закономерности протекающих процессов, описать их в виде математической модели и разработать на ее основе методику прогнозирования технического состояния магистральных нефтепроводов.

Таким образом, с учетом вышесказанного, в данной работе поставлена следующая цель – разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ теоретических и экспериментальных данных по характеристикам нефтепровода, подверженного непрерывному мониторингу с

целью выявления взаимосвязей регистрируемых параметров на показатели технического состояния трубопровода и описать объект исследования;

2. Обосновать выбор метода исследования – метода математического моделирования – для решения поставленной задачи;

3. Выявить физико-химические закономерности процесса коррозии стенок нефтепроводов;

4. Описать выявленные закономерности в виде уравнений математической модели;

5. Провести оценку адекватности модели по экспериментальным данным;

6. Провести исследование влияния содержания коррозионно-активных примесей в нефти и расхода нефти на скорость коррозии.

Объект исследования – процесс эксплуатации нефтепроводов.

Предмет исследования – закономерности процесса коррозии, приводящего к выходу из строя нефтепроводов в ходе их эксплуатации.

Основной метод исследования – метод математического моделирования.

Научная значимость результатов работы: установлены физико-химические закономерности процесса коррозии, получена математическая модель, учитывающая реакции электрохимической, сероводородной и углекислотной коррозии стенок нефтепроводов; получены кинетические параметры для данных реакций при составе, свойствах, технологических параметрах процесса перекачки нефти и характеристиках нефтепровода одного из нефтегазовых месторождений; составлена система уравнений математической модели процесса; математическая модель реализована в виде прикладного программного обеспечения.

Практическая значимость результатов работы: разработанное прикладное программное обеспечение является универсальным (может применяться для широкого диапазона изменения содержания коррозионно-активных примесей в нефти, свойств нефти, технологических параметров

процесса перекачки, характеристик нефтепровода), обладает высокой точностью расчетов (погрешность не превышает 2 %) и может использоваться для проведения прогнозных расчетов технического состояния нефтепроводов (по толщине стенки и степени износа) в реальном времени его эксплуатации при транспорте нефти в границах месторождения и по магистральным нефтепроводам.

Внедрение предложенной методики и прикладного программного обеспечения позволит повысить экономическую эффективность за счет планирования даты выхода из строя нефтепровода и, исходя из этого, даты его замены, что позволяет исключить непрогнозируемые выходы из строя нефтепроводов и простои оборудования установок первичной подготовки нефти и магистральных нефтепроводов, приводящие к возникновению потерянной прибыли.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

коррозия: Самопроизвольное разрушение элементов, чаще всего металлов, под действием химического или физико-химического влияния окружающей среды.

моделирование химико-технологической системы: Количественный анализ процессов нефтехимии и нефтепереработки с помощью создания математических моделей.

Сокращения, обозначения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

УПН – управление подготовки нефти

ГС – газовый сепаратор

ТФС – трехфазный сепаратор

ЭД – электродегидратор

УУЛФ – установка улавливания легких фракций

СИКН – система измерения контроля и качества нефти

УПОГ – узел предварительного отбора газа

1 Обзор литературы

В арктических регионах, где присутствует вечная мерзлота, используются как подземные, так и надземные трубопроводы, что обуславливает пагубное и разрушительное воздействия на материалы, из которых изготовлены трубы [1].

Подземные трубопроводы используются в большей мере по причине наблюдения совсем небольшого влияния температуры окружающей среды на стенки труб, также уменьшается возможность повреждения за счет внешних сил, таких как наземный транспорт, животные, ветер. Но подземная укладка трубопроводов не рекомендуется в районах вечной мерзлоты по причине возможного оттаивания грунта вокруг трубопровода, в последствии приводящая к смещению и деформации участков трубы [2]. Данное ограничение связано с тем, что продукт транспортируется при довольно высоких температурах.

Пагубное воздействие некоторых элементов на трубопровод может вызвать коррозию, что приведет к уменьшению толщины стенок трубопровода и тем самым поставит под угрозу всю систему. Чтобы избежать этого, необходимо использовать защитные методы, которые обеспечат предотвращение возникновения износа.

1.1 Причины выхода из строя трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов

Как правило, разрушение трубопровода происходит по таким причинам, как механические повреждения и заводские дефекты, особенности воздействия рельефа и температур окружающей среды, коррозия, нарушение правил технической эксплуатации трубопроводов.

Большая часть дефектов (90%) трубопроводов приходится на физико-химические процессы, такие как коррозия [3]. В промышленно развитых странах коррозия и потери металла могут составлять в среднем 3–5% и 20% в год соответственно. Такие потери одновременно приводят к быстрому износу

используемого оборудования и являются причиной больших затрат финансовых ресурсов [4].

Металлические материалы могут быть подвержены разрушению в результате химических или электрохимических реакций с окружающей средой. Этот процесс получил название коррозии [5,6]. Термодинамическая нестабильность металлов является основным фактором, приводящим к возникновению коррозии, что означает, что в естественной среде металлы обычно находятся в окисленном состоянии [7].

Основными видами коррозионного повреждения нефтегазопроводов в сероводородсодержащих средах являются [8]:

- местная коррозия;
- сероводородное коррозионное растрескивание под напряжением;
- водородное (водородно–индуцированное) растрескивание;
- малоцикловая коррозионная усталость.

Согласно В.Н. Колесниченко, углеродистые и низколегированные стали, подвергающиеся воздействию влажного газа, содержащего нефть, имеют значительную общую коррозию со скоростью от 0,5 до 2,00 мм/год [9]. Можно уменьшить сульфидное растрескивание труб путем выбора марок стали, устойчивых к этому явлению, при этом уровень эффективного напряжения (по отношению к пределу текучести) должен поддерживаться в определенных пределах. Однако пагубное воздействие суровой окружающей среды все равно будет вызывать относительно равномерное коррозионное повреждение стенки трубы [10]. Воздействие внутреннего давления и других сил может привести к истончению стенки трубы, что увеличивает механическое напряжение. Это, в свою очередь, ускоряет коррозию. Изменение уровня механического напряжения и общая скорость коррозии приводят к быстрому снижению способности выдерживать нагрузки и сокращению срока службы трубопровода.

В зависимости от того, какой характер носят обусловленные коррозией разрушения, коррозия может быть классифицирована следующим образом [11,12]:

1. Равномерная коррозия характеризуется равномерным распространением по поверхности металла. Также известна как общая коррозия. Примером является ржавление железа и потускнение серебра;

2. Локальная коррозия сосредоточена в определенных областях и может проявляться в виде:

– пятен, которые имеют относительно небольшую глубину, но покрывающих большую площадь;

– язв, при которых наблюдаются глубокие поражения, покрывающие небольшую площадь (коррозионные поражения имеют приблизительно равную длину и глубину);

– точек, размеры которых меньше тех, что наблюдаются при язвенных поражениях. Данный подвид локальной коррозии также известен как питтинговая коррозия ($h \gg D$);

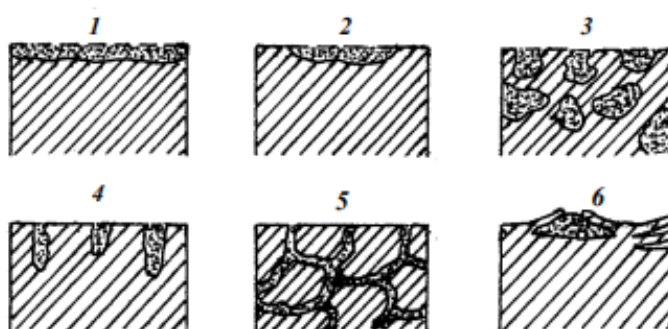
3. Сегрегированная, или избирательная. При этом виде коррозии компоненты сплава могут быть селективно разделены, в результате чего образуется пористое вещество, которое сохраняет свою первоначальную форму и выглядит невредимым;

4. Межкристаллитная коррозия. Для этого вида коррозии характерно разрушение, которое происходит по кромке кристаллитов, или металлических зерен. Отличительной особенностью данного процесса является его высокая скорость протекания. Межкристаллическая коррозия приводит к возникновению критических повреждений;

5. Транскристаллитная коррозия. Коррозийный процесс здесь наблюдается одновременно внутри и снаружи кристаллита. Среди всех видов коррозии этот является самым сложным и разрушительным;

6. Коррозионное растрескивание. Этот вид коррозии имеет место в случае, если в коррозионной среде приложено напряжение растяжения на

металл. Коррозийный процесс сопровождается абсорбцией водорода, что в свою очередь и обуславливает возникновение растрескивания.



*Рис. 1. Виды коррозионных разрушений:
1 – равномерная; 2 – неравномерная; 3 – избирательная;
4 – коррозия точками (питтинг); 5 – межкристаллитная;
6 – подповерхностная*

Рисунок 1.1 – Виды коррозионных отложений [11]:

1 – равномерная; 2 – неравномерная; 3 – избирательная; 4– коррозия точками; 5– межкристаллитная; 6 – подповерхностная

Для достижения цели данной работы – разработки методики прогнозирования технического состояния магистральных трубопроводов – будут учтены именно коррозионные процессы и решены задачи выявления закономерностей и моделирование этих процессов.

1.1.1 Механизм процесса коррозии металлов при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам

Среди наиболее часто встречающихся факторов, под действием которых происходит коррозия трубопровода, можно выделить: особенности стали (состояние ее поверхности, состав), скорость потока и химический состав воды, наличие контакта с водой или маслом, сульфидная и углекислотная коррозии (H_2S и CO_2 соответственно) [7]. Протекающие хотя бы в одном из вышеперечисленных факторов изменения могут оказать резкое влияние на скорость коррозии в результате изменения свойств тонкого покрытия побочных продуктов коррозии, образующихся на поверхности стали. В местах, где присутствует застойная вода, местная, или локальная

коррозия может быть вызвана бактериями (микробиологически индуцированная коррозия).

В зависимости от механизма своего образования коррозия может быть классифицирована следующим образом:

1. Атмосферная коррозия в наружной среде, которая не связана с электричеством, известна как химическая коррозия. Последствия этого вида коррозии обычно минимальны и могут быть эффективно нейтрализованы с помощью лаков, масляных красок или защитных покрытий на пораженной поверхности. [11,12].

2. Электрохимическая коррозия сталей в водной среде вызывается электрическим током, протекающим между различными участками поверхности (анодной и катодной областями). Это явление принято называть электрохимической коррозией.

Способность металлов участвовать в электрохимических процессах можно оценить по стандартному электродному потенциалу (E^0). На основе значения E^0 формируется ряд напряжений, который отражает уровень активности металлов. Этот ряд выглядит следующим образом: К, Са, Mg, Al, Mn, Zn, Fe, H, Cu.

Каждый металл будет вытеснять из водных солевых растворов любые другие металлы, расположенные справа от него в порядке активности.

Стадии коррозионного процесса выглядят следующим образом.

Окислительная реакция на аноде [11]:

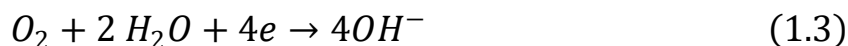


Атомы железа растворяются в растворе в виде катионов Fe^{2+} , что приводит к анодному растворению металла и, следовательно, к коррозии, которая проникает глубоко в материал.

Восстановительная реакция на катоде [11]:



Происходит ионизация $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$ молекул кислорода с образованием гидроксильных ионов в зависимости от величины рН среды: если $\text{pH} < 4,3$ то в то образуется молекулярный водород, если $\text{pH} > 4,3$ то в результате взаимодействие электронов с кислородом, растворенным в воде, образуются активные гидроксильные группы [11]:



Далее, катионы Fe^{2+} и ионы OH^- взаимодействуют с образованием закиси железа (рисунок 2) [11]:

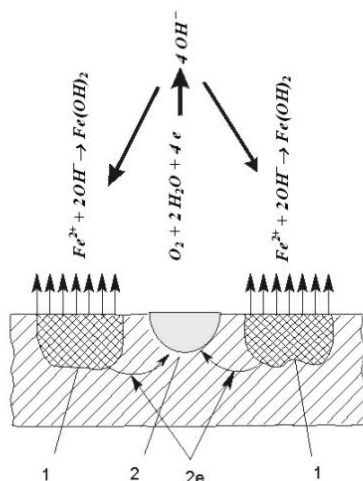
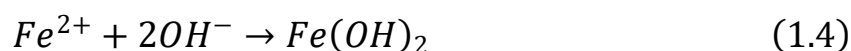
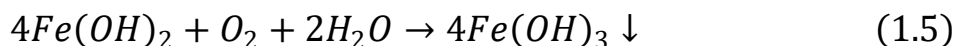


Рисунок 1.2 – Электрохимическая коррозия [11]

Если в воде достаточно свободного кислорода, закись железа может окислиться до гидрата окиси железа, который выпадает в виде осадка [11]:



Электрический ток вызывает коррозию анода, в результате чего ионы Fe^{2+} попадают в поток воды или эмульсии. Эта коррозия может привести к образованию свищей, каверн и других повреждений в трубе.

3. Сероводородное коррозионное растрескивание (СКРН). Возникает под действием как внутренних (химический состав стали, ее прочность, термическая обработка и структура), так и внешних (концентрация сероводорода и углекислого газа в газе, общее давление газа и температура с течением времени) факторов.

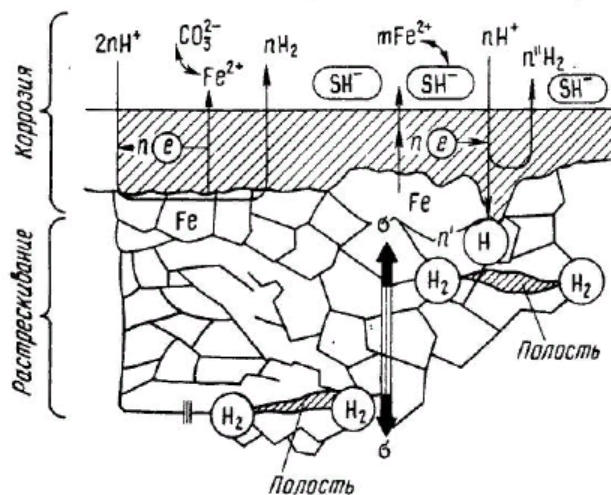
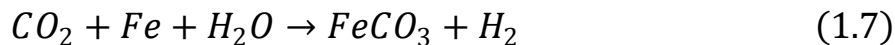


Рисунок 1.3 – Схема процесса коррозионного растрескивания стали в сероводородсодержащем природном газе [13]

Сульфиды образуют толстые слои, которые могут ингибировать поверхность стали, позволяя части атомарного водорода проникать глубоко в металл, а части – испаряться и рассеиваться в воздухе.

Можно выделить две основные реакции [13]:



Реакция (7) протекает в три этапа:

1) ионизация сероводорода в водном растворе с образованием ионов водорода и гидросульфида



2) ионизация железа и переход ионов в водный раствор (анодная реакция)



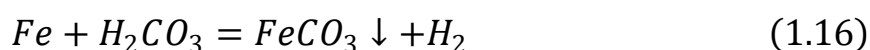
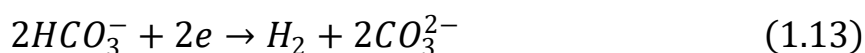
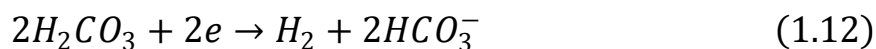
3) разряд ионов водорода с образованием атомарного водорода (катодная реакция)



4. Углекислотная коррозия. Суммарная реакция, происходящая при взаимодействии поверхности металла с углекислым газом (H_2CO_3), который образуется при растворении CO_2 в воде:



Основной коррозионный процесс описывается катодными (1.12–1.14) и анодными (1.15,1.16) реакциями:



В результате этих реакций на поверхности корродирующей стали образуются отложения продуктов коррозии – карбоната железа $FeCO_3$.

1.2 Мероприятия по защите трубопроводов от коррозии

1.2.1 Мероприятия по защите металлов от коррозии

В связи с увеличением количества влаги, износом оборудования и интенсификацией технологических процессов происходит усиление коррозии в условиях производства. Автор [15] изложил несколько подходов к противодействию физическому и химическому разрушению металлов, таких как покрытие изделий защитными антикоррозионными металлами, акриловые и полиуретановые покрытия, окраска металлических изделий красками и лаками, легирование металлов, применение специальных антикоррозионных материалов для изготовления оборудования и электрохимическая защита. Изучение вышеперечисленных способов позволит определить наиболее оптимальный и эффективный из них в борьбе с коррозией.

Присутствие сероводорода в нефтепродуктах представляет потенциальную опасность при переработке нефти, поскольку способствует накоплению сульфидов железа на внешних стенках труб, что может привести к образованию трещин и перфораций. Для борьбы с этой проблемой используются химические агенты, нейтрализующие сероводород и образующие химически стабильные соединения [16].

Отдельного рассмотрения заслуживает катодная защита трубопровода, которая предполагает прикрепление отрицательного полюса непосредственно к трубопроводу и подключение положительного источника тока к внешнему электроду, такому как резина или углерод, с помощью провода [17]. Результатом такого подхода является устранение коррозионной активности трубопровода. Однако есть и существенный недостаток: во время катодной защиты образуются блуждающие токи, которые могут причинить вред находящимся рядом предметам или объектам, а также привести к появлению ржавчины на внешней металлической поверхности трубы [17].

Применение ингибиторов коррозии. Кафедра химии КубГТУ провела синтез полифункциональных производных аминоспиртов, которые ранее не были описаны. Благодаря этому стало возможным изучение практического применения данных производных и исследование их потенциала в качестве ингибиторов коррозии. Этот вид защиты является одним из самых популярных, но требует значительных затрат. Популярные реагенты включают уротропин, катапин-А, марвелан-К, И-1-А, В-2 и ВИКОР-1А [18]. Было установлено, что все исследованные соединения оказывают ингибирующее действие на коррозию в нейтральной среде. Амид1,3-оксазолидинилуксусной кислоты показал наилучшие результаты, обеспечив защиту как в нейтральной, так и в кислой среде.

По лабораторным исследованиям [19] следует обратить внимание на содержание кислорода в нефти, так как он способствует увеличению коррозии и уменьшению эффективности ингибиторов.

1.3 Математические модели процесса коррозии

При эксплуатации металлоконструкций необходимо правильно оценивать фактическое коррозионное состояние металла с целью прогнозирования его изменений для своевременного принятия мер по предотвращению непредвиденных остановок в работе оборудования.

Использование моделей коррозии, разработанных в академических и исследовательских институтах, и применение их в полевых условиях всегда

было сложной задачей. Первая комплексная попытка сравнить прогнозы моделирования с полевыми данными по коррозии металлов была предпринята Автором [20] в 2010 году, который выбрал 11 проб и определил набор средних рабочих условий (температура, давление, содержание CO_2 и скорость потока) для каждой из них. Эти данные были поданы в качестве входных параметров для модели. Для каждой пробы была предсказана одна единственная скорость и сравнена с измерениями максимальной потери толщины, полученными в результате контроля утечки магнитного потока. Сравнение между предсказанными скоростями и максимальными измеренными потерями толщины показало в целом низкую степень согласия.

Тем не менее, эти усилия увенчались успехом, и дали старт для развития моделирования коррозионных процессов. Рассмотрим основные успехи в исследованиях моделирования процессов коррозии подробнее.

В статье [21] рассматривается эрозионно-коррозионное разрушение металлов на энергетическом оборудовании в двухфазных потоках. Взаимодействие эрозии и коррозии однофазных и двухфазных потоков с металлом может привести к повреждению, аварийным отключениям энергетического оборудования, загрязнению рабочего тела соединениями железа и накоплению этих материалов в технологическом тракте.

В статье [21] была разработана расчётная модель эрозионно-коррозионного процесса разрушения металла в двухфазном потоке, и на основе данной математической модели было разработано прикладное программное обеспечение, позволяющее прогнозировать эрозионно-коррозионный ресурс оборудования, а также оптимизировать регламенты по диагностике и профилактике эрозии-коррозии элементов электростанции.

Рассмотрим подробнее основные современные модели коррозионных процессов.

1. Эвристические модели.

Эвристические модели основаны на экспериментальных данных, на основе которых выявляются закономерности. Поведение системы в

определенных условиях анализируется, и скорость коррозии (или повреждения) может быть предсказана для будущих систем с таким же типом поведения. Для этого необходимо классифицировать различные типы систем и различные типы окружающей среды. Результатом является (установленная) корреляция между наложенными изменяющимися условиями (концентрацией электролита, температурой, временем и другими условиями) и измеренной скоростью коррозии.

Многие авторы разработали модели атмосферной коррозии, основанные на экспериментальных данных. Эти модели предсказывают поведение металла и используются для классификации коррозионной активности окружающей среды [21, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Большая часть проведенных исследований коррозии включает в себя короткие и средние сроки воздействия. В статье [24] авторы рассмотрели атмосферную коррозию стали, подвергающейся атмосферным воздействиям. Они изучили время стабилизации слоя ржавчины, скорость коррозии в устойчивом состоянии, а также проанализировали влияние условий воздействия. Замечено, что скорость коррозии уменьшается со временем, что связано с образованием слоев ржавчины, стабилизирующих процесс коррозии.

На рисунке 4 показано такое типичное затухание, время стабилизации считается достигнутым, когда снижение в течение одного года составляет менее 10%, а соответствующая скорость коррозии выбрана в качестве скорости коррозии в установившемся состоянии.

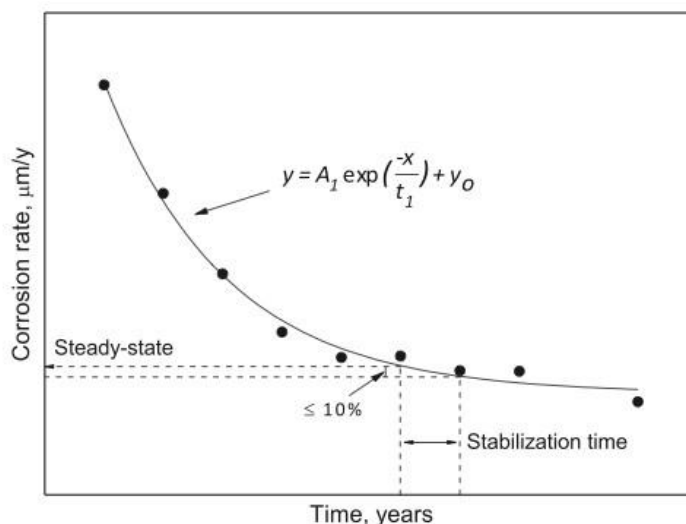


Рисунок 1.4 – Определение времени стабилизации слоя ржавчины и установившейся скорости коррозии по экспоненциальной убывающей функции [24]

Авторы утверждают, что наиболее важными аспектами атмосферной коррозии являются компактность слоев продуктов коррозии и природа самих продуктов коррозии, и что атмосферная коррозия стали соответствует уравнению следующего вида [24]:

$$C = C_1 t^n, \quad (18)$$

где C – общая накопленная коррозия в момент времени t ; C_1 – значение коррозии в первый год; n – экспонента (обычно меньше единицы).

Экспонента n является функцией условий воздействия, что можно увидеть на рисунке 5.

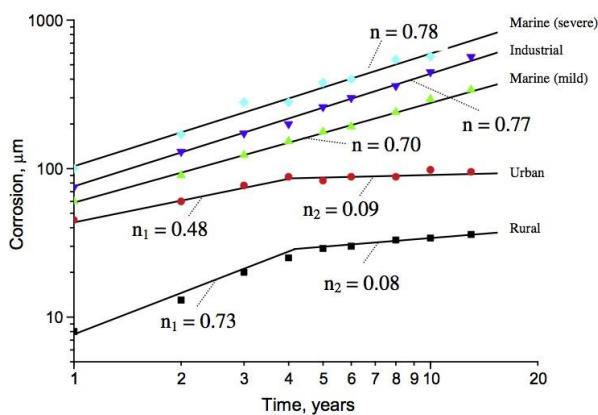


Рисунок 1.5 – Коррозия мягкой стали в зависимости от времени воздействия для различных атмосферных условий [24]

Результаты эмпирических экспериментов могут сильно варьироваться при незначительном изменении условий окружающей среды в сценарии испытаний. Для сокращения времени испытаний разрабатываются методы ускоренных испытаний. Однако эти методы не дают информации для механистического понимания и разработки моделей, необходимых для моделирования и прогнозирования процесса коррозии. Для этого необходимо сосредоточить внимание на электрохимии, лежащей в основе процесса.

2. Детерминированные многомасштабные модели

Детерминированные модели необходимы для понимания правильных механизмов коррозии и составляют основу инструментов моделирования и прогнозирования коррозии. Модель GILDES, например, описывает концептуальные рамки атмосферной коррозии. Это многомасштабная модель, которая учитывает кинетику (корродирующей) системы, включая взаимодействие с газообразной и жидкой средой.

Шесть режимов, указанных в модели GILDES, образуют связь между атмосферой и корродирующим образцом. Каждый из режимов определяется собственным набором математических формул, который представляет собой описание переходов и преобразований, происходящих в данном режиме. Шестью выделенными режимами являются (Рисунок 6):

Газ – Поверхность – Жидкость – Осаждение – Электрод – Твердое тело.

Этот подход дает большое представление о зависимости взаимосвязанных областей и требует знаний из различных областей: химии атмосферы, инженерии массопереноса, водной химии, электрохимии, химии твердого тела [25].

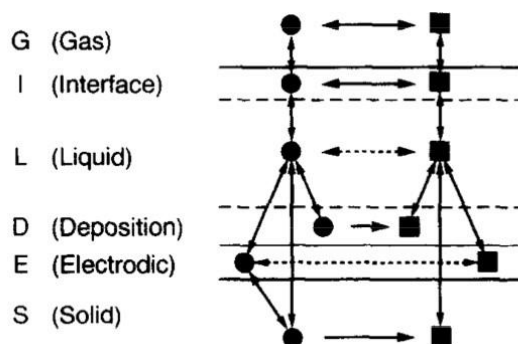


Рисунок 1.6 – Схематическое представление шести режимов модели GILDES [25]

Модель GILDES является мощной комплексной системой моделирования. Дополнительным преимуществом такого подхода является то, что модель можно расширять шаг за шагом. Преимущество модели GILDES в том, что она придает физический смысл процессам в системе. Недостатком является то, что не учитывается геометрическое влияние.

В работе [26] описана модель гальванической коррозии, в которой авторы смогли предсказать распределение концентрации в поперечном сечении оцинкованной стали. Был установлен диффузионный слой (на основе экспериментов) на расстоянии 500 мкм от электрода. Данная модель может рассчитывать и другие переменные, помимо потенциала, включая pH, концентрацию O_2 и распределение всех других видов. Недостатком модели является ее стационарность и невозможность долгосрочного прогнозирования.

Геометрия моделирования и расчетная сетка показаны на рисунке 7. Авторы рассмотрели перенос 14 видов и учли 8 однородных реакций в электролите. На цинковом аноде авторы рассматривают линеаризованную электродную реакцию, а на катоде единственной реакцией является реакция восстановления кислорода. По результатам моделирования можно построить график концентрации всех видов. В качестве примера, pH (после 1 часа погружения) показан на рисунке 7.

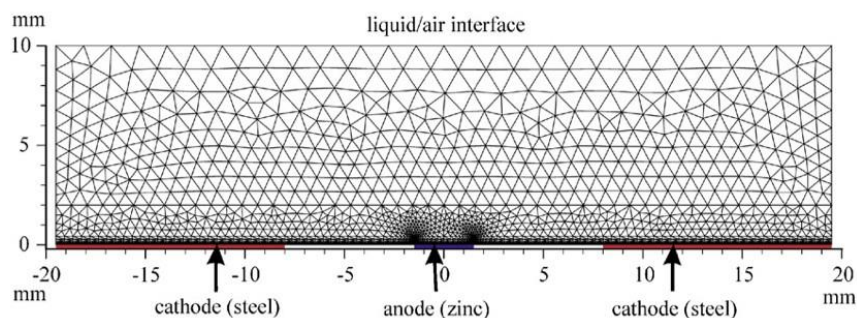


Рисунок 1.7 – Геометрия и сетка гальванической пары сталь-цинк [26]

На верхнем изображении на рисунке 7 градиент pH простирается по всей высоте электролита. Этот смоделированный случай нереален, поскольку во всех растворах развивается диффузионный слой, который ограничивает область градиента концентрации. Чтобы преодолеть это ограничение, авторы статьи разработали идею наложения искусственного поля течения. Подход заключался в применении небольшого вертикального потока, имитирующего небольшую естественную конвекцию, что приводит к образованию диффузионного слоя толщиной около 3 мм. Смоделированное распределение pH с учетом этого поля потока приведено в нижней части рисунка 7. Этот результат лучше согласуется с экспериментальными результатами.

Моделирование подтверждает, что плотность тока коррозии зависит от концентрации кислорода на электроде и что железо катодно защищено до тех пор, пока имеется цинк.

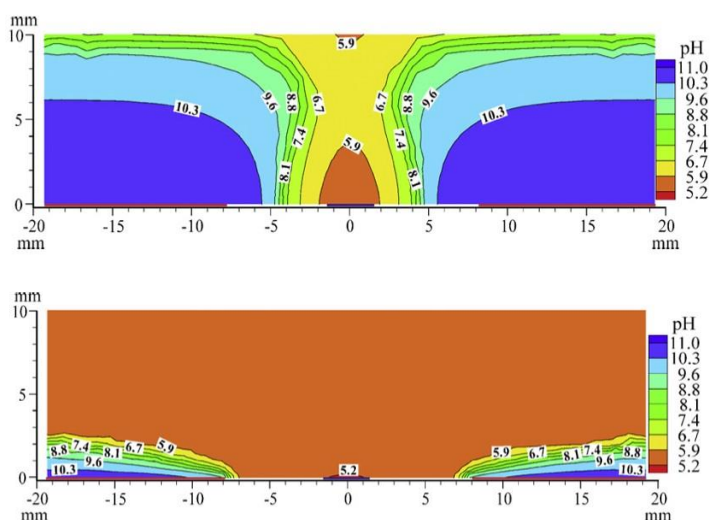


Рисунок 1.8 – Моделируемое распределение pH над электродами после 3600 с в растворе [26]

Моделирование, результаты которого представлены на верхней части рисунка 1.8, выполнено без навязанной конвекции, что приводит к нереалистичным градиентам. На нижнем рисунке естественная конвекция смоделирована с использованием произвольно наложенной конвекции

Во время циклической нагрузки, например, влажности, осадков, росы и осаждения хлоридов, толщина электролита меняется, и концентрация может значительно увеличиваться вблизи электродов. В этих ситуациях модель разбавленного раствора больше не действует, и необходимы расширения модели, включающие теории для концентрированных растворов. Первое расширение заключается в замене концентраций на активности видов. Теория Дебая-Хюккеля и среднее сферическое приближение описывают ион-ионные взаимодействия и могут быть реализованы в MITReM [27]. Строго говоря, этот подход действителен для умеренных концентраций и требует дальнейшего расширения для высоких концентраций.

Повышение концентрации видов также усиливает реакции осаждения. Образующиеся осадки могут оказывать большое влияние на скорость коррозии. Они могут действовать как ингибирующие виды на электродные реакции, а также препятствовать переносу кислорода от основной массы к электроду.

Питтинговые реакции.

Компактный слой продуктов коррозии может защищать нижележащий металл. Металлы часто покрыты оксидным слоем, который пассивирует основной металл. Однако эти слои становятся нестабильными в некоторых средах, например, в средах, содержащих хлориды. Металл может подвергнуться серьезному повреждению, когда пассивный слой подвергается локальному воздействию, так называемый процесс питтинга вызывает высокую плотность тока, что может привести к ускоренному повреждению нижележащей структуры.

Питтинг алюминия был изучен экспериментально многими исследователями. В статье [28] авторы разработали модельную основу для

моделирования питтинга алюминиевого сплава. Геометрия сетки была разработана таким образом, чтобы соответствовать изображениям сканирующей электронной микроскопии.

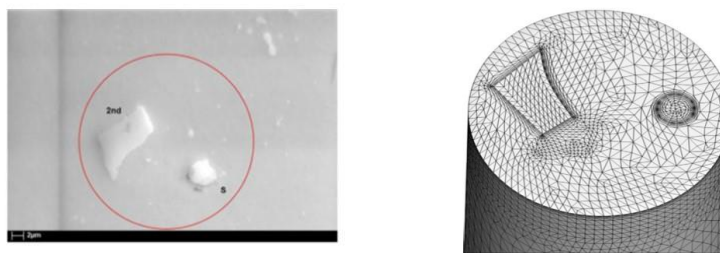


Рисунок 1.9– (а) РЭМ–изображение сплава АА2024, показывающее различные металлургические фазы; (б) сетка моделирования для той же области (зеркальное отображение) [28]

Авторы [29] смогли смоделировать поляризационные кривые до тех пор, пока питтинг не был достигнут, сложность питтинга еще не полностью объяснена, но при рассмотрении ситуации со щелями они смогли предсказать значения рН, которые инициируют питтинг, в сочетании с измеренными концентрациями хлорида алюминия. 3D-моделирование позволяет лучше понять процесс питтинга и атмосферной коррозии в целом. Можно учесть влияние металлургических включений на анодные и катодные потоки и на эволюцию рН раствора. На рисунке 10 показаны (а) распределение рН и (б) следы потоков плотности тока на поверхности и в электролите системы. Локально наблюдаются повышенный рН и высокая анодная плотность тока. Эти области соответствуют участкам поверхности сплава, где расположены магнийсодержащие преципитаты.



Рисунок 1.10 – (а) распределение рН и б) следы потока плотности тока вблизи электрода [29]

Разработка инструмента моделирования атмосферной коррозии начинается с определения соответствующей физической системы [30], следующим шагом является перевод физической системы в математические уравнения. То, как это делается, определяет сложность модели, чем сложнее, тем больше параметров необходимо. Эти параметры берутся из экспериментальных данных. В конечном итоге дополнительные затраты (усилия, время, дополнительные эксперименты) должны быть сопоставлены с добавленной стоимостью дополнительной сложности модели [31].

Примеры, приведенные в этой работе, демонстрируют возможности моделей коррозии для моделирования скорости коррозии [32]. Некоторые из этих примеров посвящены локальной коррозии, в то время как другие рассматривают более глобальные эффекты коррозии. Воздействие окружающей среды играет определенную роль в том, как влияет на процесс коррозии, например, через толщину электролита, концентрацию кислорода, осаждение хлоридов и т.д. Многомасштабное моделирование устраняет разрыв между этими эффектами окружающей среды и локальным процессом коррозии [33].

1.4 Постановка цели и задач исследования

При анализе литературы в области транспорта нефти и нефтепродуктов по трубопроводам выявлено, что одной из основных проблем при эксплуатации трубопроводов, приводящей к негативным экономическим и экологическим последствиям, является их быстрый, сложно прогнозируемый выход из строя. Выход трубопроводов из строя происходит вследствие различных дефектов трубопроводов, таких как брак строительно-монтажных работ, механические повреждения, дефекты, коррозией.

В ходе обзора литературы и анализа технической документации по опыту эксплуатации нефтепроводов выявлено, что наибольшее влияние на срок их службы оказывает процесс коррозии.

Накопленный опыт эксплуатации нефтепроводов позволяет обобщить и проанализировать имеющиеся данные, выявить закономерности процесса

коррозии, описать их в виде математической модели и разработать на ее основе методику прогнозирования технического состояния нефтепроводов.

Таким образом, с учетом вышесказанного, в данной работе поставлена следующая цель – разработка методики прогнозирования технического состояния нефтепроводов на основе математической модели процесса коррозии.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ теоретических и экспериментальных данных по характеристикам нефтепровода, подверженного непрерывному мониторингу с целью выявления взаимосвязей регистрируемых параметров на показатели технического состояния трубопровода и описать объект исследования;

2. Обосновать выбор метода исследования – метода математического моделирования – для решения поставленной задачи;

3. Выявить физико-химические закономерности процесса коррозии стенок нефтепроводов;

4. Описать выявленные закономерности в виде уравнений математической модели;

5. Провести оценку адекватности модели по экспериментальным данным;

6. Провести исследование влияния содержания коррозионно-активных примесей в нефти и расхода нефти на скорость коррозии.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработки методики прогнозирования технического состояния магистральных трубопроводов, основанной на математической модели физико-химических процессов, приводящих к дефектам трубопроводов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований включает такие разделы, как потенциальные потребители результатов исследования, анализ конкурентных технических решений и SWOT-анализ.

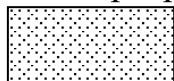
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы оценить потенциальных пользователей результатов исследования, необходимо провести анализ целевого рынка и его сегментирование по наиболее существенным признакам. В данной работе результатом исследования является компьютерная моделирующая система

для непрерывного мониторинга процесса коррозии, которая может быть использована непосредственно, как программный продукт на предприятии (производстве); а также может быть инструментом для выполнения индивидуальных расчетов для предприятий-заказчиков. Поэтому необходимо составить карту сегментирования целевого рынка (рисунок 5.1) по продажам программных обеспечений, учитывающих разные математические модели.

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа электронного тренажера
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные институты			

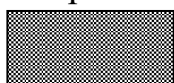
Рисунок 5.1 – Карта сегментирования рынка услуг по применению программного обеспечения системы непрерывного мониторинга



Фирма А (модели, описывающие коррозионные потери металла от воздействия различных факторов: времени, свойств агрессивных сред, свойств металла конструкции);



Фирма В (модели специализированного назначения: модели атмосферной коррозии сталей различных марок; модели атмосферной коррозии алюминия и алюминиевых сплавов; модели коррозии различных материалов);



Фирма С (вероятностные модели, базирующиеся на гипотезе, что информация, полученная на ограниченном объеме испытаний).

Для составления данной карты было взято три фирмы, которые занимаются разработкой ПО подготовительных и перерабатывающих процессов в нефтехимии на основе разных математических моделей. В процессе эксплуатации программное обеспечение используется для регистрации и обработки сигналов, определения местоположения источников

излучения - дефектов. Как правило программное обеспечение для анализа зарегистрированных данных разрабатывается непосредственно засчет моделей, описывающих кинетику коррозионных процессов на различных металлических конструкциях. В нашем же случае за основу прогнозирования берутся физико-химические процессы коррозии внутри трубопровода, что включает в себя совокупность различных факторов, учитывающих кинетику коррозионных процессов.

Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что внедрение новых методов прогнозирования износа трубопровода на основе математической модели коррозионных процессов является перспективным на рынке ПО. Такая математическая модель может быть применена как на мелких нефтеперерабатывающих предприятиях, так и на более крупных нефтеподготавливающих месторождениях.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Е	Б _И	Б _В	К _Е	К _И	К _В
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	5	5	1,0	1,0	1,0
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
3. Функциональная мощность	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1,0

Продолжение таблицы 5.1

4. Простота эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Конкурентоспособность	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
8. Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	31	35	40	3,9	4,4	4,9

Где B_E – разработка программы в среде Python;

B_I – разработка программы в среде C++;

B_D – разработка программы в среде Delphi.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно разрабатывать программу в среде Delphi.

5.1.3 SWOT – анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта: тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 5.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Математические модели становятся всё более востребованы;	В1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;
С2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;	В2. Большой потенциал применения в России и других странах;
С3. Актуальность и высокая технологичность методов.	В3. Публикации о проекте в тематических журналах.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с программой;	У1. Отсутствие спроса на данные методы;
Сл2. Сложность написания программы и нехватка данных;	У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения;
Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты.	У3. Нехватка финансирования.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень

необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1. Математические модели становятся всё более востребованы;</p> <p>C2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>C3. Актуальность и высокая технологичность методов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с программой;</p> <p>Сл2. Сложность написания программы и нехватка данных;</p> <p>Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты.</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>B2. Большой потенциал применения в России и других странах;</p> <p>B3. Публикации о проекте в тематических журналах.</p>	<p>Большой потенциал применения метода в России и других странах способствует развитию и доработке методов контроля</p>	<p>Данным методам требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, обеспечить обучение нового персонала со знаниями методов математического моделирования</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данные методы;</p> <p>У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения;</p> <p>У3. Нехватка финансирования.</p>	<p>Отсутствие спроса влияет на актуальность и технологичность методов</p>	<p>Самой большой угрозой для проекта является отсутствие данных для написания математической модели</p>

Самой большой угрозой для проекта является отсутствие данных для написания программы, так как имеются затруднения с поиском информации.

Что касается слабых сторон, то для данных методов требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, обеспечение обучения нового персонала со знаниями методов, используемых в математическом моделировании.

5.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для составления плана предполагаемого комплекса работ была определена последовательность действий [39]:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения данного исследовательского проекта, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ отражен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент, Научный руководитель
	1	Проведение патентных исследований	Студент
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, Студент
	1	Календарное планирование работ по теме	Студент

Продолжение таблицы 5.4

Теоретические и экспериментальные исследования	1	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	1	Расчет термодинамических и кинетических параметров в программе Delphy	Студент
	1	Изучение и анализ исходных свойств молекул сырья	Студент
	3	Сопоставление результатов исследованиям	Студент Руководитель
	1	Анализ динамики изменения свойств, подтверждение достоверности результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	2	Оценка эффективности полученных результатов	Студент Руководитель
	1	Оформление отчета о проделанном эксперименте	Студент

Полученная таблица дает полное представление о структуре работ в рамках данного исследования применения математического моделирования коррозионных процессов внутри трубопровода.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Значительную часть стоимости исследования составляют трудовые затраты, поэтому ключевым моментом является расчет трудоемкости работ каждого из участников исследования.

Расчет трудоемкости производится в человеко-днях и носит вероятностный характер, в силу того, что необходимо учесть при расчете большое количество факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [40]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} \quad (5.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Расчет продолжительности каждой работы T_{pi} (учитывается параллельность выполнения работ несколькими рабочими)

Расчет проводится по формуле [41]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (5.3)$$

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

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [42].

Для построения графика длительность каждого этапа исследования была переведена в календарные дни формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5.4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})} \quad (5.5)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,54$$

Рассчитанные временные показатели проведения научного исследования приведены в таблице 5.5.










Таблица 5.5 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожс}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление технического задания	2	2	2	5	5	5	3,2	3,2	3,2	Руководитель	3	3	3	5	5	5
Подбор и изучение материалов	11	9	7	18	15	14	13,8	11,4	9,8	Руководитель Студент	14	11	10	21	18	15
Теоретические расчеты и обоснования	9	7	5	19	17	15	13	11	9	Студент	13	11	9	20	17	14
Создание модели	14	12	10	19	17	15	16	14	12	Студент	16	14	12	25	22	20
Теоретические расчеты и обоснования	9	7	5	19	17	15	13	11	9	Студент	13	11	9	20	17	14
Создание модели	14	12	10	19	17	15	16	14	12	Студент	16	14	12	25	22	20
Экспериментальная часть исследования	9	8	7	14	13	12	11	10	9	Студент	11	10	9	17	15	14
Анализ результатов эксперимента	7	6	5	14	12	11	9,8	8,4	7	Студент Руководитель	10	8	7	15	13	11
Написание раздела «Финансовый менеджмент»	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Студент	5	5	5	7	7	7
Написание раздела «Социальная ответственность»	2	2	1	4	4	4	3,4	2,8	1,8	Студент	3	3	2	5	4	3
Оформление ВКР	6	5	4	9	8	7	7,2	6,2	5,2	Студент	7	6	5	11	10	8

На основе данной таблицы составлен календарный план-график.

В таблице 5.6 приведен календарный план график проведения НИОКР по изучению использования математического моделирования в процессе коррозии трубопровода.

Таблица 5.6 – календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				январь		февраль			март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	5														
2	Подбор и изучение материалов	Студент руководитель	15														
3	Теоретические расчеты и обоснования	Студент	14														
4	Создание модели	Студент	18														
5	Экспериментальная часть исследования	Студент	11														
6	Анализ результатов эксперимента	Студент Руководитель	10														
7	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Студент	7														

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T) принимается как 15% от стоимости материала.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Материальные затраты проекта

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Блокнот	рубль	3	3	3	100	300	300	300
Ручка	рубль	10	10	10	21	210	210	210
Бумага	рубль	2	2	2	550	1100	1100	1100
Флеш-карта	рубль	1	1	1	670	670	670	670
Компьютер	рубль	1	1	1	26000	26000	26000	26000
Принтер(МФУ)	рубль	1	1	1	6500	6500	6500	6500
Картридж для принтера (ч/б)	рубль	1	1	1	3280	3280	3280	3280
Электроэнергия	1347,5	350	300	250	3,85	1347,5	1155	962,5
Итого						39407,5	39215	39022,5

По данным из приведенной выше таблицы можно судить о материальных затратах проекта.

5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Расчет затрат на специальное оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Количество			Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	ПО Microsoft office	1	1	1	4100	4100	4100	4100
2.	ПО Microsoft Visio	1	1	1	7200	7200	7200	7200
3.	ПО Windows 10 Pro	1	1	1	20800	20800	20800	20800
4.	ПО Python	1	-	-	Бесплатное	0	0	0
5.	ПО Delphi	-	-	1	Бесплатное	0	0	0
6.	ПО C++	-	1	-	30000	0	30000	0
7.	Антивирус Kaspersky	1	1	1	2850	2850	2850	2850
Итого					34950	64950	34950	

По представленной выше таблице можно судить о затратах проекта на специальное оборудование.

5.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы

В представленной ниже таблице посчитана основная заработная плата в которой включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 ÷ 30 % от тарифа или оклада.

Таблица 5.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям		Трудоемкость, чел.-дн.			Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн, тыс.руб.			Всего заработная плата по тарифу(оклада), тыс.руб.		
				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление ТЗ	Руководитель		3	3	3	3,1			9,3	9,3	9,3
2.	Подбор и изучение материалов	Руководитель	Студент	14	11	10	4,9			68,6	53,9	49

Продолжение таблицы 5.9

3.	Теоретические расчеты и обоснования	Студент		13	11	9	1,85	24,05	20,35	16,65
4.	Создание модели	Студент		16	14	12	1,85	29,6	25,9	22,2
5.	Экспериментальная часть	Студент		11	10	9	1,85	20,35	18,5	16,65
6.	Анализ результатов эксперимента	Студент	Руководитель	10	8	7	4,9	49	39,2	34,3
7.	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Студент		5	5	5	1,85	9,25	9,25	9,25
8.	Написание раздела «Социальная ответственность»	Студент		3	3	2	1,85	5,55	5,55	3,7
9.	Оформление ВКР	Студент		7	6	5	1,8	12,6	10,8	9
Итого								228,30	192,75	170,05

В таблице 5.9 представлены величины окладов сотрудников, и также приведена ежедневная заработная плата за один рабочий день.

Расчет включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 ÷ 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (5.8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (5.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6–дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала, раб. дн.

Далее приведена таблица с показателями рабочего времени каждого сотрудника, вычисленная с помощью календарного количества времени и количества нерабочих дней.

Таблица 5.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48 0	72 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (5.10)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно $0,2 \div 0,5$;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $Tci = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для Руководителя = 1,8; для Студента = 1,4.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 5.11

Таблица 5.11 – Итоговая таблица расчета основной ЗП руководителя и студента

Исполнители	Разряд	к _т	З _{гс} , руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Научный руководитель	Доцент	1,8	24000	0,3	0,4	1,3	53040	2985,16	20	59703,2
Студент	Инженер	1,4	15000	0,3	0,3	1,3	31200	1854	59	109386
Итого										169089,2

5.2.8 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

5.2.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном подразделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [42].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (5.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Информация об отчислениях во внебюджетные фонды представлена в таблице 5.12

Таблица 5.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	80599,32	65673,52	59703,2	12089,90	9851,03	8955,48
Студент	146466	126072	109386	21969,9	18910,8	16407,9
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3					
Итого						
Исполнение 1	78337,54					
Исполнение 2	66152,21					
Исполнение 3	58335,77					

5.2.10 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}} \quad (5.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (39407,5 + 34950 + 80599,32 + 146466 + 12089,9 + 21969,9 + 78337,54) \cdot 0,16 = 66211,23 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (39215 + 64950 + 65673,52 + 126072 + 9851,03 + 18910,8 + 66152,21) \cdot 0,16 = 62531,93 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (39022,5 + 34950 + 59703,2 + 109386 + 8955,48 + 16407,9 + 58335,77) \cdot 0,16 = 52281,74 \text{ руб.}$$

5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Бюджет затрат на данное исследование

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	39407,5	39215	39022,5	П. 5.5.5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	34950	64950	34950	П.5.5.6
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	227065,32	191745,52	169089,2	П.5.5.7
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	34059,8	28761,83	25363,38	П.5.5.8
5. Отчисления во внебюджетные фонды	78337,54	66152,21	58335,77	П.5.5.9
6. Накладные расходы	66211,23	62531,93	52281,74	П.5.5.10
7. Бюджет затрат НТИ	480031,07	453356,49	379042,59	

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.14)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{480031,07}{480031,07} = 1;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{453356,49}{480031,07} = 0,944;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{379042,74}{480031,07} = 0,789.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (5.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя представлен в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности пользователя	0,1	3	4	5
2. Удобство в проведении исследования на практике в силу его простоты, не требующей специального обучения	0,2	3	4	5
3. Экономичность	0,2	3	4	4

Продолжение таблицы 5.14

4. Низкая себестоимость в сравнении с более дорогими методами подбора	0,3	4	3	5
5. Надежность	0,2	4	4	5
Итого	1	3,4	3,8	4,8

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{3,4}{1} = 3,4.$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{3,8}{0,944} = 4,02;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{фин.р}} = \frac{4,8}{0,789} = 6,08.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} \quad (5.16)$$

Таблица 5.15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,944	0,789
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,4	3,8	4,8
3	Интегральный показатель эффективности	3,4	4,02	6,08
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,559	0,661	1

В данном разделе подробно разобран коммерческий потенциал данного исследования и его перспективы на рынке. Проведена оценка ресурсоэффективности проделанной работы. Описан и составлен план необходимого комплекса работ.

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Список использованных источников

1. Изотова, Е.А. Анализ инженерных решений при прокладке газопроводов в сложных условиях / Е.А. Изотова, Г.С. Фоминых // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2021. – №. 4. – С. 171–178.
2. Агеенко, М. В. Анализ проблем проектирования, строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов в зонах вечной мерзлоты / М. В. Агеенко, С. Е. Столяров, П. В. Бардаш, Д. А. Шмигирилов // Инженерные системы и сооружения. – 2019. – №. 2. – С. 57–62.
3. Чапаев, Д. Б. Учет внутреннего коррозионного износа теплопроводов, транспортирующих однофазный теплоноситель (воду), при оценке их срока службы / Д. Б. Чапаев, А. А. Оленников, Е. А. Оленников, А. А. Захаров // Физико–математическое моделирование.– 2017.– Том 3.– № 3.– С. 99–109.
4. Ворков, В.А. Исследование влияния коррозионных дефектов на прочность трубопроводов / В.А. Ворков, Е.О. Капралова, М.А. Федотенко, А.В. Агафонов // Известия самарского научного центра российской академии. – 2012. – №. 1–2. – С. 529–533.
5. Мальцева, Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособие / Г.Н. Мальцева, С.Н. Виноградова. – Пенза: Пенз. гос. ун–т, 2000. – 211 с.
6. Кузнецов, М.В. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров: Учеб. для вузов / М.В. Кузнецов, В.Ф. Новоселов, П.И. Тугунов, В.Ф. Котов. – М.: Недра, 1992. – 238 с.
7. Алимов, С. В. Оценка технического состояния и определение сроков безопасной эксплуатации трубопроводов / С. В. Алимов, Б. Н. Антипов, А. В. Захаров // Газовая промышленность. – 2018. – № 12.14 (27) – С. 38–42.
8. Sardisco, J.B. Corrosion of Iron in on H₂S–CO₂–H₂O System: Corrosion Film Properties on Pure Iron / J. B. Sardisco, W. B. Wright, E. C. Greco // National Association of Corrosion Engineers. – 1981.– P. 1104.

9. Колесниченко, В.Н. Коррозия и наводороживание сталей в сероводородных средах / В.Н. Колесниченко, Ю.О. Макагон, Т.В. Макеева, В.Н. Климов // Очистка и осушка нефтяных газов и защита оборудования от коррозии. – 1984. – С. 111–115.
10. Защита газопроводов нефтяных промыслов от сероводородной коррозии / Э.М. Гутман, М.Д. Гетманский, О.В. Клапчук, Л.Е. Кригман. – М.: Недра, 1988. – 200 с.
11. Чухарева, Н.В. Коррозионные повреждения при транспорте скважинной продукции / Н.В. Чухарева, Р.Н. Абрамова, Л.М. Болсуновская // Методические указания. – 2009. – С. 22–37.
12. Мухин, В.А. Коррозия и защита металлов: учебно–методическое пособие / В.А. Мухин. – Омск: Омск. гос. унт., 2004. – 112 с.
13. Сокол, И.Я. Структура и коррозия металлов и сплавов / И.Я. Сокол, Е.А. Ульянин. – М.: Металлургия, 1989. – 400 с.
14. Конищев, К.Б. Особенности механизма коррозионного растрескивания под напряжением металла труб в средах, содержащих сероводород и диоксид углерода / К.Б. Конищев, А.М. Семенов, А.С. Чабан, Н.А. Лобанова, Р.В. Кашковский // Научно–технический сборник вести газовой науки. – 2019. – № 3 (40) – С. 60–66.
15. Шкодин, А.А. Коррозия и методы борьбы с ней в нефтепромысловых отраслях / А.А. Шкодин, М.А. Тлехусеж // Научное обозрение. – 2019. – №. 4. – С. 97–101.
16. Тюсенков, А.С. Причины коррозии насоснокомпрессорных труб нефтепромыслов и технологическое повышение их долговечности / А.С. Тюсенков, С.Е. Черепашкин // Научно–технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 6. – С.11–16.
17. Локтева, Д.В. Методы борьбы с коррозией трубопроводов / Д.В. Локтева, А.М. Попов, Р.И. Ганиев, И.В. Новоселов // Аллея науки. – 2017. – №7 – С.176–186.

18. Солоненко, Л.А. Модификация поверхностного натяжения СОЖ присадками из полифункциональных производных органических кислот C₃–C₄ / Л.А. Солоненко, М.А. Тлехусеж, Л.Н. Сороцкая // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – № 7. – С. 63–64.
19. Гоник, А.А. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры ее предупреждения. М.: Недра, 1976. – 192 с.
20. Gunaltun, Y. Corrosion Control in Oil and Gas Production / Y. Gunaltun, R. Edwards // *Oilfield Review*. – 1994. – № 6(2). – С. 4–18.
21. Томаров, Г. В. Моделирование физико–химических процессов эрозии–коррозии металлов в двухфазных потоках / Г.В. Томаров, А.А. Шипков // *Московский энергетический институт*. – 2002. – № 7. – С. 7–17.
22. Corvo F. Outdoor–indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres / F. Corvo, T. Perez, L. R. Dzib, Y. Martin, A. Castan˜eda, E. Gonzalez, J. Perez // *Corrosion Science*. – 2008. – С. 108.
23. ГОСТ ISO 9226–2022. Коррозионная агрессивность атмосферы. Методы определения скорости коррозии стандартных образцов, используемых для оценки коррозионной агрессивности: дата введения 2023–04–01. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200192565> (дата обращения: 05.03.2023). – Текст: электронный.
24. Morcillo, M. Atmospheric corrosion data of weathering steels / M. Morcillo, B. Chico, I. D'iaz, H. Cano // *Corrosion Science*. – 2002. – № 7. – С. 7–17.
25. Graedel, T. E. Gildes model studies of aqueous chemistry. Formulation and potential applications of the multi–regime model / T. E. Graedel, L.A Farrow // *Corrosion Science*. – 1996. – № 38(12). – С. 2153–2180.
26. Topa, V. A transient multi–ion transport model for galvanized steel corrosion protection / V. Topa, Demeter A., Hotoiu L. // *Electrochimica Acta*. – 2012. – № 77. – С. 339–347.
27. Damme, S. Relaxation effect on the Onsager coefficients of mixed strong electrolytes in the mean spherical approximation / S. Damme, J. Deconinck // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2007. – № 111(19). – С. 12–18.

28. Данилов, А.С. Моделирование процесса атмосферной коррозии металлоконструкций грузоподъемных машин. М.: ТулГУ, 2009. – 304 с..
29. Корчагин, С.А. Моделирование коррозионных процессов для исследования объектов железнодорожной отрасли / А.С. Данилов // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 2. – С. 50–54.
30. Томаров, Г.В. Моделирование физико–химических процессов эрозии–коррозии металлов в двухфазных потоках / Г.В. Томаров, А.А. Шипков // Теплоэнергетика. – 2002. – № 7. – С. 7–17.
31. Панченко, Ю.М. Оценка коррозионной агрессивности атмосферы и прогноз коррозионных потерь металлов / Ю.М. Панченко, А.И. Маршаков, Т.Н. Игонин, Т.В. Назмеева // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 10. – С. 56–66.
32. Галлямов, И.И. Моделирование влияния ингибитора коррозии на нефтепроводе / И.И. Галлямов, Ф.А. Ихсанова, Л.Ф. Юсупова, Р.А. Гилязетдинов, Р.Ф. Марданов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 3 (572). – С. 52–54.
33. Виллетт, Т. Оценка модели для прогнозирования максимальной скорости точечной коррозии в сероводородной среде / Т. Виллетт, А. Трайдия, С. Папавинасам // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – № 4. – С. 444–451.
34. ГОСТ Р 51858–2002. Нефть. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, с Поправками): дата введения 2002–07–01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028839>. (дата обращения: 12.05.2023). – Текст : электронный/
35. Технологический регламент предприятия N «Эксплуатация установки подготовки нефти (УПН) и сооружения подготовки воды на N месторождении».
36. Кунавина, Е.А. Анализ нефти и нефтепродуктов: учебное пособие / Е. А. Кунавина, Т. Р. Кочулева // Оренбургский гос. ун–т. – Оренбург: ОГУ–2018. – с 173.

37. Ушева, Н.В. Математическое моделирование химикотехнологических процессов: учебное пособие / Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, О.Е. Митянина, Е.А. Кузьменко // Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета – 2014. –140 с.
38. Крайнов, А.Ю. Численные методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений: учебное пособие / А.Ю. Крайнов, К.М. Моисеева // Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета – 2016. – 44 с.
39. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений // Методы менеджмента качества. – 2003. – № 1. – С. 27.
40. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 7. – С. 20.
41. Основы функционально – стоимостного анализа: Учебное пособие под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М: Энергия, 1980 – 175 с.
42. Скворцов Ю.В. Организационно – экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 43.ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
- 44.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 45.СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- 46.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
- 47.ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- 48.ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

- 49.Федеральный закон от 22 июля 2013 г. № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644>, свободный. – Дата обращения: 21.04.2021 г.
- 50.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 51.ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей.
- 52.СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.
- 53.ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 54.СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1).
- 55.ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.06.2017. – М.: Стандартинформ, 2016.
- 56.ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – введ. 01.03.2017 – М.: Стандартинформ, 2016.