

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

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки Химическая технология  
 Отделение химической инженерии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модификация темных нефтеполимерных смол и разработка защитных покрытий на их основе

УДК 621.45.038.72:678.742.073

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ81	Горюнов Артём Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Л.И.	к.х.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Л.И.	к.х.н., доцент		

Томск – 2020 г.

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

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) Химическая технология  
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Бондалетова Л.И.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

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

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ81	Горюнову Артёму Дмитриевичу

Тема работы:

Модификация темных нефтеполимерных смол и разработка защитных покрытий на их основе	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 10652/С от 06.12.2018 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Объектом исследования является темная нефтеполимерная смола, получаемая в процессе окисления тяжелой смолы пиролиза.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>Литературный обзор  Экспериментальная часть  Обсуждение результатов  Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  Социальная ответственность  Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<td data-bbox="659 1025 1546 1093"> </td>	
<td data-bbox="659 1093 1546 1164"> </td>	

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Литературный обзор</p>	
<td data-bbox="223 1350 1546 1417"> </td>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>03.09.2018 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>Доцент</p>	<p>Бондалетова Л.И.</p>	<p>к.х.н.</p>	<td data-bbox="1362 1675 1525 1720"> <p>03.09.18</p> </td>	<p>03.09.18</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>2ДМ81</p>	<p>Горюнов Артём Дмитриевич</p>	<td data-bbox="1362 1827 1525 1892"> <p>03.03.18</p> </td>	<p>03.03.18</p>

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ81	Горюнов Артём Дмитриевич

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Химическая инженерия</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оценить стоимости материально-технических ресурсов для проведения модификации темной нефтеполимерной смолы с последующим получение битумно-смоляных композиций</i>
--	---

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета разработки</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования</i>
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения</i>

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График проведения и бюджет проекта</li> <li>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки</li> </ol>
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

#### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		31.01.2020

#### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ81	Горюнов Артём Дмитриевич		31.01.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 2ДМ81	<b>ФИО</b> Горюнову Артёму Дмитриевичу
------------------------	---

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОХИ</b>
Уровень образования	Магистратура	ИШПР ОХИ	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Модификация темных нефтеполимерных смол и разработка защитных покрытий на их основе	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><u>Объектом исследования</u> является темная нефтеполимерная смола. Материал исследуется на способность использования его в качестве модификатора битума.</p> <p><u>Объект исследуется по методике</u> определения кислотного числа.</p> <p><u>Рабочая зона:</u> лаборатория ТПУ</p> <p><u>Область применения:</u> использование в защитных покрытиях.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <p>1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства</p> <p>1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p>	<p>– ТК РФ, N 197 –ФЗ;</p> <p>– ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения);</p> <p>– ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования;</p> <p>– ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание;</p> <p>– ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>– отклонение показателей микроклимата;</p> <p>– превышение уровня шума;</p> <p>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>– повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</p> <p>– повышенная температура поверхностей оборудования;</p>

	<p>– химические вещества, действие которых может привести к повреждению целостности тканей организма и (или) нарушению его нормального функционирования;</p> <p>– взрывоопасные, легковоспламеняющиеся вещества</p>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>– воздействие на жилую зону нет.</p> <p>– возможна контаминация воздушной среды парами толуола, ацетона, хлороформа.</p> <p>Необходимо работать в ламинарном шкафу при включенной вентиляции, утилизация отработанного материала непосредственно после опыта;</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>– пожар;</p> <p>– взрыв;</p> <p>– выброс химически опасных веществ и т.д.;</p> <p>– наиболее типичная ЧС – выброс химически опасных веществ.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ81	Горюнов Артём Дмитриевич		

## Планируемые результаты обучения по ОПП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий химического производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на мировом рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, эксплуатировать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей сред
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

## Реферат

Выпускная квалификационная работа изложена на 133 страницах, содержит 9 рисунков, 45 таблиц, 98 источников, одно приложение.

Ключевые слова: темная нефтеполимерная смола, нитрованная темная нефтеполимерная смола, восстановленная темная нефтеполимерная смола, модификация, нитрование, восстановление, битумно-смоляные композиции.

Объектом исследования является темная нефтеполимерная смола, полученная в результате окисления тяжелой смолы пиролиза.

Цель работы – проведение модификации темной нефтеполимерной смолы посредством нитрования и последующего восстановления для создания битумно-смоляных композиций с улучшенными защитными свойствами.

В процессе исследования проводились: нитрование темной нефтеполимерной смолы; восстановление нитрованной темной нефтеполимерной смолы; разработка битумно-смоляных композиций; анализ полученных смол; проверка свойств смол и битумно-смоляных покрытий.

В результате исследования разработан способ получения битумно-смоляных композиций на основе битума и смол.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: процесс модификации финансово малозатратный и не приводит к образованию побочных продуктов.

Область применения: полученные результаты имеют практическую и теоретическую значимость для химической и нефтехимической промышленности.

Экономическая значимость работы: проект эффективен и конкурентоспособен, срок окупаемости составляет 1,98 года.



## Обозначения и сокращения

ЖПП – жидкие продукты пиролиза;

НПС – нефтеполимерная смола;

ТНПС – темная нефтеполимерная смола;

ТСП – тяжелая смола пиролиза;

ТНПС<sub>1</sub> – темная нефтеполимерная смола, полученная окислением в присутствии Со сиккатива;

ТНПС<sub>2</sub> – темная нефтеполимерная смола, полученная окислением в присутствии Mn сиккатива;

N-ТНПС<sub>1</sub> – нитрованная ТНПС<sub>1</sub>;

N-ТНПС<sub>2</sub> – нитрованная ТНПС<sub>2</sub>;

A-ТНПС<sub>1</sub> – восстановленная ТНПС<sub>1</sub>;

A-ТНПС<sub>2</sub> – восстановленная ТНПС<sub>2</sub>;

БСК – битумно-смоляная композиция;

НИР – научно-исследовательская работа.

## Нормативные ссылки

ГОСТ 5985-79 Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа.

ГОСТ Р 57941-2017 Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Качественный анализ.

ГОСТ 9.402–2004 Покрытия лакокрасочные.

ГОСТ 6806-53 Лаки и краски. Методы испытаний. Определение прочности пленок при изгибе.

ГОСТ 4765-73 Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе.

ГОСТ 32299-2013 Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва.

ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ Р 54578-2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия.

ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования.

ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка.

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 20015-88 Хлороформ. Технические условия.

ГОСТ 5789-78 Реактивы. Толуол. Технические условия.

ГОСТ 2768-84 Ацетон технический. Технические условия.

ГОСТ 6617-76. Битумы нефтяные строительные. Технические условия.

ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

ГОСТ 4461-77 Реактивы. Кислота азотная. Технические условия.

ГОСТ 3118-77 Реактивы. Кислота соляная. Технические условия.

ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка.

ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор .....	17
1.1 Тяжелая смола пиролиза .....	17
1.2 Переработка тяжелой смолы пиролиза.....	19
1.3 Темная нефтеполимерная смола .....	20
1.4 Битум.....	25
1.5 Модификация темных нефтеполимерных смол .....	28
1.5.1 Нитрование .....	30
1.5.2 Восстановление .....	32
1.6 Битумно-смоляные композиции.....	33
1.7 Актуальность битумно-смоляных защитных покрытий.....	34
2 Экспериментальная часть .....	37
2.1 Характеристика исходных веществ .....	37
2.2 Нитрование темной нефтеполимерной смолы.....	41
2.3 Восстановление нитрованной темной нефтеполимерной смолы до аминогрупп.....	42
2.4 Определение кислотного числа.....	43
2.5 Инфракрасная спектроскопия .....	44
2.6 Приготовление битумно-смоляных композиций.....	44
2.7 Нанесение покрытий .....	45
2.8 Определение прочности при изгибе .....	45
2.9 Определение прочности при ударе .....	46
2.10 Определение адгезии методом отрыва .....	47
2.11 Определение краевого угла смачивания .....	48
2.13 Исследование антикоррозионных свойств битумно-смоляных покрытий методом погружения .....	50
3 Обсуждение результатов .....	51
4 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение .....	60

4.1 Предпроектный анализ.....	60
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	67
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	70
4.2.1 Цели и результаты проекта .....	70
4.2.2 Организационная структура проекта .....	71
4.2.3 Ограничения и допущения проекта .....	72
4.3 Планирование научно-исследовательских работ .....	73
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	73
4.3.2 План проекта .....	74
4.3.3 Бюджет научного исследования .....	75
4.3.4 Организационная структура проекта .....	80
4.3.5 План управления коммуникациями проекта .....	81
4.3.6 Реестр рисков проекта .....	82
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	82
4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	82
4.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV) .....	83
4.4.3 Индекс доходности (PI).....	84
4.4.4 Внутренняя ставка доходности (IRR) .....	85
4.4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	88
5 Социальная ответственность.....	92
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	93
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	94
5.2 Производственная безопасность .....	95

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	96
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя .....	101
5.3 Экологическая безопасность .....	104
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	106
Заключение .....	109
Список литературы .....	110
Приложение А .....	120

## Введение

*Актуальность темы.* Процесс пиролиза уже давно является важнейшей частью нефтехимической промышленности. Данный процесс предназначен главным образом для получения этилена и пропилена из широкой фракции легких углеводородов, сжиженного углеводородного газа, бензина газового стабильного и бензина. Вместе с целевыми газообразными продуктами образуется большое количество жидких продуктов пиролиза (ЖПП), которые являются побочными. Выделяемые жидкие продукты подразделяются на пироконденсат (легкая смола пиролиза), температура кипения которого ниже 200 °С, и тяжелую смолу пиролиза (ТСП), температура кипения которой выше 200 °С [1].

Ранее проблема рационального использования тяжелых фракций ЖПП оставалась без внимания. Об этом свидетельствует факт, что на большинстве отечественных предприятий не предусматривалась переработка тяжелых фракций и все эти побочные продукты реализовывались как котельное топливо, тем самым нанося вред окружающей среде.

Одним из перспективных способов переработки ТСП является продувка воздухом в присутствии инициаторов и катализаторов, результатом чего становится получение ТНПС, представляющих собой полимерные продукты, находящие широкое применение (в том числе как компонент защитных покрытий).

Повышение характеристик ТНПС может быть достигнуто посредством введения различных функциональных групп в структуру смолы. Химическая модификация НПС осуществляется взаимодействием смол с непредельными карбоновыми кислотами, их ангидридами, галогенангидридами, кислородом воздуха, пероксидами, гидропероксидами, озоном, азотной кислотой.

Целью данной работы является модификация темных нефтеполимерных смол методом нитрования и последующего восстановления; приготовление битумно-смоляных покрытий с последующей

проверкой их физико-механических свойств, а также коррозионной устойчивости в растворе кислот, оснований и солей.

#### *Научная новизна*

Впервые получены модифицированные ТНПС, которые могут выступать в качестве полимерных добавок к битуму.

Показано, что введение полярных групп в структуру ТНПС позволяет придать покрытиям на основе смолы лучшие прочностные и адгезионные характеристики, а также повысить антикоррозионные свойства.

Установлено, что адгезионная прочность покрытий на основе БСК, включающих все синтезированные смолы, выше, чем у битумных покрытий.

#### *Практическая значимость*

1. Разработаны покрытия на основе битумно-смоляных композиций с содержанием от 1 до 15 % смол с улучшенными адгезионными характеристиками покрытий, увеличивающимися от 0,68 до 2,15 МПа.

2. Получены покрытия на основе БСК с высокими показателями прочности при ударе и изгибе.

#### *Апробация материалов диссертации*

Результаты работы докладывались на XX и XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, 2019, 2020 г.); на Всероссийской научной конференции преподавателей и студентов ВУЗов «Актуальные проблемы науки о полимерах» (г. Казань 2020 г.).



# 1 Литературный обзор

## 1.1 Тяжелая смола пиролиза

При производстве низших олефинов помимо целевых продуктов на этиленовых установках образуется также значительное количество жидких продуктов пиролиза (ЖПП), условно подразделяющиеся на легкую ( $T_{кип}$  40-200 °С) и тяжёлую ( $T_{кип}$  более 200 °С) смолы пиролиза. Количество и состав ЖПП зависит как от исходных продуктов, так и от режима пиролиза. Выход ЖПП возрастает по мере увеличения молекулярной массы пиролизуемого сырья и уменьшается с ужесточением режима пиролиза (таблица 1). При этом происходит изменение состава ЖПП, которое характеризуется повышением концентрации в них ароматических углеводородов, а также высококипящих (выше 200 °С) фракций – ТСП. Если содержание высококипящих фракций в ЖПП среднетемпературного пиролиза (770 – 780 °С) бензина составляет 13 - 15 %, то при переходе к высокотемпературным режимам процесса эта величина достигает 18 – 20 %. При пиролизе атмосферного газойля содержание ТСП в ЖПП составляет уже около 50 % [2].

Таблица 1 – Влияние вида углеводородного сырья и режима процесса пиролиза на выход жидких продуктов

Сырьё пиролиза	Режим процесса пиролиза			Выходы в расчёте на исходное сырьё пиролиза, %	
	T, °С	Время контакта, с	Водяной пар, %	ЖПП	ТСП
Этан	820	0,8 – 1,0	10 – 15	2,0 – 5,0	0,7 – 1,2
Пропан	775	0,8 – 1,0	15	5,0 – 7,0	1,2 – 1,6
	800	0,8 – 1,0	15	7,0 – 8,0	1,6 – 1,8
	810 – 820	0,8 – 1,0	15	8,0 – 10,0	1,8 – 2,0
Бутан	810 – 820	0,8 – 1,0	20	8,0 – 10,0	1,8 – 2,0

Сырьё пиролиза	Режим процесса пиролиза			Выходы в расчёте на исходное сырьё пиролиза, %	
	Т, °С	Время контакта, с	Водяной пар, %	ЖПП	ТПС
Прямогонный бензин (30 - 165 °С)	740	0,8 – 1,0	50	39,0	2,0 – 2,2
	760	0,8 – 1,0	50	30,0	2,5 – 3,0
	780	0,8 – 1,0	50	26,0	4,0 – 4,5
	815 – 820	0,4 – 0,5	50	25,0	4,0 – 5,0
	830 – 840	0,3 – 0,4	50	24,0	4,5 – 5,0
Атмосферный газойль	800 – 810	0,4 – 0,5	100	41,0 – 42,0	18,0 – 20,0
Вакуумный газойль	760 – 780	0,5 – 0,7	100 – 120	45,0	24,0 – 26,0

Таким образом, выработка ТСП в расчёте на исходное сырьё, существенно зависит от режима пиролиза и сырья. При замене лёгкого углеводородного сырья на средние и тяжёлые нефтяные фракции и “ужесточении” режима пиролиза происходит общее увеличение выхода ЖПП и доли ТСП.

К тяжелым смолам пиролиза относятся фракции углеводородов, температура кипения которых 190 – 200 °С. Данные фракции имеют близкий элементарный и групповой состав, а также характеристики:

- плотность 1003 – 1140 кг/м<sup>3</sup>;
- молекулярная масса 276 – 334;
- коксуемость 9,8 – 22,4 %.

В основном эти продукты состоят из би-, три- и полициклических ароматических углеводородов (51 – 67 %), смол и асфальтенов (24 – 39 %). ТСП может использоваться как сырьё для выделения нафталина, для получения сажи, кокса, ТНПС.

## 1.2 Переработка тяжелой смолы пиролиза

ТСП является ценным техническим продуктом (хорошее котельное топливо) благодаря высокому содержанию ароматических углеводородов в своем составе. При ее коксовании получают высококачественный нефтяной кокс. В результате переработки смолы получают нефтяные пеки, превосходящие по ряду показателей такое традиционное связующее, как каменноугольный пек.

Состав и свойства ТСП определяют возможность их использования для получения различных веществ и говорят о перспективе многоцелевого использования [3].

– Высокое значение удельного веса, концентрации полициклических ароматических соединений, наряду с малым содержанием серы позволяет эффективно использовать ТСП в производстве технического углерода, саж. Это вариант использования ТПС в короткий срок нашло промышленную реализацию на отечественных производствах.

– ТСП является ценным сырьём для производства кокса различных марок.

– Присутствие алкенилароматических углеводородов в ТСП позволяет организовать на её основе производство тёмных полимерных материалов, являющихся смягчителями в резиновой промышленности.

– При гидрировании отдельных фракций ТСП, содержащей би- и трициклические ароматические углеводороды возможно получение топлива.

– За счет высокого содержания нафталина и его гомологов смола является ценным сырьем для его производства.

Получение технического углерода является наиболее многотоннажным направлением переработки смолы коксованием при температуре 1000 – 1300 °С [4]. Было установлено, что фракция 250 – 450 °С ТСП соответствует всем необходимым требованиям для сырья в производстве технического

углерода. Сравнительная оценка качества и выхода технического углерода из фракций 250 – 450 °С ТСП и пироконденсата (эталон) показала, что выход технического углерода из образцов ТСП на 6 – 8 % выше, чем из пироконденсата. Данные результаты доказывают возможность переработки ТСП с целью получения технического углерода.

На данный момент существует ряд схем комплексной переработки ТПС. Они предусматривают не только получение ТНПС или пеков, но и позволяют выделять узкие фракции из углеводородов, отгоняемых в ходе процесса. Данные схемы переработки главным образом заключены в отделении олигомеров и асфальто-смолистых веществ за счет однократного испарения и дальнейшей ректификации полученных дистиллятов [5].

### 1.3 Темная нефтеполимерная смола

Одним из перспективных направлений переработки ТСП является производство на её основе ТНПС. Предпочтительным способом такой переработки является термоокислительная полимеризация, которая позволяет проводить процесс при относительно низких температурах и давлениях по сравнению с методами, в которых ТСП является сырьем для коксования или олигомерных материалов. Данные способы предполагают термообработку ТСП с дальнейшим продуванием реакционной массы кислородом воздуха при температуре 130-150 °С. Но без применения катализаторов выход целевого продукта по сравнению с предыдущим методом низок и составляет 35 % [2].

В работе [6] описаны свойства ТНПС полученных окислением ТПС при температуре 120 – 170 °С в течение 5 – 18 часов без солей металлов переменной валентности (окисление вели при расходе газа-окислителя 40 час<sup>-1</sup> до получения определённой вязкости, далее проводили отгонку незаполимеризовавшихся углеводородов при давлении 10 мм рт. ст.). Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Условия синтеза и свойства полученных ТНПС

№	Условия синтеза			Свойства ТНПС				
	газ	Т, °С	Время час	Вязкость $10^{-4}$ м <sup>2</sup> /с	Выход, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Бромное число, г I <sub>2</sub> /100 г	Температура размягчения по КиШ, °С
1	Воздух	100	40	350	68	1,04	97,4	70
2	Воздух	120	18	500	72	1,02	95,5	90
3	Кислород	120	15	550	89	1,01	93,4	100
4	Воздух	140	10	400	69	1,01	89,7	115
5	Воздух	160	7	500	65	0,96	62,1	130
6	Воздух	170	5	700	62	1,13	55,4	150
7	Воздух	180	5	1000	57	1,14	43,2	160
8	Кислород	200	5	10000	49	1,16	38,6	165

Согласно данным, отображенным в таблице 2, проведение данного процесса при температуре ниже 120 °С приводит к увеличению времени проведения процесса, что является нецелесообразным. При температуре выше 170 °С происходит увеличение уноса сырья с продуваемым воздухом, из-за чего уменьшается выход ТНПС.

Недостатками такого метода получения ТНПС является низкий выход, загрязнение окружающей среды за счет уноса части сырья продуваемым воздухом и в ряде случаев высокая температура проведения процесса.

В патентах [7-9] предложены методы получения ТНПС с высоким выходом, которые осуществляются продувкой ТСП кислородом воздуха в присутствии инициаторов и катализаторов. В качестве катализаторов и инициаторов процесса возможно использование соединений металлов переменной валентности, такие, как Со, Ni, Mn, Fe, алюминийорганические соединения (АОС): диэтилалюминийхлорид (ДЭАХ), триэтилалюминий (ТЭА), триизобутилалюминий (ТИБА), либо шламы – отходы производства

АОС. Применение указанных катализаторов и инициаторов позволяет увеличить выход ТСП до 70 %, и снизить температуру процесса до 130 - 150 °С, уменьшить время процесса до 3 – 6 часов и проводить процесс при атмосферном давлении.

В таблице 3 приведены условия синтеза с использованием металлов переменной валентности и свойства ТНПС [10].

Таблица 3 – Свойства ТНПС, катализатор – соединения металлов переменной валентности и АОС

Соединение	Концентрация, % по металлу	Время реакции, час	Выход, %	Температура размягчения по КиШ, °С	Иодное число, г I <sub>2</sub> /100 г
Резинат кобальта	0,5	8	70	68	48,4
Резинат марганца	1,0	8	69	68	51,0
Резинат никеля	1,5	10	68	65	51,8
Резинат железа	1,0	10	66	69	52,4
ТЭА	0,236	6	68	67	50,0
ДЭАХ	0,224	6	65	64	49,6
ТИБА	0,136	6	65	65	48,9

\* - температура 140 °С, расходе воздуха 20 час<sup>-1</sup>.

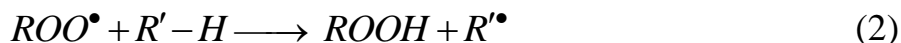
Несмотря на то, что процесс получения ТНПС малоизучен, опираясь на сведения об окислении ароматических углеводородов, механизм получения темных нефтеполимерных смол можно представить следующими схемами [11, 12]:

- Радикалы  $R^\bullet$ , возникшие на стадии иницирования, при взаимодействии с кислородом образуют пероксирадикал [13, 14]:



- Пероксирадикал реагирует с наиболее активными метиленовыми группами, находящимися в  $\alpha$  - положении относительно двойной

связи, или с наиболее ослабленными С – Н связями конденсированных углеводородов. В результате этой реакции будет совершаться отрыв атома водорода с образованием гидроперекиси и алкильного радикала:



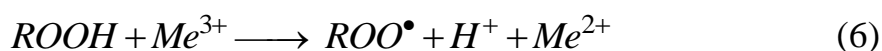
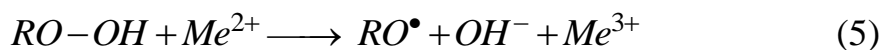
- Из-за наличия непредельных ароматических углеводородов, радикал, образованный из конденсированного углеводорода, может либо присоединить кислород и превратится в пероксирадикал по реакции (1), либо прореагировать с непредельной связью соседнего углеводорода. Повторение таких реакций характерно для радикальной полимеризации. Далее, макрорадикал может либо реагировать с кислородом с образованием пероксида, и в дальнейшем его превращения могут идти по схеме цепного жидкофазного окисления, либо увеличивать свою молекулярную массу благодаря протеканию радикальной полимеризации. Наиболее вероятно, что в этом случае идёт смешанный процесс.



- В случае встречи пероксирадикала с другим радикалом, будет происходить реакция рекомбинации между ними, приводящая к образованию пероксидного соединения.



- Образующиеся в ходе процесса гидропероксидные соединения могут распадаться на радикалы как под действием температуры, так и под действием металлов переменной валентности (Fe, Co и т.д.) [15], например:

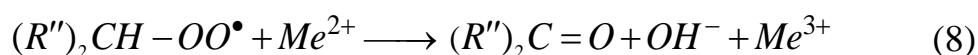


- Наличие металла в трехвалентной форме способствует не только разрушению гидропероксидных соединений, но инициированию реакции [16]:



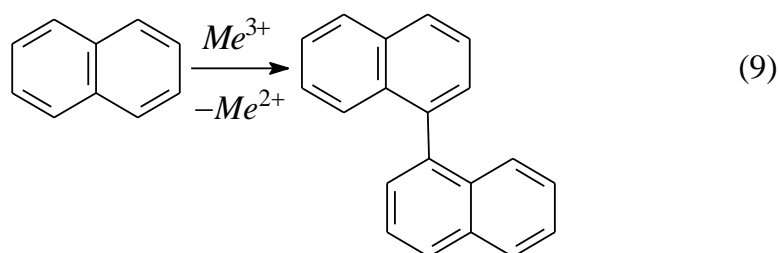
В итоге в среде снова возникают активные радикалы.

- Двухвалентная форма металла, характерная для кобальтового катализатора является также ингибитором окисления. Кобальтовые катализаторы могут вступать в реакцию с пероксидными радикалами, образуя кетон или альдегид:



Данная реакция (8) объясняет индукционный период, характерный для марганцевых и кобальтовых катализаторов. На начальном этапе окисления происходит изменение валентности металла (из двухвалентного состояния в трёхвалентное) [17, 18].

Так как марганцевый и кобальтовый катализаторы обладают низкой селективностью, помимо приведённых выше схем при температурах около 150 °С возможно заметное протекание реакции с образованием конденсированных ароматических соединений [16, 19] по следующей схеме:



Протекание данной реакции (9) обусловлено образованием свободных радикалов по схеме (7) [16].

Требования, предъявляемые к ТНПС, в зависимости от области применения могут меняться. В связи с частым использованием смол как компонент композиции с другими веществами, одними из важнейших свойств являются растворимость в определенных растворителях и совместимость с компонентами образуемой композиции [1].



Важными свойствами для применения смол являются пленкообразование, устойчивость к кислотам и щелочам, высокая водостойкость [1].

ТНПС является результатом окисления таких тяжелых побочных продуктов пиролиза этилен-пропиленовых производств, как нафталин, изомеры метил- и диметилнафталина и др. Окисление проходит в присутствии солей карбоновых кислот, например: соли калия, марганца. От условий окисления зависят свойства ТНПС.

ТНПС обладают хорошей растворимостью в ароматических углеводородах, хлорпарафинах, сложных эфирах, парафинах, циклопарафинах и других растворителях. Как правило, смолы обладают плохой или частичной растворимостью в простых эфирах, гликолях и спиртах. Данные смолы обладают хорошей совместимостью с полистиролом, каучуками, пластификаторами типа сложных эфиров, алкидными и фенольными смолами [1].

ТНПС могут быть жидкими, каучукоподобными и твердыми. Жидкие смолы, как правило, являются промежуточными продуктами для получения твердых. Они термопластичны, отсутствие резкого перехода из одного агрегатного состояния в другое является характерным для них поведением при нагревании.

#### 1.4 Битум

Битумы – жидкие, полутвердые, твердые углеводороды, являющихся смесью высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, также содержащих такие примеси как кислород, серу, азот и металлы.

Битумы могут быть природного происхождения, и полученные при переработке нефти, торфа, углей и сланцев [20].

Как правило элементарный состав битумов зависит от географического расположения. Так, например, содержание серы в битумах, полученных из нефти аргентинских месторождений составляет всего 0,6 % мас., а на мексиканских 6,1 % мас [20].

Усредненный элементарный состав битумов представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Элементарный состав битумов

Элемент	Содержание, % мас.
Углерод	80–85
Водород	8–11,5
Кислород	0,2–4
Сера	0,5–7
Азот	0,2–0,5

Известно, что остатки нефтепереработки являются основным сырьем для производства битумов. Однако с недавнего времени были отмечены заметные изменения химического состава нефти, важными из которых являются утяжеление нефти и увеличение содержания твердых парафинов. Такая тенденция вызывает нестабильность качества поступающего для производства битума сырья и создает ограничения в возможности получения битумов с заданными физико-химическими характеристиками [21].

Для улучшения эксплуатационных характеристик нефтяных битумов было предусмотрено использование новых технических процессов, основанных на углублении переработки поступающего сырья и улучшении качества вырабатываемых продуктов. Недостатком внедрения новых производственных процессов и технологий является рост финансовых и энергетических затрат, закономерным результатом чего является увеличение себестоимости производимого битума.

Главными минусами большинства битумов, как защитных покрытий, являются низкая адгезия к поверхности металла, высокая хрупкость при

пониженной температуре и невысокие защитные характеристики. Перечисленные недостатки не дают возможность успешно использовать битумы в роли защитных покрытий.

Модификация является одним из перспективных вариантов повышения качества нефтяных битумов. Включение в состав битума различных добавок (полимеров, пластификаторов, масел, отходов нефтехимических производств) обеспечивает необходимые эксплуатационные характеристики [22]. Модификаторами битума могут быть полимеры, такие как атактический или изотактический полипропилен, блок-сополимер бутадиена и стирола [23, 24]. В производстве кровельных и гидроизоляционных материалов битумы модифицируются каучуками, резинами [25, 26]. За последнее время крупнотоннажные отходы и побочные продукты нефтехимических производств (жидкие продукты пиролиза (ЖПП), в частности) вызывают все больший интерес как модификаторы битума. Такими модификаторами могут также быть различные ароматические, алифатические нефтеполимерные смолы [27, 28].

Использование продуктов полимеризации в качестве модификаторов битума имеет ряд преимуществ перед использованием полимеров. Среди них можно выделить следующие: в первую очередь применение полимеров в роли модификатора битума приводит к увеличению себестоимости битумно-полимерной композиции за счет увеличения затрат на сырье и специальное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень смешения компонентов; во-вторых, благодаря пленкообразующей способности и высокой химической стойкости, которая есть у продуктов полимеризации, их применение в качестве модификаторов битума дает возможность расширить ассортимент битумных композиций [29].

## 1.5 Модификация темных нефтеполимерных смол

Поскольку свойства ТНПС, способные изменяться в широких диапазонах, значительно зависят от условий ее синтеза (каталитические или иницирующие системы), для получения смолы с лучшими физическими, химическими и механическими характеристиками целесообразно проводить модификацию.

Практическое использование смол существенно ограничивается в связи с отсутствием в полимерной цепи функциональных групп, кроме непердельных связей, из-за чего снижается адгезия и совместимость с другими пленкообразователями, содержащие в своем составе гидроксильные, карбоксильные и сложноэфирные группы. Повышение физико-химических и технических характеристик светлых нефтеполимерных смол достигается путем введения полярных групп в их структуру простыми химическими превращениями, такими как окисление, озонирование, малеинизация, сополимеризация с ненасыщенными кислотами и др. [30].

В ряде работ [31, 32] для повышения полярности смол предложено окисление перманганатом калия, гипохлоритом натрия и перекисью водорода. Окисление смол, проводимое в уайт-спирите, являющегося органическим растворителем, при температуре 20 - 25 °С в течение часа, приводит к появлению в ее составе гидроксильных и карбонильных групп. Полученные окисленные смолы за счет высокой смачивающей способности по отношению к минеральным материалам могут использоваться в составе лакокрасочных материалов. Главный минус такого способа – образование достаточно больших количеств сточных вод и дороговизна катализатора.

В работе [33] рассмотрена модификация окислением перекисью водорода в присутствии межфазного катализатора молибденовокислого аммония с получением смол, содержащих до 19 % эпоксидных групп. Используется технология, позволяющая проводить окисление непердельных соединений гидропероксидом этилбензола в присутствии

молибденсодержащих катализаторов с селективностью по эпоксидной группе порядка 95 % [34]. В патенте [35] введение эпоксидных групп в структуру смол предлагается осуществлять с использованием пероксидных иницирующих систем с концевыми эпоксидными группами. Недостатком данного метода являются низкие технологические характеристики процесса, связанные с нестабильностью катализатора в условиях высоких температур.

В работах [36, 37] прилагается способ получения кислородсодержащих смол методом озонирования ненасыщенных углеводородов смесью кислорода и озона. Озонирование смол позволяет увеличить содержание активного кислорода (суммы озонидных, пероксидных и гидропероксидных групп) и кислотного числа. Окисление озонированием осуществляется в ксилоле (является растворителем) в присутствии озono-кислородной смеси при 5 °С в течении 10 - 60 минут. Пероксидные, карбонильные, карбоксильные группы входят в состав полученных продуктов, что делает возможным улучшение адгезионных и прочностных характеристик покрытий на их основе [38]. Из-за своих высоких адгезионных и эластических свойств озонированные смолы рекомендованы к применению в целях получения лакокрасочных материалов, защитных покрытий. Помимо этого, такие смолы могут быть применяться как стабилизаторы и деэмульгаторы водомасляных эмульсий и адсорбентов [39].

Модификация смол малеиновым ангидридом (малеинизация) является наиболее распространенным способом получения кислородсодержащих смол. Смешение смол с малеиновым ангидридом в присутствии алюминийорганических катализаторов при температуре 180 - 185 °С при атмосферном давлении в течение 6 часов приводит к окислению смолы [40]. Малеинизированные нефтеполимерные смолы также синтезируются компаундированием нефтеполимерных смол и малеинового ангидрида в расплаве при температуре 180 °С в течение 4 часов [41]. Наличие двойных связей или  $\alpha$ -СН-связей в составе смолы дает ей возможность взаимодействовать с малеиновым ангидридом.

Ввод полярных кислородсодержащих групп в структуру смол осуществляется их взаимодействием с  $\alpha$ ,  $\beta$  - ненасыщенными дикарбоновыми кислотами, такими как малеиновая, фумаровая, итаконовая, цитраконовая, акриловой, метакриловой, а также их ангидридами [42]. Механизм окисления ненасыщенными дикарбоновыми кислотами, ангидридами протекают аналогично модификации малеиновым ангидридом. Полученные карбоксилированные смолы, которые обладают высокой адгезией и атмосферостойкостью, рекомендуется использовать в качестве компонентов лакокрасочных, изоляционных, противокоррозионных покрытий и материалов [43].

Таким образом, анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что химическая модификация окислением, озонированием, малеинизацией, сополимеризацией с ненасыщенными кислотами дает возможность вводить полярные группы в структуру нефтеполимерных смол, а за счет химического сходства светлых НПС и ТНПС данные типы модификации применимы и для темных смол. Модифицированные смолы обладают повышенными адгезионными и защитными характеристиками, что позволяет применять их в составе лакокрасочных, защитных антикоррозионных покрытий и материалов.

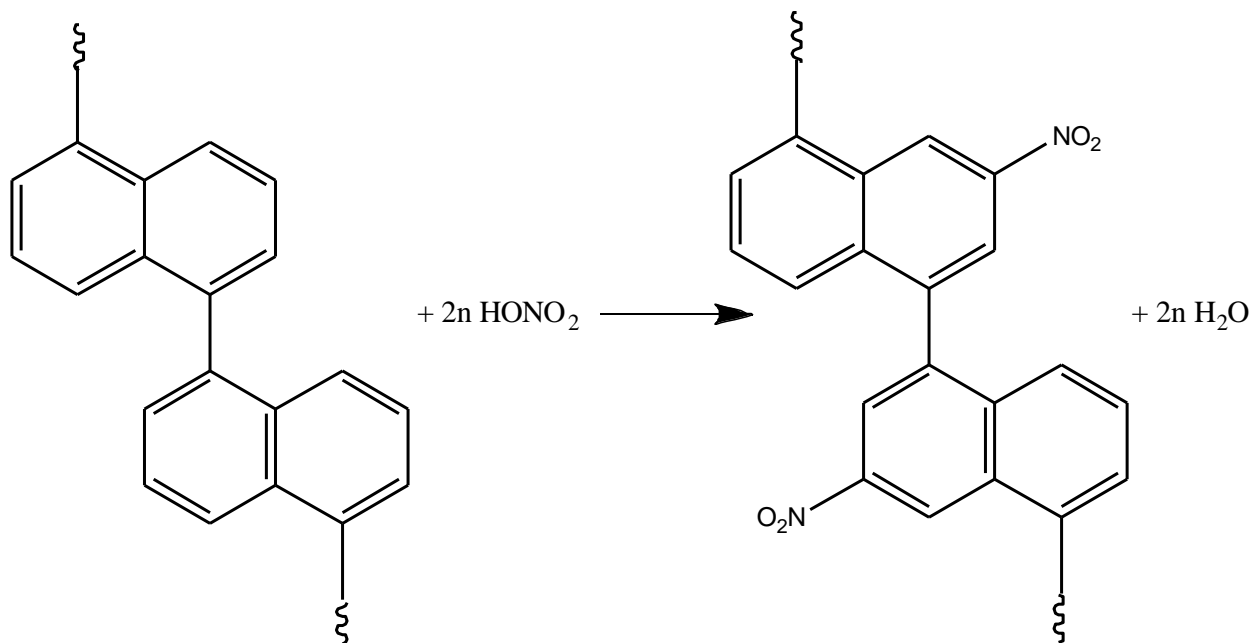
Опираясь на опыт прошлых работ [44], в рамках данной работы было проведено нитрование ТНПС с последующим восстановлением нитрогрупп до аминогрупп.

### 1.5.1 Нитрование

Целью нитрования является замена одного или нескольких атомов водорода, либо предельного углеводорода одной или несколькими нитрогруппами [45].

Нитросоединения содержат одновалентную группу  $-\text{NO}_2$ , атом азота которой связан с атомом углерода органического радикала.

Для проведения реакции нитрования применяют главным образом азотную кислоту [45]. Выбор азотной кислоты обусловлен тем, что ее использование имеет ряд преимуществ перед другими нитрующими агентами: простота дозирования, высокая эффективность и доступность.



Полнота проведения нитрования зависит как от концентрации применяемой кислоты, так и от условий процесса (время реакции и температура). Процесс нитрования, как и многие процессы в химии, сопровождается побочными процессами, приводящими к уменьшению выхода целевого продукта – нитросоединения. К таким нежелательным побочным процессам относится окислительное действие азотной кислоты на органическую молекулу [45].

Постоянное и интенсивное перемешивание реакционной смеси способствует хорошему контакту реагентов и снижает риск местных перегревов, что необходимо для успешного нитрования [44].

Для снижения окислительного воздействия азотной кислоты рекомендуется использовать концентрированную кислоту. Вместе с тем повышается ее нитрующая способность.

В работе [44] рассмотрен процесс модификации нефтеполимерной смолы путем нитрования азотной кислотой. Нитрование нефтеполимерной

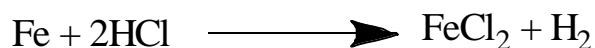
смолы, проводимое в бензине при температуре 60 °С в течение 180 минут, приводит к появлению в составе смолы нитрогрупп NO<sub>2</sub>. Полученные смолы, содержащие нитрогруппы, обладают более высокой температурой размягчения [44].

### 1.5.2 Восстановление

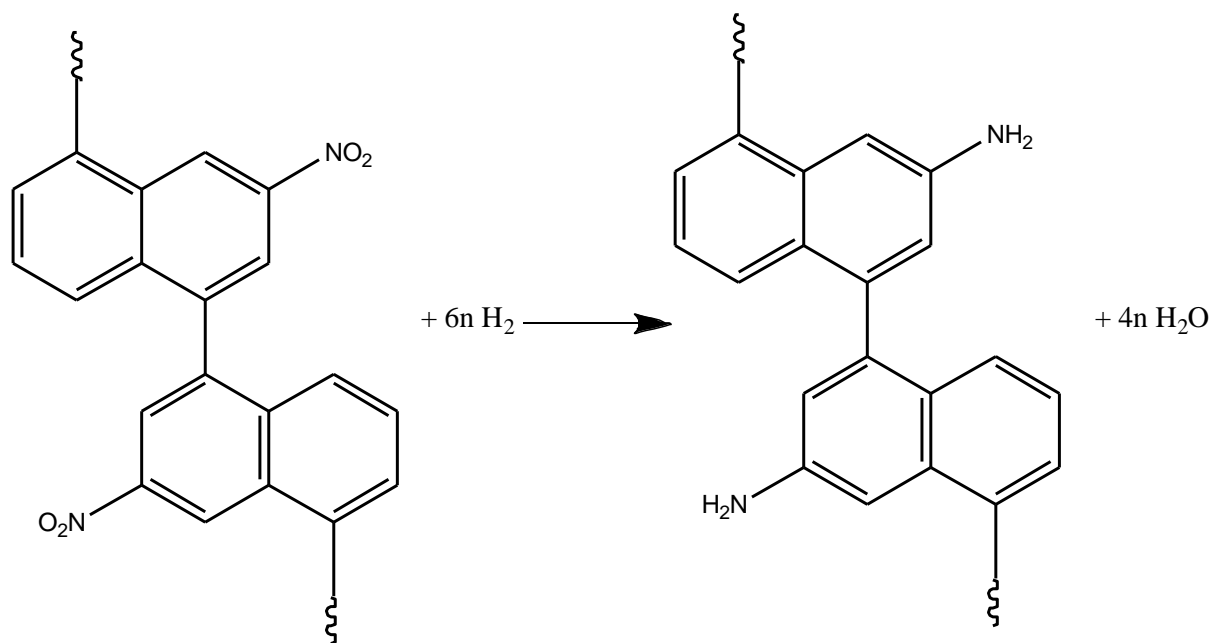
Главную роль в адгезионной прочности полимера к поверхности металла играет химическая природа адгезива. Важным является не столько количество полярных групп в адгезиве, сколько способность этих групп вступать в интенсивное взаимодействие с поверхностными группами субстрата, выполняя роль доноров электронов. Адгезионная прочность тем сильнее, чем сильнее выражены электронодонорные свойства функциональных групп. Между атомами металла и углеводородами в системе адгезив—субстрат возможны химические связи [46].

Поскольку нитрогруппы, присоединяющиеся к исследуемому веществу, являются электроакцепторными группами, их наличие негативно влияет на адгезионные свойства покрытия. Поэтому необходимо провести восстановление.

Распространенным способом восстановления является воздействие водорода, выделяющегося при обработке чугуна стружки соляной кислотой. После предварительной подготовки чугуна (просев, удаление пыли), стружка обезжиривается и протравливается соляной кислотой:







## 1.6 Битумно-смоляные композиции

Для повышения таких характеристик материала как прочность и долговечность рекомендовано использование битумно-полимерной композиции, состоящая из нефтяного битума и пространственно-структурированной добавки – темной нефтеполимерной смолы Пиропласт [47]. В работе [48] указывается, что при концентрации НПС 7 % в битумно-смоляной композиции возможно получать полимерно-битумные мастики с повышенными гидроизоляционными антикоррозионными свойствами. При концентрации 1 – 3 % НПС получена композиция дорожного битума с повышенной растяжимостью, эластичностью, адгезией [49]. Однако ни битумы, ни смолы, не содержат в своей структуре каких-либо функциональных групп, что не позволяет обеспечивать образование необходимых прочных хемосорбционных комплексов с поверхностью металла.

Для увеличения защитных характеристик битумных покрытий предлагается способ смещения нефтяного битума с модифицированными нефтеполимерными смолами [50]. Получаемые на основе битумно-смоляных

композиций покрытия имеют высокие антикоррозионные и гидроизоляционные свойства.

Вместе с высокой плёнкообразующей способностью, благодаря наличию неперекрещенных связей нефтеполимерные смолы обладают возможностью дальнейшей модификации с получением эффективных сера-, азот-, кислородсодержащих ингибиторов коррозии. Тем не менее, модифицирование битумов полимерами имеет ряд недостатков: недостаточная совместимость с битумом, для решения чего необходимо использование специального оборудования для улучшения смешения компонентов, короткий период эксплуатации (из-за старения). Перечисленные недостатки возможно устранить благодаря разработке более экономичных и эффективных покрытий на основе битума, модифицированного побочными продуктами нефтехимических производств, в частности темной нефтеполимерной смолой. Кроме этого, разработка защитных покрытий с использованием смол дает возможность решать серьезную для сегодняшнего дня проблему утилизации отходов химических и нефтехимических производств. Доступная сырьевая база дает возможность получать битумно-смоляные покрытия и материалы с высокими эксплуатационными свойствами. Улучшение адгезионной прочности, эффективности защиты битумно-смоляных покрытий осуществляется введением в их состав полярных групп.

### 1.7 Актуальность битумно-смоляных защитных покрытий

В России с каждым годом происходит увеличение невосполнимых потерь металлов из-за коррозионных разрушений на 10 – 15 % [51]. Самые крупные затраты из-за коррозии наблюдаются в энергетической, химической и нефтехимической промышленности, где используется достаточно большое количество металлических оборудования и конструкций [52].

Наиболее остро проблема коррозии ощущается в российском химическом и нефтехимическом производстве, где затраты от коррозии

металлов составляют 20 - 30 % общих потерь. В частности, нефтегазовое оборудование и конструкции (трубопроводные, магистральные коммуникации, оборудования для нефтепереработки) зачастую эксплуатируются в агрессивных для металлоконструкций химических средах и различных климатических условиях, из-за чего коррозионные повреждения происходят достаточно скоро [53].

Согласно аналитическим данным [54] коррозия трубопроводов и химического оборудования в 70 % случаев приводит к его отказу и авариям на производственных объектах, что влечет за собой загрязнение целевых продуктов и окружающей среды.

Одним из наиболее действенным способом борьбы с коррозионным разрушением является нанесение на защищаемую поверхность объекта лакокрасочных материалов, в том числе изоляционных покрытий на основе битума и битумно-полимерной композиции. Это обусловлено простотой технологии их изготовления и низкой себестоимостью. При нанесении таких изоляционных покрытий на поверхности металлов прекращаются или замедляются химические и электрохимические процессы.

Под коррозией понимается самопроизвольно протекающий необратимый процесс нарушения целостности металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия его с окружающей средой [55]. С течением времени металлическое оборудование, изделия и конструкции подвергаются химической и электрохимической коррозии. В отличие от химической коррозии, которая обычно протекает в газовой среде, электрохимическая коррозия происходит при контакте металлов с раствором электролитов [56].

Современные способы предотвращения коррозии металлов ориентированы на использование новых изоляционных материалов и совершенствование способов их нанесения, разработке более доступных и эффективных ингибиторов коррозии, применение различных технологических

мероприятий [57]. Эти методы делятся на четыре основные группы, нашедшие широкое применение в промышленности и сельскохозяйственной технике:

- Повышение антикоррозионного свойства и химического сопротивления конструкционных материалов, например легирование.
- Электрохимические способы защиты металлического объекта от коррозии, которые включают в себя катодную и протекторную защиту.
- Снижение агрессивности коррозионной среды (удаление из водных растворов поглощенных газов или агрессивных химических компонентов, способных к усилению коррозионного процесса).
- Создание на поверхности металла изоляционных покрытий, способных защищать его от воздействия внешней агрессивной среды.

Благодаря широким диапазонам свойств и многообразным способам нанесения покрытий на металлоконструкции, трубопроводы в основном защищают полимерными ленточными покрытиями, битумными, битумно-полимерными, асфальто-смолистым мастиками и комбинированными с полимерными материалами. Битумно-полимерные покрытия разработанные на основе отходов, вторичных продуктов химических производств считаются более доступными и сравнительно недорогими по сравнению с другими.

Таким образом, несмотря на наличие разнообразных методов, технологических процессов, использование изоляционных покрытий остается одной из лучших мер защиты. Преимущества использования изоляционных покрытий с антикоррозионными свойствами по сравнению с другими методами заключаются в том, что отсутствуют большие затраты на применения сложного и дорогостоящего оборудования и энергии для его осуществления. Наибольшее распространение в качестве изоляционных покрытий получили битумные и битумно-полимерные.

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Характеристика исходных веществ

В данной работе проводилась модификация ТНПС, являющегося продуктом переработки ТСП (производство СИБУР Томскнефтехим, ТУ 2451-051-52470175-2004) методом окисления воздухом в присутствии катализаторов в двух условиях:

1. 4,5 часа при 170 °С в присутствии кобальтового сиккатива;
2. 8 часов при 190 °С в присутствии марганцевого сиккатива.

Для проведения работы был выбран битум БН 90/10.

Битум строительный БН 90/10 является недорогим и универсальным гидроизоляционным материалом, нашедшим применение в различных сферах строительства, где используется как гидроизоляция инженерных и строительных конструкций и сооружений из различных материалов.

Для битума является характерным высокий показатель адгезии к бетону, металлу, кирпичу, дереву и прочим материалам. Такая способность позволяет использовать битум для гидроизоляции многих различных материалов и сооружений.

При температурах выше 0 °С битум обладает хорошей пластичностью и устойчивостью к трещинообразованию, но при понижении температуры перечисленные показатели также понижаются, тем самым при температуре ниже 0 °С битум становится хрупким.

При отрицательных температурах битум теряет пластичность и становится ломким (хрупким), подвержен трещинообразованию при внешней нагрузке или подвижности изолируемых оснований, в местах стыков.

Основные характеристики битума нефтяного строительного БН 90/10 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – основные характеристики битума БН 90/10

Наименование показателей	Нормы по СТО	Фактически
Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	5-20	15
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	90-105	96
Растяжимость при 25°С, см, не менее	1,0	3,0
Растворимость в толуоле, %, не менее	99,50	99,96
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,50	0,13
Температура вспышки, °С, не ниже	240	282

В процессе работы в качестве растворителей использовали хлороформ и толуол.

Хлороформ – органическое соединение с формулой  $\text{CHCl}_3$ . При нормальных условиях бесцветная летучая жидкость с эфирным запахом. Свойства хлороформа представлены в таблице 6 [58].

Таблица 6 – Свойства хлороформа

Характеристика	Значение
Физические свойства	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,483
Молярная масса, г/моль	119,38
Термические свойства	
Температура кипения, °С	61
Температура плавления, °С	– 63
Давление пара, мм рт.ст.	160 ± 1
Оптические свойства	
Показатель преломления при 15 °С	1,4467

Хлороформ практически нерастворим в воде, смешивается с большинством органических растворителей. Хлороформ хорошо растворяет жиры и другие органические вещества. Негорючая жидкость.

Толуол – бесцветная подвижная летучая жидкость с резким запахом, структурная формула –  $C_6H_5CH_3$ . Смешивается в неорганических количествах с углеводородами, многими спиртами, простыми и сложными эфирами, не смешивается с водой. Входит в состав растворителей, применяемых для растворения при изготовлении и нанесении эпоксидных, виниловых, акриловых, нитроцеллюлозных, хлоркаучуковых лакокрасочных материалов. Горюч. Обладает слабым наркотическим действием. Свойства толуола представлены в таблице 7 [59].

Таблица 7 – Свойства толуола

Физические свойства	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,867
Молярная масса, г/моль	92,14
Термические свойства	
Температура кипения, °С	110
Температура плавления, °С	–95
Удельная теплота испарения, кДж/кг	364
Оптические свойства	
Показатель преломления при 20 °С	1,4969

Ацетон — бесцветная прозрачная летучая жидкость с характерным резким запахом. Ацетон применяется как сырьё для синтеза многих химических продуктов. Также является популярным растворителем в производстве лаков. Хорошо растворяет нитросоединения за счет полярной группы  $C=O$ . В таблице 8 представлены свойства ацетона.

Таблица 8 – Свойства ацетона

Физические свойства	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,789
Молярная масса, г/моль	58,08
Термические свойства	
Температура кипения, °С	56,1
Температура плавления, °С	–95
Оптические свойства	
Показатель преломления при 20 °С	1,3588

Азотная кислота 63 %-ая – сильная одноосновная кислота, структурная формула  $\text{HNO}_3$ . Представляет собой прозрачную жидкость, которая может иметь желтоватый оттенок при долгом хранении ее в теплом помещении. Смешивается с водой в любых соотношениях. Данная кислота – это сильный окислитель с резким неприятным запахом. При нагревании распадается на оксид азота (IV), воду и кислород. Данная кислота широко используется в качестве нитрующего агента. Свойства 63 %-ой азотной кислоты представлены в таблице 9 [60].

Таблица 9 – свойства азотной кислоты

Характеристика	Значение
Физические свойства	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,382
Молярная масса, г/моль	63,01
Термические свойства	
Температура кипения, °С	83
Температура плавления, °С	–42
Оптические свойства	
Показатель преломления при 20 °С	1,397

Соляная кислота 36 %-ая — представляет из себя жидкость, не имеющую ни цвета, ни запаха. Является неорганическим веществом, одной из самых сильных одноосновных кислот. Техническая кислота как правило содержит примеси, придающие ей слегка желтоватый оттенок. Соляная кислота активно вступает в реакции с металлами, оксидами, гидроксидами с образованием солей — хлоридов. В таблице 10 представлены свойства соляной кислоты.



Таблица 10 – Свойства соляной кислоты

Характеристика	Значение
Физические свойства	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,179
Молярная масса, г/моль	36,46
Термические свойства	
Температура кипения, °С	48
Температура плавления, °С	–30

## 2.2 Нитрование темной нефтеполимерной смолы

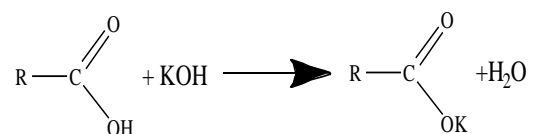
В данной работе проводилось нитрование окисленной смолы, используя 63 %-ую азотную кислоту [61].

### 2.3 Восстановление нитрованной темной нефтеполимерной смолы до аминогрупп

Аминированные ТНПС получали восстановлением нитрованных ТНПС железом в присутствии соляной кислоты.

## 2.4 Определение кислотного числа

Кислотное число – это количественная характеристика, указывающая число миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных карбоновых кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества. Кислотное число определяют титрованием навески вещества спиртовым раствором гидроксида калия [62]:



Методика определения кислотного числа согласно ГОСТу 5985-79 следующая. В две сухие и чистые колбы емкостью 50 мл каждая помещают навески (0,05 г) анализируемого вещества, предварительно взвесив их на аналитических весах. В колбы приливают по 15 мл хлороформа, добавляют 3-4 капли индикатора (фенолфталеина) и титруют 0,1 н спиртовым раствором гидроксида калия. Окончание титрование определяют по изменению окраски раствора от желтой в кислой среде до розовой (малиновой) в щелочной. Параллельно проводится холостой опыт – титрование 15 мл хлороформа без навески анализируемого вещества [63].

Кислотное число рассчитывают по формуле:

$$\text{К. Ч.} = \frac{(a - б) \cdot 0,0056 \cdot K \cdot 1000}{g}, [\text{мг KOH/г}]$$

где  $a$  – объем 0,1 н раствора KOH, пошедший на титрование анализируемого вещества, мл;

$б$  – объем 0,1 н раствора KOH, пошедший на титрование холостой пробы, мл;

$g$  – навеска анализируемого вещества, г;

0,0056 – число граммов KOH в 1 мл 0,1 н раствора KOH;

$K$  – поправка на 0,1 н раствор KOH;

1000 – перевод из г в мг.

## 2.5 Инфракрасная спектроскопия

ИК спектроскопия в данной работе проводилась согласно ГОСТу Р 57941–2017 [64].

Для определения были подготовлены стекла KBr и 40%-е растворы ТНПС<sub>1</sub>, ТНПС<sub>2</sub>, N-ТНПС<sub>1</sub>, N-ТНПС<sub>2</sub>, А-ТНПС<sub>1</sub> и А-ТНПС<sub>2</sub>. В качестве растворителя был выбран хлороформ, т.к. он является инертным к смолам. Стекла были зачищены шлифовальной шкуркой, после чего влажной ватой для удаления царапин.

## 2.6 Приготовление битумно-смоляных композиций

Для получения БСК использовали 2 метода: смешение и сплавление.

## 2.7 Нанесение покрытий

Подготовка поверхности, на которую наносились ТНПС проводилась согласно ГОСТу 9.402–2004.

Нанесение покрытий проводилось согласно ГОСТу 8832-76.

Главной целью приготовления поверхности для нанесения на нее покрытия является удаление с нее веществ, оказывающих негативное влияние на окрашивание и ускоряющие коррозионные процессы, а также получение поверхности, обеспечивающей требуемую адгезию с металлической подложкой лакокрасочного покрытия. Подготовка поверхности состоит из ряда операций, первой из которых является очистка от загрязнений. Очистку проводится как механическими, так и химическими (при помощи растворителей) способами. Химические методы подготовки поверхности в основном используют на предприятиях автомобилестроения, машиностроения, приборостроения, производства бытовой техники и др. Механические методы подготовки поверхности применяются при окрашивании крупногабаритных металлоконструкций в строительстве, нефте- и газодобывающей промышленности, судостроении и судоремонте, энергетике, городском хозяйстве и т.д. [65].

Пластинки были зачищены механически (при помощи шлифовальной шкурки) и химически (обезжиривание ацетоном), после чего ТНПС и БСК были нанесены методом налива.

## 2.8 Определение прочности при изгибе

Определение прочности при изгибе проводилось по методике, описанной в ГОСТе 6806-53, на приборе ИЗГИБ ГОСТ 6806 ИСО 1519. Сущность метода заключается в установке алюминиевой пластинки с нанесенным на нее покрытием на сменяемую опору оборудования покрытием

вверх. Опора имеет цилиндрическую форму диаметром от 20 до 1 мм. После установки пластинки на опору, оба края пластинки смыкаются, тем самым образуя изгиб в центре пластинки. Необходимо продержать пластинку в таком положении в течение 1–2 с. При отсутствии разрушений покрытия, опора заменяется на другую меньшего диаметра. Определение продолжается до тех пор, пока покрытие не начнет разрушаться. Результатом является последний диаметр опоры, при котором не наблюдалось разрушения покрытия [66].

## 2.9 Определение прочности при ударе

Определение прочности при ударе проводилось по методике, описанной в ГОСТе 4765-73, на приборе КОНСТАНТА У-1А. Согласно методике, пластинку размещается на наковальне под бойком покрытием вверх для прямого удара или вниз для обратного удара. Важно, чтобы пластинка с покрытием плотно прилегала к поверхности наковальни. Положение пластинки должно быть указано в нормативно-технической документации на лакокрасочный материал. Участок пластинки, на который будет падать груз, должен находиться на расстоянии не менее 20 мм от края пластинки и не менее 40 мм от центра других участков, которые уже были подвержены удару. Если значение прочности покрытия при ударе неизвестно, то груз устанавливают на высоте 10 см, а затем приводят прибор в действие: груз с заданной высоты свободно падает на боек, передающий удар на лежащую под ним пластинку. После удара груз поднимают для возможности вынуть пластинку из-под бойка; проводится визуальная оценка целостности покрытия (возможно использование лупы). Наличие трещин, сколов или отслаивания покрытия свидетельствует о наличии повреждений, и испытание останавливается; результаты фиксируются. Если указанные дефекты отсутствуют, то испытание повторяют, увеличивая высоту сбрасывания груза каждый раз на 5 - 10 см до тех пор, пока не обнаружатся первые повреждения покрытия при ударе. Повторные испытания проводят каждый раз на новом участке пластинки. Для

каждой высоты определение повторяют не менее трех раз. Если значение прочности покрытия при ударе указано в нормативно-технической документации на лакокрасочный материал, то груз устанавливают на заданную высоту.

Прочность покрытия при ударе условно выражают числовым значением, соответствующим максимальной высоте (выражается в сантиметрах), при падении с которой груз определенной массой не наносит механических повреждений покрытию испытуемого образца. За результат испытания принимают значение максимальной высоты, при которой получают три положительных определения испытания [67].

## 2.10 Определение адгезии методом отрыва

Определение адгезии методом отрыва проводилось по методике, описанной в ГОСТе 32299-2013, на приборе АДГЕЗИОМЕТР ОР ИСО 4624. На металлическую пластинку, покрытую битумно-смоляной композицией, приклеивается цилиндрическая заготовка с помощью клея. Склеенные образцы после затвердевания клея (высыхания или отверждения) испытывают на отрыв (растяжение), измеряя усилие, необходимое для отрыва приклеенной заготовки от поверхности покрытия.

Результатом испытания является усилие отрыва, необходимое для нарушения адгезии или когезии в испытуемом покрытии. Возможно также смешанное разрушение адгезия/когезия [68].

Адгезия покрытий методом отрыва по ИСО 4624 рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \cdot 0,098, [\text{МПа}];$$

где F – сила отрыва, кгс;

d – диаметр цилиндра (грибка), см;

0,098 – перевод из кгс/см<sup>2</sup> в МПа (1 кгс/см<sup>2</sup> = 0,098 МПа).

## 2.11 Определение краевого угла смачивания

Краевой угол смачивания битумно-смоляной композицией металлической подложки определяли на приборе Drop Shape Analyzer – DSA25 методом лежащей капли с использованием программного обеспечения «MethodTangent» и «Circle Fitting».

Для измерения краевого угла капля жидкости помещается на ровную пластинку, расположенную на подъемном столике. С одной стороны капля подсвечивается, а на противоположной стороне расположена видеокамера, которая записывает изображение капли [69].

В качестве поверхности, на которую падает капля, используется металлическая пластинка из стали Ст3. Испытуемые образцы являются битумно-смоляными композициями, приготовленные смешением 30 %-ых растворов ТНПС и битума в системе растворителей толуол-ацетон в соотношении 50/50.

Величина работы адгезии вычисляется по закону Дюпре-Юнга, который выражается следующим уравнением.

$$W_a = \sigma_{1,2} \cdot (1 + \cos\theta)$$

Где:  $W_a$  – работа адгезии, мН/м<sup>2</sup>;

$\sigma_{1,2}$  – поверхностное натяжение битума на границе с воздухом, мН/м<sup>2</sup>;

$\theta$  – краевой угол смачивания металлической подложки.

На рисунке 1 показано определение краевого угла смачивания.



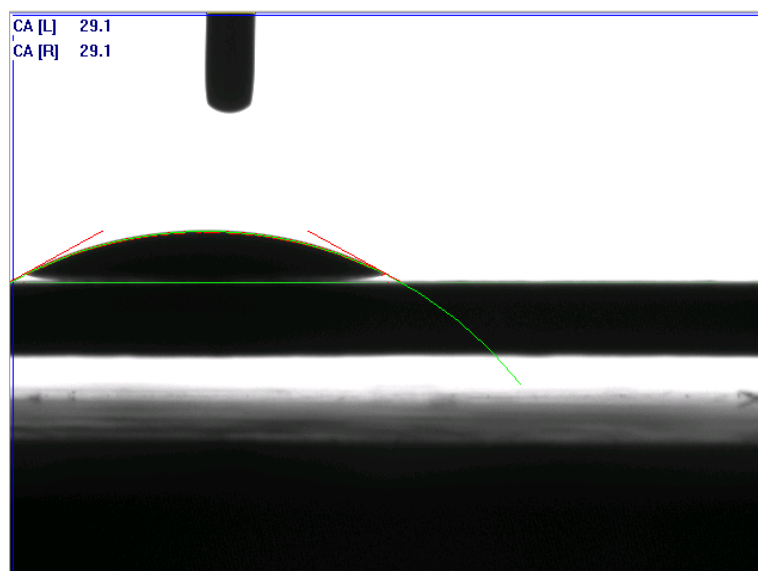


Рисунок 1 -Определение краевого угла смачивания

Из уравнения Дюпре-Юнга следует, что чем ниже значение краевого угла смачивания  $\theta$ , тем больше величина  $\cos\theta$  (при  $0 < \theta < 90$  градусов), тем выше работа адгезии. Поэтому адгезионная прочность битумно-смоляных покрытий можно оценивать по их смачивающим свойствам.

## 2.12 Исследование антикоррозионных свойств битумно-смоляных покрытий экспресс-методом

Защитные свойства изоляционных покрытий, обеспечивающие срок службы защищаемого объекта, определяли их химической стойкостью в различных агрессивных средах: соляной, кислой, щелочной.

Исследование антикоррозионных свойств битумно-смоляных покрытий осуществляли экспресс-методом по ГОСТ 9.403-80. Сущность метода заключается в нанесении на горизонтально расположенную пластину на расстоянии 20 мм от края пластины 10 капель раствора электролита (были приготовлены 3 %-ый раствор NaCl, 10 %-ый раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 10 %-ый раствор NaOH).

Испытание проводилось в течение 1 часа в атмосферных условиях при температуре воздуха 25 °С и относительной влажности 65 %. После испытаний

капли удалили фильтровальной бумагой. Изменение покрытий определяется визуально (сравнивается участок покрытия, на котором была размещена капля, с участком, не подвергавшимся воздействию раствора).

### 2.13 Исследование антикоррозионных свойств битумно-смоляных покрытий методом погружения

Исследование антикоррозионных свойств битумно-смоляных покрытий осуществляли методом погружения в электролит по ГОСТ 9.403-80. Сущность метода заключается в погружении окрашенных металлических пластин битумно-смоляными композициями в раствор электролитов с последующим определением изменения защитного свойства покрытий.

В данном исследовании окрашенные металлические пластины погружали в 3 %-ый раствор NaCl, 10 %-ый раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 10 %-ый раствор NaOH. Пластины с покрытиями, нанесенными на обе стороны, перед погружением в растворы были предварительно герметизированы парафином по краям пластины.

Окрашенные образцы размещали в пластиковой таре, наполненной соответствующим раствором электролита, в вертикальном положении. Уровень жидкости для поддержания заданной концентрации в процессе испытаний поддерживали постоянным. Испытания проводились при температуре 25 °С и атмосферном давлении.

Антикоррозионные свойства покрытий на основе битумно-смоляных композиций оценивали по времени появления первого нарушения целостности поверхности покрытий. Эффективность защиты покрытий определяли по изменению внешнего вида защитного покрытия и металла.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт (результат НИР) – темная нефтеполимерная смола, потребителями которой могут выступать химические предприятия и строительные компании. В особенности ТНПС могут найти применение в получении битумно-смоляных покрытий. В результате исследования была разработана технология получения битумно-смоляных композиций, в которых ТНПС выступала модификатором битума.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

		Достоинства производства ТНПС			
		Низкая себестоимость	Модификации	Безопасность производства	Экологичность
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок 6 – Карта сегментирования рынка ТНПС:

 Фирма А     Фирма Б     Фирма В

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

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

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

Где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

В таблице 15 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства ТНПС.

Таблица 15 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Выход продукта	0,15	10	9	8	1,5	1,35	1,2
2. Удобство в эксплуатации продукта (соответствует требованиям потребителей)	0,07	10	9	8	0,7	0,63	0,56
3. Энергоэкономичность	0,05	9	8	8	0,45	0,4	0,4
4. Надежность	0,07	9	8	9	0,63	0,56	0,63
5. Безопасность	0,05	8	8	8	0,4	0,4	0,4
6. Возможность автоматизации	0,07	10	9	7	0,7	0,63	0,49
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	10	10	8	1,5	1,5	1,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	7	8	8	0,35	0,4	0,4
3. Цена	0,1	10	9	9	1	0,9	0,9
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	10	10	8	0,5	0,5	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,07	10	8	5	0,7	0,56	0,35
7. Срок выхода на рынок	0,07	8	7	6	0,56	0,49	0,42
8. Наличие сертификации разработки	0,05	10	9	9	0,5	0,45	0,45
Итого	1				<b>9,49</b>	<b>8,77</b>	<b>7,8</b>

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной работы;

Б<sub>к1</sub> – ООО «Томскнефтехим»;

Б<sub>к2</sub> – ОАО «Ангарский завод полимеров».

Различия выхода продукта связаны с использованием различного сырья. Удобство в эксплуатации обосновывается соответствием требований потребителей к продукту. Критерий надежности обозначает срок службы аппаратов, который зависит от конструкции и используемых материалов. Очень важно обеспечение безопасности, т.к. на производстве идет работа с высокими температурами. У каждого производителя разные меры обеспечения безопасности. Простота эксплуатации – немаловажный критерий, поскольку сложность управления процессом значительно замедляет его. Возможность автоматизации производства помогает отслеживать изменения параметров в печи пиролиза.

Конкурентоспособность продукта показывает преимущества выпускаемого продукта перед конкурентами и увеличивает его продажи.

Уровень проникновения на рынок помогает найти новых покупателей. Цена напрямую связана с продажей продукта, т.к. покупатели ищут более низкие цены. Финансирование научной разработки позволяет закупать более новое оборудование и компоненты. При задержании срока выхода на рынок появляется угроза потери покупателей. Без наличия сертификации продукта нельзя его продавать.

## 1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Первый этап SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность технологии</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Использование отходов производства в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)</p> <p>С4. Использование современного оборудования</p> <p>С5. Финансовая помощь государства</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл2. Наличие на рынке зарекомендовавших себя конкурентов</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p> <p>Сл4. Нехватка высококвалифицированных кадров</p> <p>Сл5. Малая известность среди потребителей</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 16

<p>Возможности:                  В1. Быстро развивающийся рынок сбыта                  В2. Госзаказ                  В3. Неспособность конкурентов удовлетворить потребителя по ряду показателей                  В4. Привлечение инвесторов                  В5. Расположение производства в непосредственной близости от поставщика сырья</p>		
<p>Угрозы:                  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства                  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования                  У3. Развитая конкуренция технологий производства                  У4. Отсутствие возможности иметь иностранных поставщиков</p>		

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 17, 18, 19, 20.

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

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

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	–	+	–	–	–
	В2	+	+	–	–	–
	В3	+	+	–	–	+
	В4	+	+	+	–	–
	В5	–	–	+	–	–

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+	–
	У4	+	+	+	–	–
	У5	+	+	+	+	+

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	–	–	+	–
	У2	+	–	+	+	–
	У3	+	+	–	+	–
	У4	+	–	+	+	–
	У5	+	–	–	+	–

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 21).

Таблица 21 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Экологичность технологии С2. Наличие бюджетного финансирования</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Малая известность среди потребителей Сл2. Наличие на рынке зарекомендовавших себя конкурентов</p>
--	---	--



Продолжение таблицы 21

	<p>С3. Использование отходов производства в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)</p> <p>С4. Современное оборудование</p> <p>С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p>	<p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл5. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В2. Привлечение инвесторов</p> <p>В3. Расположение производства в непосредственной близости от поставщика сырья</p> <p>В4. Наличие преимущества перед конкурентами по ряду показателей</p> <p>В5. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы</p>	<p>Использование современных и экологических технологий позволит выпускать не уступающий конкурентам продукт.</p>	<p>Из-за малой известности на рынке есть вероятность отставания от конкурентов на начальных этапах производства.</p> <p>Решением проблемы такого рода может послужить рекламная компания, которая повысит известность.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение со стороны государства</p> <p>У5. Увеличение цен на сырье</p>	<p>Экологичность выбранной технологии а также использование отходов в качестве сырья вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.</p>	<p>При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает.</p> <p>Для предотвращения такого расклада оптимальным решением будет иметь дополнительные запасы сырья, которые можно будет использовать при перерывах в поставках.</p>

#### 4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Оценку проводят с целью получения выводов об объемах инвестирования в текущую разработку и выяснения направления ее дальнейшего улучшения; об уровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

При проведении анализа по каждому показателю ставят оценку по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Полученные данные по оценке степени готовности проекта к выходу на рынок приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективы направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	2
Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
Итого баллов	46	40

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В данном случае перспективность самого проекта выше среднего (46 баллов) и уровень знаний у разработчика (43 балла) имеет среднюю перспективность.

Таким образом, необходимо дополнительно проработать оценку стоимости интеллектуальной собственности, разработать стратегию реализации научной разработки, проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, финансирования коммерциализации научной разработки и собрать компетентную команду для коммерциализации научной разработки.

#### 1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Существуют различные методы коммерциализации научных разработок. На данной стадии представленной научной разработки успешному продвижению способствует торговля патентными лицензиями, с помощью которой будет достигнута передача третьим лицам интеллектуальной собственности на лицензионной основе. Не исключена и организация совместного предприятия типа «университет – производство», когда идеи первого воплощаются ресурсами второго.

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (т.е. владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности) преследует вполне определенную цель, которая определяется тем, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Существует ряд решений:

- получение средств для продолжения научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и пр.);

- одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей (в качестве гранта);
- обеспечение постоянного притока финансовых средств.

Допускаются и различные сочетания перечисленных возможностей. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Для данной работы был выбран инжиниринг, как средство продвижения результатов исследований. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора одной стороной (консультантом) другой стороне (заказчику) комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, вводом в эксплуатацию, производством продукции.

## 4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

### 4.2.1 Цели и результаты проекта

Заинтересованные стороны проекта – лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 23.

Таблица 23 – заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Строительные и дорожностроительные предприятия	Оптимизация и усовершенствование существующей технологии
Разработчик проекта	Разработка технологии для получения новых материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами
Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Получение новых материалов, новых технологий; теоретическая и практическая значимость проекта

В таблице 24 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 24 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Получение и исследование свойств темных нефтеполимерных смол; Получение битумно-смоляных композиций на основе битума, модифицированного ТНПС.
Ожидаемые результаты проекта:	Выбор оптимальных условий синтеза нефтеполимерных смол для получения материалов с высокими техническими характеристиками; Возможность использования полученных ТНПС в качестве модификаторов битума.
Критерии приемки результата проекта:	Определение физико-механических показателей покрытий на основе битумно-смоляных композиций путем испытания их на прочность при ударе, прочность на изгиб, адгезионную прочность, стойкость к растворам кислот, щелочей и солей.
Требования к результату проекта:	Требования:
	Целевой продукт соответствует требованиям ГОСТ
	ТНПС с набором удовлетворительных физикохимических свойств
	Битум, модифицированный ТНПС обладает высокими прочностными и адгезионными характеристиками

#### 4.2.2 Организационная структура проекта

В ходе реализации научного проекта, помимо магистранта, задействован также руководитель проекта, который отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность магистранта. В данном случае эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации. Экспертами выступают консультанты. Участники рабочей группы, их функции и трудозатраты приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Рабочая группа проекта

ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, ч.
Бондалетова Л.И., НИТПУ ИШПР, доцент ОХИ, к.х.н.	Руководитель	Координация деятельности проекта	100
Рыжакина Т.Г., НИ ТПУ ШБИП, доцент ОСГН, к.э.н.	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	4
Скачкова Л.А., НИ ТПУ ШБИП, старший преподаватель ООД	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела «Социальная ответственность»	4
Маркова Н.А., НИ ТПУ ШБИП, старший преподаватель ОИЯ	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела на английском языке	4
Горюнов А.Д., НИ ТПУ ИШПР, ОХИ, магистрант	Исполнитель	Выполнение ВКР	750
ИТОГО:			862

#### 4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Информация об ограничениях проекта представлена в таблице 26.

Таблица 26 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	900000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2020
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	24.10.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2018

## 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Группа процессов планирования состоит и процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 7 представлен иерархическая структура работы.



Рисунок 7 – Иерархическая структура работ



### 4.3.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 27 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 27 – Календарный план-график выполнения работы

Вид работы	Т <sub>к</sub> , дн.	Продолжительность выполнения работ																				
		2018 год				2019 год							2020 год									
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	
Составление технического задания	17	█																				
Изучение литературы, составление литературного обзор	13	▨																				
Патентный поиск	10		▨																			
Выполнение экспериментальной части	470		▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩	▩
Обсуждение полученных результатов	30																				▩	▩
Оформление выводов	25																					▩
Оформление пояснительной записки	25																					▩
Оценка эффективности производства и применения разработки	20																					▩

Вид работы	Г <sub>к</sub> , дн.	Продолжительность выполнения работ																			
		2018 год				2019 год								2020 год							
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Разработка социальной ответственности	20																				
Оформление записки на английском языке	20																				

Руководитель	Бакалавр

#### 4.3.3 Бюджет научного исследования

Планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 28. В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 28 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы, полуфабрикаты	Оборудование для экспериментальных работ
Модификация темной нефтеполимерной смолы (ТНПС)	Темная нефтеполимерная смола, азотная кислота, соляная кислота, чугунная стружка, хлороформ	Лабораторный реактор с обратным холодильником и обратной механической мешалкой, трехгорлая колба, электроплита одноконфорочная, терморегулятор, капельная воронка, делительная воронка.
Получение битумно-смоляных композиций (БСК)	Битум, модифицированная ТНПС, толуол, ацетон	Шприцы, стеклянные стаканы, пробирки, металлические пластины, пипетки, весы
Испытания БСК	БСК, серная кислота, едкий натр, хлорид натрия, вода дистиллированная	Адгезиметр ОР, Константа У-1А, контейнеры ПП, скрепки канцелярские, прибор ИЗГИБ,

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (5 % от цены). Сюда же включены затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Затраты на сырье, материалы, полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу НДС, руб.	Сумма, руб.
ТНПС	кг	1	45	45
Серная кислота (конц.)	л	1	58	58
Азотная кислота	л	1	27	27
Едкий натр	кг	1	45	45
Хлорид натрия	кг	1	27	27
Толуол	л	2	97,5	195
Ацетон	л	1	70,5	70,5
Хлороформ	л	2	250	500
Битум	кг	2	13	26
Всего за материалы				993,5
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				50
Итого:				1043,5

#### *Оборудование для научных (экспериментальных) работ*

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (химической посуды, приборов, контрольноизмерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме диссертации. Результаты по данной статье представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Затраты на оборудование для экспериментальных работ

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу с НДС, руб	Сумма, руб
Трехгорлая колба	шт	1	259	259
Обратный холодильник	шт	1	1490	1490
Цилиндр мерный, стеклянный	шт	1	363	363
Колба коническая, 250 мл	шт	1	132	132
Колба коническая, 500 мл	шт	1	300	300
Делительная воронка, 500 мл	шт	1	690	690
Капельная воронка, 100 мл	шт	1	450	450
Стакан стеклянный, 1000 мл	шт	1	160	160
Стакан стеклянный, 100 мл	шт	10	68	680
Пипетка, 1 мл	шт	2	15	30
Скальпель	шт	1	60	60
Палочка стеклянная	шт	2	10	20
Термометр ртутный, 0-250 °С	шт	1	520	520
Электроплита	шт	1	700	700
Механическая мешалка	шт	1	6450	6450
Терморегулятор	шт	1	5290	5290
Весы аналитические	шт	1	62270	62270
Штатив	шт	1	1000	1000
Шприц, мл	шт	2	2	4
Перчатки химические	Пара	10	8	80
Халат	шт	1	1000	1000
Адгезиметр ОР	шт	1	59000	59000
Константа У-1А	шт	1	36400	36400
прибор ИЗГИБ	шт	1	24780	24780

### *Основная заработная плата*

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 25 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неелеоя;

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб.дн. (таблица 31).

Таблица 31 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Лаборант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 32 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб	$k_p$	$k_{пр}$	$k_d$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	22412,3	1,3	0,5	0,5	29135,99	1202,44	252	303014,88
Магистрант	2584,4	1,3	0,5	0,5	4135,04	170,65	252	43003,8
Итого:								346018,68

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 33 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 33 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	303014,88	43003,8
Дополнительная зарплата	30301,49	–
Итого:	376320,17	

### Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 80\% \cdot 376320,17 = 301056,14 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости НИР, результаты приведены в таблица 34.

Таблица 34 – Группировка затрат по статьям

Сырье, материалы	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1043,50	202128	346018,68	30301,49	301056,14	880547,80
60000	2000000	350000	35000	310000	900000

#### 4.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблицу 35.

Таблица 35 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

#### 4.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 36.

Таблица 36 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления



#### 4.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица 37).

Таблица 37 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности		2	5	средний	Подбор лучших условий модификации ТНПС (время, температура).	Отказ производств от переработки побочных продуктов
2	Неточность испытаний		4	5	высокий	Строгое соблюдение ГОСТов при проведении испытаний. Использование проверенного оборудования	С течением времени лабораторное оборудование теряет свою точность

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

##### 4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);

- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

#### 4.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП<sub>опt</sub> – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t= 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 38. При расчете рентабельность проекта составляла 25 %, амортизационное отчисления 10 %.

Таблица 38 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб. $Ц=C*(1+P/100)$	0	1100684,76	1100684,76	1100684,76	1100684,76

2	Итого приток, руб.	0,00	1100684,76	1100684,76	1100684,76	1100684,76
3	Инвестиционные издержки, руб.	-880547,81	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. Сырье+амортизация+ФОТ	0,00	698736,96	698736,96	698736,96	698736,96
5	Налогооблагаемая прибыль, руб.	0,00	401947,80	401947,80	401947,80	401947,80
6	Налоги 20 %, руб.	0,00	80389,56	80389,56	80389,56	80389,56
7	Итого отток, руб.	-880547,81	779126,52	779126,52	779126,52	779126,52
8	Чистая прибыль, руб.	0,00	321558,24	321558,24	321558,24	321558,24
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-880547,81	341771,04	341771,04	341771,04	341771,04
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1,00	0,83	0,69	0,58	0,48
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-880547,81	284695,28	237189,10	197543,66	164733,64
12	$\sum$ ЧДД, руб		884161,68			
13	Итого NPV, руб.		3613,88			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 3616,88 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

#### 4.4.3 Индекс доходности (PI)

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить

инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, млн. руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, млн. руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{884161,68}{880547,81} = 1,004$$

Так как  $PI > 1$ , то проект является эффективным.

#### 4.4.4 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV**=0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{opt}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 39 и на рисунке 8.

Таблица 39 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	Сумма, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-880547,81	341771,04	341771,04	341771,04	341771,04	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, млн. руб.						
	0,1	-880547,81	310669,88	282302,88	256670,05	233429,62	202524,62
	0,2	-880547,81	284695,28	237189,10	197543,66	164733,64	3613,88
	0,3	-880547,81	262821,93	202328,46	155505,82	119619,86	-140271,73
	0,4	-880547,81	244024,52	174303,23	124404,66	88860,47	-248954,92
	0,5	-880547,81	227961,28	151746,34	100822,46	67670,67	-332347,06
	0,6	-880547,81	213606,90	133290,71	83392,13	52290,97	-397967,10
	0,7	-880547,81	200961,37	114493,30	69379,52	38278,36	-457435,26
	0,8	-880547,81	190024,70	105607,25	58442,85	32468,25	-494004,76
	0,9	-880547,81	179771,57	94670,58	49898,57	26316,37	-529890,72
	1,0	-880547,81	170885,52	85442,76	42721,38	21189,80	-560308,34

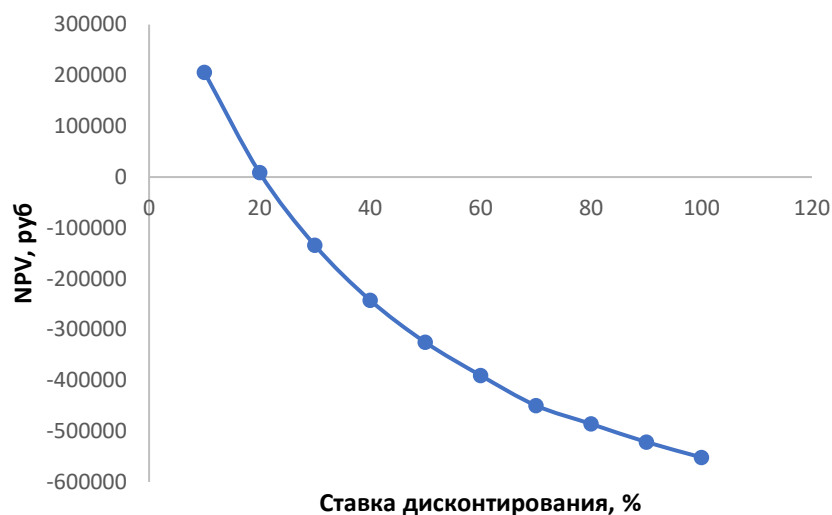


Рисунок 8 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,205.

Запас экономической прочности проекта:  $20,5\% - 20\% = 0,5\%$

#### 4.4.5 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока.

Таблица 40 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i = 0,20$ ), руб.	-880547,81	284695,28	237189,10	197543,66	164733,64
2	То же нарастающим итогом, руб.	-880547,81	-595852,53	-358663,43	-161119,76	3613,88
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 164733,64 / 161119,76 = 1,98$ года				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 41) учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 41 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Низкие прочностные характеристики битумных покрытий	Повышение прочностных свойств битумно-смоляных покрытий
Недостаточная коррозионная устойчивость	Увеличение антикоррозионных свойств покрытий

#### 4.4.6 Оценка сравнительной 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 получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^a$$
$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p,$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.



Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 42).

Таблица 42 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Низкая себестоимость	0,25	3	3
2. Модификация	0,15	5	4
3. Безопасность	0,15	4	4
4. Экологичность	0,2	4	4
5. Простота эксплуатации узла	0,15	5	4
6. Возможность автоматизации производства	0,1	3	3
Итого	1	24	22

$$I_m^p = 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 = 3,95$$

$$I_1^a = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 = 3,65$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a},$$

где:  $\mathcal{E}_{ср}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 43.

Таблица 43 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,43	0,47
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,95	3,65
3	Интегральный показатель эффективности	9,19	7,77
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,18	1,03

**Вывод:** Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 3613,88 руб.; индекс доходности  $PI=1,004$ ; внутренняя ставка доходности  $IRR=20,5\%$ , срок окупаемости  $PP_{дск}=1,98$  года, тем самым инвестиционный проект можно считать выгодным и экономически целесообразным.

## Список публикаций

1. Горюнов А.Д. Модификация темных нефтеполимерных смол и разработка защитных покрытий на их основе // Сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск: Изд-во ТПУ, 20 – 23 мая 2019 г. – С. 540–541.

2. Горюнов А.Д., Прокопчук К.С. Модификация битумных покрытий темной нефтеполимерной смолой с нитро- и аминогруппами // Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск: Изд-во ТПУ, 2020 г.

3. Прокопчук К.С., Горюнов А.Д. Физико-механические свойства битумно-смоляных покрытий на основе темной пиролизной смолы // Сборник научных трудов XXI Международной научнопрактической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск: Изд-во ТПУ, 2020 г.

4. Горюнов А.Д., Бондалетова Л.И., Прокопчук К.С., Бондалетов В.Г. Использование темных нефтеполимерных смол в качестве модификаторов битума // Сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов «Актуальные проблемы науки о полимерах» / отв. ред. Темникова Н.Е.; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2020. – С. 93.

5. Прокопчук К.С., Бондалетова Л.И., Горюнов А.Д., Бондалетов В.Г. Применение темной пиролизной смолы в качестве модификатора битума // Сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов «Актуальные проблемы науки о полимерах» / отв. ред. Темникова Н.Е.; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2020. – С. 99.