

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н. М.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Силикатно-эмалевое покрытие для трубопроводов

УДК 661.8'065-033.57:621.6.076

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Анкудинова Светлана Владимировна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина Ольга Викторовна	Д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.т.н., доцент		

**Планируемые результаты освоения ООП
Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов**

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 языке Российской Федерации 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, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной 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	Готовность 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 готовность 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	Способность 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
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н. М.
 Период выполнения весенний семестр 2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина Ольга Викторовна	Д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.т.н., доцент		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Анкудинова Светлана Владимировна

Тема работы:

Силикатно-эмалевое покрытие для трубопроводов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.01.2022, №20-19/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Промышленная фритта марки МК-5, разработанная ООО «Завод Эмалированных Труб».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Задача исследования: разработка состава и технологии получения силикатного эмалевого покрытия для трубопроводов с улучшенными физико-химическими свойствами. Процедура исследования: 1. Провести аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки в рассматриваемой области.

	<p>2. Экспериментальным методом установить состав эмали, отвечающий заданным требованиям покрытия, с повышенной химической стойкостью.</p> <p>3. Получить фритту с использованием индукционной варки.</p>
Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор; Методы исследования; Экспериментальный анализ	Казьмина О.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук И.В.
Социальная ответственность	Черемискина М.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	Д.т.н., профессор		21.01.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Анкудинова С.В.		28.02.2022

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Анкудинова Светлана Владимировна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение Школа	Научно-образовательный центр Н. М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Анкудинова Светлана Владимировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4Г8А		Анкудинова Светлана Владимировна	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н. М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

<i>Силикатно-эмалевое покрытие для трубопроводов</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного при эксплуатации оборудования в лаборатории 	<p><i>Объект исследования: силикатно-эмалевое покрытие</i> <i>Область применения: покрытия для стальных трубопроводов</i> <i>Рабочая зона: лаборатория</i> <i>Размеры помещения 81,7 м²</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) электронные лабораторные весы; 2) индукционная печь; 3) муфельная печь; 4) планетарная мельница; 5) сушильный шкаф. <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>исследование химической стойкости промышленной эмали:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) исследование химической стойкости методом карандаша; 2) исследование химической стойкости по методу потери массы; 3) экспериментальное определение (с помощью дилатометра) коэффициент термического расширения эмали 4) проведение рентгенофазового анализа; 5) проведение электронной микроскопии.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации оборудования в лаборатории:</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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) 2. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования 3. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. 4. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). 5. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации оборудования в лаборатории:</p>	<p>Вредные производственные факторы:</p>

<p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>1) отклонение от оптимальных микроклиматических параметров рабочей зоны; 2) недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>Опасные производственные факторы: 1) поражение электрическим током;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: 1) лаборатория регламентируется оптимальными и допустимыми показателями микроклимата. В холодное время года температура рабочей зоны поддерживается за счет отопления, а в теплое время года – вентиляцией; 2) рекомендуется для производственных помещений применять люминесцентные лампы дневного света ЛД-40 ОД со светильниками рассеянного света. Величина нормируемой освещенности лаборатории составляет 200 лк; 3) для человека смертельная величина тока равна 0,1 А, а опасная – свыше 0,001 А включительно. Наиболее опасный переменный ток с частотой 20 – 100 Гц. В качестве мер защиты от воздействия электрического тока используют защитное заземление.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации оборудования в лаборатории:</p>	<p><i>Воздействие на селитребную зону</i> <i>Не обнаружено</i></p> <p><i>Воздействие на литосферу</i> <i>Твердые отходы (застывший шликер) может использоваться вторично, вводится в состав основной массы после соответствующих технологических операций.</i></p> <p><i>Воздействие на гидросферу</i> <i>Перемолотая фритта при очистке сит попадает в канализацию, это оказывает незначительное влияние на окружающую среду.</i></p> <p><i>Воздействие на атмосферу</i> <i>При измельчении фритты в ступке возможна незначительная запыленность, удовлетворяющая требованиям по числу ПДК вредных веществ в воздухе.</i></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации оборудования в лаборатории:</p>	<p>Возможные ЧС: пожары, взрывы, обрушение здания. Наиболее типичная ЧС: пожары.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М. С.	-	-	28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Анкудинова С. В.		28.02.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа представлена на 73 страницах, содержит 14 рисунков, 32 таблицы, использовано 25 источников литературы.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, стеклоэмалевое покрытие, коэффициент термического расширения, фритта.

Объектом исследования является титаноборосиликатная эмаль.

Цель работы – разработка состава и технологии получения силикатного эмалевого покрытия для трубопроводов.

В процессе исследования проводилось определение химической стойкости эмали, расчёт коэффициента термического расширения, рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия.

В результате исследования получен состав химически устойчивого силикатного эмалевого покрытия для трубопроводов.

Область применения: полученный состав силикатной эмали рекомендован для покрытия стальных трубопроводов.

Определения, обозначения и сокращения

В данной работе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) – отложения смолисто-асфальтеновых и парафино-нафтеновых веществ, осаждающиеся на металлических поверхностях промышленного оборудования, препятствующие добыче нефти и осложняющие эксплуатацию нефтедобывающих скважин и трубопроводов.

Стеклоэмалевое покрытие – стекловидно застывшая неорганическая масса, состоящая преимущественно из оксидов, и нанесенная плавлением на поверхность металла в один или несколько слоев.

Коэффициент термического расширения (КТР) – физическая величина, характеризующая относительное изменение объема или линейных размеров тела с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении.

Фритта – стекловидный продукт, получаемый путем плавления исходных компонентов с последующей грануляцией.

Оглавление

Введение	14
1 Литературный обзор	15
1.1 Современные решения проблемы отложения парафинов и асфальто-смолистых соединений в трубопроводах	15
1.2 Составы и основные эксплуатационные характеристики силикатно-эмалевых покрытий для трубопроводов	17
1.3 Технологии изготовления силикатных эмалей и покрытия на стальных трубопроводах	20
2 Объекты и методы исследования	24
2.1 Характеристика фритты	24
2.2 Методы исследования	25
2.2.1 Дилатометрический анализ	25
2.2.2 Электронно-микроскопический анализ	25
2.2.3 Определение химической стойкости	26
2.2.4 Определение растекаемости эмали	27
2.2.5 Определение блеска покрытия	27
3 Экспериментальная часть	29
3.1 Технологические особенности получения стекольной шихты для синтеза фритты в индукционной печи	29
3.2 Индукционная варка фритты	31
3.3 Фазовый состав фритты, полученный в индукционной печи	34
3.4 Получение эмалированных образцов и характеристика покрытия	35
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 42	
Введение	42
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	42
4.1.2 SWOT-анализ	44
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	47
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	47
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	48
4.3 Бюджет научно-технического исследования	51
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	52
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	53
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	54
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	55
4.3.5 Накладные расходы	56
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	57
Выводы по разделу	60
5 Социальная ответственность	62
Введение	62
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
5.2 Производственная безопасность	64
5.3 Экологическая безопасность	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
Выводы по разделу	71
Заключение	72

Список использованной литературы.....	72
--	-----------

Введение

Актуальной задачей в нефтедобывающей отрасли является продление срока службы металлических изделий. Накопленные асфальтосмолопарафиновые отложения на внутренних поверхностях стенок труб влияют на эффективность работы и производительность в области нефтедобычи тем, что сужают область поперечного сечения трубы и препятствуют нормальному потоку жидкости. Кроме того, металлические трубы поддаются интенсивной коррозии. Наиболее распространённым методом борьбы является нанесение на металлические изделия специальных покрытий. Силикатно-эмалевое покрытие обеспечивает прочностные свойства, но не всегда является химически устойчивым к действию агрессивных сред, поэтому разработка нового компонентного состава фритт является важной задачей.

Сложность подбора компонентного состава состоит в том, что вводимые оксиды, повышающие химическую стойкость, за счет образования прочных координационных группировок, снижают вязкость шликерной суспензии, что впоследствии вызывает повышение температуры оплавления и дефектность покрытия.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка состава и технологии получения силикатного эмалевого покрытия для трубопроводов с повышенной химической стойкостью.

1 Литературный обзор

1.1 Современные решения проблемы отложения парафинов и асфальто-смолистых соединений в трубопроводах

В настоящее время отложение парафинов и асфальто-смолистых соединений в трубопроводах является одной из основных проблем нефтедобывающей промышленности, требующих современных решений. Асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) – это природный композиционный материал, состоящий из минеральных и органических соединений [1]. При выпадении на внутренние поверхности стенок труб АСПО сужает площадь поперечного сечения и увеличивает сопротивление движения жидкости, тем самым снижает эффективность работы установок (рис. 1.1) [2].



Рисунок 1.1 - Асфальтосмолопарафиновые отложения [2]

Практика эксплуатации нефтяных скважин показывает, что эффективно добывать и собирать нефть невозможно без работ по предотвращению и удалению АСПО. Методы борьбы с отложениями представлены на рисунке 1.2.

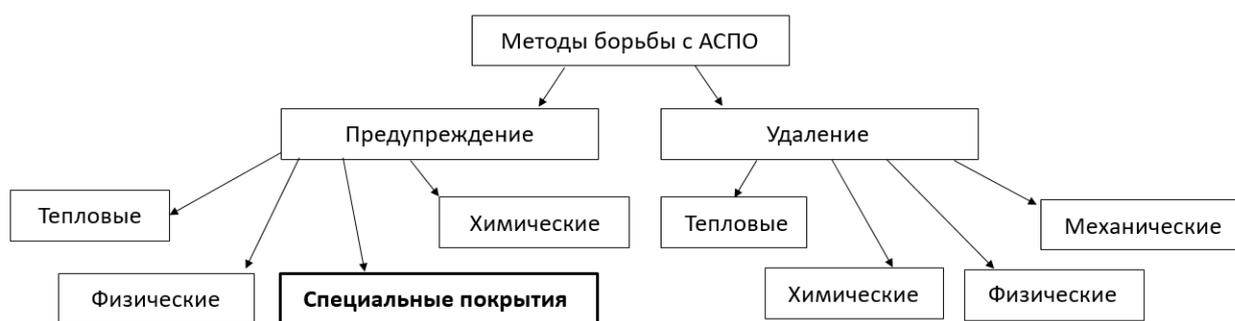


Рисунок 1.2 – Методы борьбы с АСПО

Направленные на предупреждение методы предпочтительнее, они исключают или уменьшают формирование отложений.

Среди них выделяют:

- специальные покрытия;
- физические методы;
- химические методы;
- тепловые методы.

Чаще всего на практике используются защитные покрытия. Они снижают шероховатость внутренней поверхности труб с помощью нанесения на нее эмали, эпоксидной смолы, лаков.

К физическим методам относится создание вибраций погружного оборудования, а также вибрационных и электрических сигналов.

Химические методы - использование ингибиторов, модификаторов, депрессаторов и диспергаторов.

Тепловые методы - использование нагревательных кабельных линий [3].

На российских предприятиях, добывающих нефть, наиболее распространены следующие методы:

- защитные покрытия;
- скребки;
- ингибиторы;
- промывка скважины горячей нефтью.

Удаление АСПО осуществляется следующими методами [1]:

1. Механические — применение скребков. Недостатком метода является поломка устройств, застревание скребков в трубках.

2. Тепловые — применение греющих кабелей, обработка горячей нефтью, водой или паром. Принцип метода заключается в создании температуры, превышающей точки кристаллизации АСПО (при этом отложения начинают плавиться).

3. Химические — применение растворителей, ингибиторов.

Благодаря адсорбционным процессам, происходящим на границе раздела между жидкой фазой и поверхностью металла трубы, добавляемые в продукцию соединения предотвращают отложения.

4. Физические — воздействие на продукцию скважин физическими полями, например, магнитным. Создание магнитного поля в потоке жидкости и образовании центров кристаллизации по всему объему нефтяного потока, способствует более интенсивному выносу парафина.

Наиболее экономичные подходы методов борьбы с АСПО являются приоритетными.

1.2 Составы и основные эксплуатационные характеристики силикатно-эмалевых покрытий для трубопроводов

Стеклоэмалевое покрытие – затвердевшая неорганическая масса, нанесенная плавлением на поверхность металла [4].

Согласно ГОСТ Р 52569-2018, существует 3 марки фритты, предназначенные для получения покрытий стальных труб (табл. 1.1) [5].

Таблица 1.1 - Марки фритт, предназначенные для получения эмалевого покрытия стальных труб

Марка фритты	Характеристика фритты
ФГС	Для грунтового покрытия
ФПС	Для покровного покрытия
ФБГС	Для безгрунтового покрытия

Вышеперечисленные марки фритты соответствуют маркам эмали ГОСТа 24405-80, согласно которого силикатные эмали классифицируются по назначению на [6]:

- грунтовые (ЭСГ), предназначенные для нанесения непосредственно на стальную поверхность;
- покровные (ЭСП), предназначенные для нанесения на поверхность, покрытую грунтовой эмалью;
- бортовые (ЭСБ), предназначенные для нанесения на поверхность, покрытую грунтовой эмалью, с радиусом закругления менее 10 мм.

По характеристике, назначению и составу были выбраны эмали, приведенные в таблицах 1.2 и 1.3 [6].

Таблица 1.2 – Марки грунтовых эмалей и их массовая доля компонентов

Марка эмали	Массовая доля компонентов, %									
	SiO ₂	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
ЭСГ-21	38-43	19-22	-	Не более 2	4-7	4-8	-	19-25		Не более 6,5
ЭСГ-26	40-48	15-20	-	Не более 2	4-8	4-7	Не более 3	18-23		Не более 3,0
ЭСГ-31	45-52	13-18	-	Не более 5	4-11	4-7	-	16-20		Не более 3,0
Марка эмали	Массовая доля компонентов, %									F св. 100 %
	Sb ₂ O ₃	CoO	NiO	MnO ₂	CuO	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂	ZnO		
ЭСГ-21	-	0,4-0,6	0,5-3,0	Не более 3,0	-	-	-	-	-	Не более 3,5
ЭСГ-26	-	0,2-0,8	0,5-3,0	Не более 3,0	-	-	-	-	-	Не более 3,0
ЭСГ-31	-	0,2-0,8	0,5-3,0	Не более 3,0	-	-	-	-	-	Не более 3,0

ООО «Завод Эмалированных Труб» производит эмали в соответствии с ТУ 2367-143-00186335-2015 "Фритты для безгрунтовых покрытий марок МК-5, МК-5У" [7].

Таблица 1.3 – Марки покровных эмалей и их массовая доля компонентов

Марка эмали	Массовая доля компонентов, %									
	SiO ₂	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
ЭСП-200	47-53	11-17	-	Не более 8	7-11	3-10	-	12-18	1-3	-
ЭСП-210	47-53	11-17	Не более 3	Не более 8	4-11	3-10	Не более 1,2	12-18	1-3	-
ЭСП-212	47-53	9-16	Не более 3	Не более 8	4-11	-	Не более 1,2	15-20	1-3	Не более 5,0
Марка эмали	Массовая доля компонентов, %									
	Sb ₂ O ₃	CoO	NiO	MnO ₂	CuO	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂	ZnO	F св. 100 %	
ЭСП-200	-	0,5- 2,5	-	-	-	-	-	-	Не более 6,0	
ЭСП-210	-	-	-	-	-	-	-	-	Не более 6,0	
ЭСП-212	Не более 8	-	-	Не более 7,0	-	Не более 5,0	-	Не более 4,0	Не более 6,0	

В состав фритты марки МК-5 входят следующие компоненты [8]:

SiO₂ 50,0-60,0 %;

TiO₂ 2,0-8,0 %;

Al₂O₃ 0,5-5,0 %;

MnO₂ 0,5-5,0 %;

B₂O₃ 8,0-15,0 %;

NiO 0,3- 2,0 %;

Na₂O 10,0-18,0 %;

CuO 0,2- 1,5 %;

K₂O 0,5- 5,0 %;

CoO 0,2 -1,5 %;

Li₂O 2,0-5,0 %;

Fe₂O₃ 0,1- 1,5 %;

CaO 1,0-7,0 %;

F (сверх 100 %) 0,5- 4,0 %.

MgO 0,1- 1,0 %;

По массовой доле компонентов состав фритты марки МК-5 (ТУ 2367-143-00186335-2015) наиболее приближен к составу к марке эмали ЭСП-210 (ГОСТ 24405-80).

Стеклоэмалевые покрытия обладают рядом уникальных потребительских свойств, которые зачастую превосходят свойства других покрытий, например, пластика. Защита поверхности характеризуется следующими свойствами:

отсутствие пор; устойчивость к царапинам и истиранию; гладкость; твёрдость; стойкость к действиям агрессивных сред; устойчивость к холоду и, в некоторых случаях, к воздействиям высоких температур и т.д. [9].

Одной из самых распространенных областей применений стеклоэмалевых покрытий является трубопроводы. Покрытия для них должны обладать коррозионной стойкостью, что обеспечит длительных срок эксплуатации, также обеспечить уменьшенное отложение выделяющихся веществ, например, парафина [10].

Согласно ГОСТ Р 52569-2018 «Фритты. Технические условия» и ГОСТ 24405-80 «Эмали силикатные (фритты). Технические условия» для фритт должны соблюдаться требования, указанные в таблице 1.4 [5].

Таблица 1.4 – Требования к фриттам, предназначенным для получения эмалевых покрытий труб и фасонных деталей трубопроводов

Марка фритты	Характеристика фритты	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^7, 1/^\circ\text{C}$	Растекаемость, мм	Прочность сцепления покрытия со сталью
ФГС	грунтовые	90-130	Более 38	Не ниже 3-ого балла
ФПС	покровные	80-120	Более 38	
ФБГС	безгрунтовые	90-130	Более 38	
ЭСГ-21	грунтовые	110-120	60-70	
ЭСГ-26	грунтовые	105-115	40-50	
ЭСГ-31	грунтовые	95-105	30-40	
ЭСП-200	покровные	80-95	35-45	
ЭСП-210	покровные	90-105	35-45	
ЭСП-212	покровные	90-105	35-45	

Важной характеристикой фритт является обеспечение блестящего, гладкого и бездефектного покрытия, эмали не должны иметь посторонних включений и загрязнений.

1.3 Технологии изготовления силикатных эмалей и покрытия на стальных трубопроводах

Сложность процесса эмалирования металла состоит в согласовании физико-механических свойств оксидной (силикатной эмали) и металлической (металл, на который наносится эмаль) систем.

В предыдущем подразделе были рассмотрены различные виды силикатных эмалей. В соответствии с составом эмали, подготавливаются и отвешиваются сырьевые материалы. Для удаления пыления, однородности шихты и экономии тепла в технологическую схему включают этапы дополнительной обработки смеси сырьевых материалов – шихты, например, брикетирование, спекание или тонкое измельчение. После этого шихта загружается в печь для последующей варки, где смесь компонентов превращается в однородный расплав – фритту. Резким охлаждением расплава в холодной воде можно добиться предварительного измельчения. Полученный гранулят высушивают и в зависимости от способа нанесения готовят шликер (мокрый способ) или пудру (сухой). Для приготовления шликера отвешивают и смешивают гранулят и другие компоненты (электролиты, вода, глина, красители), в результате получают суспензию, которая наносится окунанием, пульверизацией, поливом, электростатическим и электрофоретическим методами на металлическую поверхность. При сухом способе эмаль наносится напудриванием.

Металлическая заготовка, на которую наносится эмаль должна быть предварительно подготовлена. Подготовка зависит от вида металла и может включать в себя черновой отжиг, дробеструйную обработку, травление, обезжиривание.

Сушка необходима только после мокрого нанесения эмали. В зависимости от консистенции шликера и времени, которое прошло после его нанесения, выявляют количество удаляемой влаги. Важно подобрать оптимальную температуру горячего воздуха, так как интенсивное испарение может способствовать образованию корки на верхнем слое, которая будет препятствовать просыханию более глубоких слоев. Это сказывается на дефектах покрытия, например, образовании трещин и пор. В то же время медленное испарение может являться причиной образования ржавых пятен.

Для каждого эмалируемого изделия подбирается оптимальный температурный режим отжига. В процессе плавления эмаль образует прочно связанное с металлом стекловидное покрытие. Технологическая схема эмалирования мокрым способом представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Технологический процесс эмалирования металлических изделий мокрым способом

Существует 2 способа оплавления – печной и индукционный нагрев [11].

Принцип индукционного эмалирования заключается в том, что сквозь кольцо индуктора проходит ток, создающий быстропеременное электромагнитное поле, индуцирующее в трубе вихревые токи, которые за несколько секунд нагревают её до 900 °С. Шликер, нанесенный на внутренние или наружные поверхности стенки труб, последовательно оплавляется

индуктором, образуя стеклоэмалевое покрытие. Длительность обжига покрытия регулируют скоростью движения трубы через индуктор [12].

Индукционный метод имеет массу достоинств, например, благодаря быстрому и равномерному нагреву, эмаль не вскипает и не образуются пузыри на её поверхности, также снижается стоимость эмалирования и качество покрытия.

Традиционное печное эмалирование не только менее экономично за счет громоздких установок, но и не дает возможности равномерного нагрева покрытия: у свода печи (перегретые зоны) оно легко сгорает, у пода же (недогретые зоны) покрытие остается сырой. Также для данного способа эмалирования требуется соответствие габаритов изделий размерам печных камер.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Характеристика фритты

В качестве объекта исследования выбрана фритта, которая соответствует марке эмали МК-5, разработанная заводом ООО «Завод эмалированных труб». Согласно ТУ 2367-143-00186335-2015 оксидный состав фритты марок эмали МК-5 и МК-5У соответствует требованиям, приведенным в таблице 2.1 [13].

Таблица 2.1 – Массовая доля компонентов фритт [13]

Содержание компонентов	Норма, массовые доли, %	
	МК-5	МК-5У
SiO ₂	50,0-60,0	46,0-56,0
Al ₂ O ₃	0,5-5,0	0,5-3,5
B ₂ O ₃	8,0-15,0	10,0-16,0
Na ₂ O	10,0-18,0	$\sum = 10,5 - 26,0$
K ₂ O	0,5-5,0	
Li ₂ O	2,0-5,0	
CaO	1,0-7,0	2,0-8,0
MgO	0,1-7,0	0,1-1,0
TiO ₂	2,0-8,0	3,0-6,0
MnO ₂	0,5-5,0	0,5-5,0
NiO	0,3-2,0	0,3-2,0
CuO	0,2-1,5	0,2-2,0
CoO	0,2-1,5	0,3-1,5
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	0,1-1,5
F (сверх 100 %)	0,5-4,0	0,5-4,0

Варку фритты проводили в установке индукционного нагрева типа ИМ 60-8-50 Имеющей следующие основные технические характеристики [14]:

- максимальная установленная мощность – 60 кВт*А;
- питающее напряжение – 380/220 В +10/-15 %;
- максимальный ток индуктора 2000 А;
- охлаждение индуктора – водяное.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Дилатометрический анализ

Металлическая подложка после нанесения эмали подвергается обжигу, в процессе которого эмаль и сталь расширяются. Тепловое расширение связано с расширением колебания атомов. Дилатометрический анализ заключается в определении теплового расширения тел.

В данной работе был использован горизонтальный цифровой дилатометр DIL 402 PC фирмы NETZSCH (рис. 2.1) [15].



Рисунок 2.1 – дилатометр DIL 402 PC

2.2.2 Электронно-микроскопический анализ

Электронный микроскоп позволяет получать сильно увеличенное изображение объектов, используя для их освещения электроны, чтобы увидеть структуру вещества на атомно-молекулярном уровне.

Электронно-микроскопический метод включает в себя просвечивающую, растровую электронную микроскопию, так же микродифракцию и электроннозондовый анализ.

Работы по исследованию структуры образцов были проведены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6000 (рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Электронный микроскоп JSM-6000

2.2.3 Определение химической стойкости

Химическая стойкость покрытия определяется согласно ТУ 1396-001-32464617-2016 с изм. №4.

Металлические пластины должны быть предварительно подготовлены. Шликер наносится на пластину, высушивается и обжигается. Образцы не должны иметь дефектов.

Перед началом испытания образец обезжиривают, промывают дистиллированной водой и сушат при температуре $110 \pm 10^\circ\text{C}$, в течение 10÷15 мин в сушильном шкафу. Затем охлаждают в эксикаторе в течение 2 ч, взвешивают и монтируют в установку для определения коррозионной стойкости. Установку нагревают в сушильном шкафу при температуре $110 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

После нагрева в установку вставляют холодильник и наливают на 2/3 высоты стакана из кварцевого стекла кипящий раствор 20% соляной кислоты, после чего устанавливают на предварительно нагретую электрическую плитку, мощность которой должна быть такой, чтобы закипание раствора в установке

начиналось через 8–10 мин. Раствор должен нагреваться и кипеть в установке в течение 1 ч с момента вливания раствора.

Далее раствор из установки сливают, пластину с испытуемым эмалевым покрытием извлекают, промывают дистиллированной водой, высушивают при температуре $110\pm 10^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч в сушильном шкафу, охлаждают в эксикаторе в течение 2 ч и взвешивают.

Химическую стойкость X , $\text{г}/\text{м}^2$, вычисляют по формуле:

$$X = \Delta m / S_r,$$

где Δm – потеря массы образца, г;

S_r – площадь испытуемой поверхности образца, м^2 .

Потеря массы покрытия после кипячения в 15% растворе соляной кислоты в течение 1 ч не должна превышать $3,75 \text{ г}/\text{м}^2$ [16].

2.2.4 Определение растекаемости эмали

Испытание на растекаемость эмали во время обжига проводится согласно ГОСТ Р 50045-92. Шликер эмали прессуется в виде цилиндрических образцов. Образец помещают на стальную подложку, установленную на поворотной рамке, и обжигают 60 секунд до образования капли полусферической формы. После этого подложку фиксируют под углом 45° и выдерживают в течение 120 секунд. Показатели растекания рассчитываются по длине и ширине растекания образцов и сравнивают с эталоном [17].

2.2.5 Определение блеска покрытия

Степень блеска покрытия зависит от микронеровности поверхности. Чем более гладкая поверхность – микронеровности меньше, тем более глянцевая поверхность, и наоборот, чем больше микронеровность, тем больше матовость.

Для измерения блеска эмали использовали блескомер БФ-5 (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Блескомер БФ-5

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель данной ВКР – разработка состава и технологии получения силикатного эмалевого покрытия для трубопроводов.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа были отобраны следующие конкуренты, подходящие для сравнения научно-исследовательской разработки:

- 1) ООО «Эмаль-Ставан»;
- 2) ООО НПП «ПромТехЭмаль»

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

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{НР}	Б _{К1}	Б _{К2}	К _{НР}	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Долговечность	0,074	4	5	5	0,296	0,370	0,370
2. Удобство в эксплуатации	0,085	5	4	4	0,425	0,340	0,340
3. Надежность	0,096	4	5	5	0,384	0,480	0,480
4. Экологичность	0,086	4	4	4	0,344	0,344	0,344
5. Температурный режим варки стекла	0,095	4	3	4	0,380	0,285	0,380
6. Режим эмалирования	0,081	5	4	4	0,405	0,324	0,324
7. Стоимость сырьевых материалов	0,097	4	3	3	0,388	0,291	0,291
8. Безопасность при использовании	0,099	5	4	4	0,495	0,396	0,396
9. Масса	0,052	4	3	4	0,208	0,156	0,208
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,103	4	2	2	0,412	0,206	0,206
2. Наличие сертификации разработки	0,088	3	3	3	0,264	0,264	0,264
3. Конкурентоспособность продукта	0,022	3	2	3	0,066	0,044	0,066
4. Финансирование научной разработки	0,007	3	4	3	0,021	0,028	0,021
5. Уровень проникновения на рынок	0,015	3	4	5	0,045	0,060	0,075
Итого	1	-	-	-	4,133	3,588	3,765

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

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

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

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

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ, который показывает Strength – сильные, Weakness – слабые стороны, а также Opportunities – возможности и Treats – угрозы проекта, другими словами, он применяется для анализа внешней и внутренней среды проекта.

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

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Относительно низкая цена исходного сырья.	Сл1. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С2. Безопасность при использовании.	Сл2. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С3. Использование хорошей научно-исследовательской базы.	Сл3. Вероятность получения брака.
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Отсутствие собственных производственных площадей.
С5. Надежность продукции.	
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.

В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У3. Смена поставщиков.
В4. Сотрудничество с зарубежными фирмами в данной отрасли.	

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

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

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	-	-	-	-
	В2	-	-	-	-	+
	В3	+	-	-	+	-
	В4	-	-	-	+	-

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

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	+	+	-
	В2	-	-	-	-
	В3	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-

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

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	+	-	-	+
	У2	-	+	-	+	+

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

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

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Относительно низкая цена исходного сырья. С2. Безопасность при использовании. С3. Использование хорошей научно-исследовательской базы. С4. Экологичность технологии. С5. Надежность продукции.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Высокие требования к экспериментальному оборудованию. Сл2. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл3. Вероятность получения брака. Сл4. Отсутствие собственных производственных площадей.</p>
<p>Возможности В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж. В4. Сотрудничество с зарубежными фирмами в данной отрасли.</p>	<p>Направления развития В2С5. Надежность продукции позволяет расширить потенциальный спрос на новые разработки. В3С1С4. Относительно низкая цена исходного сырья и экологичность технологии являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок. В4С4. Экологичность технологии может дать начало сотрудничеству с зарубежными фирмами в данной отрасли.</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл1Сл2Сл3. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>
<p>Угрозы У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.</p>	<p>Угрозы развития У1С2С5. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, продукция надежна и безопасна.</p>	<p>Уязвимости У2Сл1Сл2Сл3. Введение систем совершенствования производственных процессов удовлетворит требования</p>

У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	У2С2С4С5. Безопасность при использовании, надежность продукции и экологичность технологии являются основой для привлечения клиентов на мировом рынке.	исследования, снизит погрешности, неопределенности и вероятность получения брака.
---	---	---

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

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	-------	------------------	-----------------------

Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

1.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ		
-----------------	--------------------	--	--

	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}i$, чел-дни		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	10,2	69	68,5	102

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	▨												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	▨ ■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■											
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■										
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			▨ ■										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■									
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■	■	■						
8	Обработка полученных данных	Исп2	18								■	■	■			
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5										▨ ■			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13											■	■	■

Примечание:

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

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Данная часть включает затраты всех материалов, используемых при получении образца – стальная подложка с силикатно-эмалевым покрытием. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение образцам

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Песок	кг	0,04	1091	43,64
Оксид кальция	кг	0,008	150	1,2
Глинозём	кг	0,04	85	3,4
Борная кислота	кг	0,01	300	3
Сода	кг	0,02	150	3
Селитра калиевая	кг	0,009	130	1,17
Пирролюзит	кг	0,004	50	0,2
Криолит	кг	0,007	30000	210
Литий углекислый	кг	0,004	80	0,32
Двуокись титана	кг	0,002	4900	9,8
Оксид меди	кг	0,002	100	0,2
Магnezия	кг	0,006	1000	6
Оксид кобальта	кг	0,002	3000	6
Оксид никеля	кг	0,003	1310	3,93
Стальная подложка	м ²	0,0025	1955	4,89
Перчатки резиновые, технические	пар	1	45	45
Итого:				341,75

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	Лабораторные весы VIBRA AB 323CE	1	3	0,16	33	43 600	191
2	Сушильный шкаф LOIP LF-25/350-GG1	1	5	0,1	20	48 516	80
3	Планетарная мельница Fritsch Pulverisette 6	1	25	0,1	4	760 671	253
4	Установка индукционного нагрева ИМ 60-8-50	1	10	0,1	10	744 000	620
Итого:						1144руб.	

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

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

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

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{26\,666 \cdot 11,2}{213} = 1402,2 \text{ руб.}, \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

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

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} * (1 + k_{np} + k_d) * k_p = 13\,675 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

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

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_m , руб	$Z_{\partial n}$, руб	T_p , раб.дн.	Z_{ocn} , руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	13675	0,3	0,2	1,3	26666	1402,2	68,5	96050,7
Итого:								125039,3

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

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

– для инженера:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{ocn} = 0,15 \cdot 96050,7 = 14407,6 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

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

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

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

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3(96050,7 + 14407,6) = 33137,5 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

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

4.3.5 Накладные расходы

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

Таблица 4. 15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
1144	341,75	125039,3	18755,9	43138,6	188419,5

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

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

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НР «Силикатно-эмалевое покрытие для

трубопроводов» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	341,75	303,6	298,33	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	1144	2256	1355	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	125039,3	125039,3	125039,3	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18755,9	18755,9	18755,9	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	43138,6	43138,6	43138,6	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	37683,9	37683,9	37683,9	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		226103,45	227177,3	226271,03	Сумма ст. 1- 6

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

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

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) ООО «Эмаль-Ставан»;
- 2) ООО НПП «ПромТехЭмаль»

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 226103,5$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 227177,3$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 226271,0$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{226103,5}{227177,3} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{227177,3}{227177,3} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{226271,0}{227177,3} = 0,99.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) и вариант 3 (ООО НПП «ПромТехЭмаль») считаются более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик,

распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	5	4	4
2. Надежность	0,2	4	5	5
3. Технические характеристики	0,2	4	3	4
4. Механические свойства	0,3	4	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,3	4	3,9

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 * 5 + 0,2 * 4 + 0,2 * 4 + 0,3 * 4 + 0,15 * 5 = 4,3;$$

$$I_{p1} = 0,15 * 4 + 0,2 * 5 + 0,2 * 3 + 0,3 * 4 + 0,15 * 4 = 4;$$

$$I_{p1} = 0,15 * 4 + 0,2 * 5 + 0,2 * 4 + 0,3 * 3 + 0,15 * 4 = 3,9.$$

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

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

$$I_{исп.1} = \frac{4,3}{0,99} = 4,34; \quad I_{исп.1} = \frac{4,0}{1} = 4,0; \quad I_{исп.1} = \frac{3,9}{0,99} = 3,94.$$

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

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	4,0	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,34	4,0	3,94
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,92	0,91

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

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

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

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 226103,45 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,99, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной;

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

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,34, по сравнению с 4,0 и 3,94, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.