

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»

Кафедра Технологии органических веществ и полимерных материалов

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Получение битумно-смоляных композиций на основе модифицированных нефтеполимерных смол</b> |

УДК 678.686:665.637.8

Студент

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ5А  | Прокопьева Татьяна Александровна |         |      |

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Криницына З.В. | к.т.н                  |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Раденков Т.А. |                        |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Должность    | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Зав.кафедрой | Юсубов М.С. | д.х.н., профессор      |         |      |

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 18.04.01 «Химическая технология»

Кафедра Технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Юсубов М.С.  
 (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                               |
|--------|-----------------------------------|
| 2ДМ5А  | Прокопьевой Татьяне Александровне |

Тема работы:

|                                                                                              |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Получение битумно-смоляных композиций на основе модифицированных нефтеполимерных смол</b> |                        |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                                  | № 1860/С от 09.03.2016 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 05.06.2017 |
|------------------------------------------|------------|

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b><br><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>        | Объекты исследования – нефтеполимерные смолы на основе фракции C <sub>5</sub> , C <sub>5-9</sub> и дициклопентадиеновой фракции жидких продуктов пиролиза, полученные катионной полимеризацией              |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><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> | Литературный обзор<br>Объекты и методы исследования<br>Результаты проведенных исследований и их обсуждение<br>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение<br>Социальная ответственность |

|                                                                                                 |                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                                                                 | Заключение по работе            |
| <b>Перечень графического материала</b><br>(с точным указанием обязательных чертежей)            | Презентация                     |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)        |                                 |
| <b>Раздел</b>                                                                                   | <b>Консультант</b>              |
| Получение битумно-смоляных композиций на основе модифицированных нефтеполимерных смол           | к.х.н., доцент Бондалетова Л.И. |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                 | к.т.н., доцент Криницына З.В.   |
| Социальная ответственность                                                                      | ассистент Раденков Т.А.         |
| Petroleum polymer resins. Modification of the bitumen. Preparation of bitumen resin composition | ст. преподаватель Рыманова И.Е. |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>         |                                 |
| На русском: Введение, Литературный обзор, Объекты и методы исследования                         |                                 |
| На английском: Introduction, Literary Review, Objects and Methods of Research                   |                                 |

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 1.09.2015 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ5А  | Прокопьева Татьяна Александровна |         |      |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                               |
|--------|-----------------------------------|
| 2ДМ5А  | Прокопьевой Татьяне Александровне |

| Институт            | Природных ресурсов | Кафедра                   | ТОВІМ                            |
|---------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Уровень образования | Магистрант         | Направление/специальность | 18.04.01 «Химическая технология» |

|                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>                                                                                                             | 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                 | 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>   |
|                                                                                                                                                                                                                 | 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                 | 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>          |
| <b>Перечень графического материала:</b>                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                             |
| 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i><br>2. <i>Диаграмма Исикавы</i><br>3. <i>График проведения и бюджет НИ</i><br>4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i> |                                                                                                                                             |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Криницына З.В. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ5А  | Прокопьева Татьяна Александровна |         |      |

## Планируемые результаты обучения по ООП

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 116 страницах, содержит 14 рисунков, 39 таблиц, 65 источников, одно приложение.

Ключевые слова: нефтеполимерная смола (НПС), эпоксицированная нефтеполимерная смола (ЭНПС), эпоксицирование, модификация, битумно-смоляные композиции.

Объектами исследования являются нефтеполимерные смолы на основе фракции  $C_5$ ,  $C_{5-9}$  и дициклопентадиеновой фракции жидких продуктов пиролиза, полученные катионной полимеризацией.

Цель работы – получение модифицированных посредством окисления пероксидом водорода алифатических нефтеполимерных смол, смол на основе широкой фракции углеводородов  $C_{5-9}$  и смол на основе дициклопентадиеновой фракции с последующим их использованием для улучшения свойств покрытий нефтяных битумов.

В процессе исследования проводились: модификация нефтеполимерных смол; анализ полученных при этом смол и дальнейшее использование их как компонентов битумно-смоляных композиций.

В результате исследования разработан способ эпоксицирования: алифатической нефтеполимерной смолы на основе фракции  $C_5$  жидких продуктов пиролиза, смолы на основе широкой фракции углеводородов  $C_{5-9}$  и смолы на основе дициклопентадиеновой фракции.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: процесс модификации протекает в мягких условиях, малозатратен и не приводит к образованию побочных продуктов.

Область применения: полученные результаты имеют практическую и теоретическую значимость, разработанные технологии могут быть востребованы, главным образом, в строительной отрасли.

Экономическая значимость работы: проект эффективен и конкурентоспособен, срок окупаемости составляет 1,42 месяца.

## **Обозначения и сокращения**

НПС – нефтеполимерная смола

ЭНПС – эпоксидированная нефтеполимерная смола

НПС<sub>C5</sub> – алифатическая нефтеполимерная смола на основе фракции C<sub>5</sub> жидких продуктов пиролиза

НПС<sub>C5-9</sub> – нефтеполимерная смола на основе широкой фракции углеводородов C<sub>5-9</sub>

НПС<sub>ДФ</sub> – нефтеполимерная смола на основе дициклопентадиеновой фракции

ЭНПС<sub>C5</sub> – эпоксидированная алифатическая нефтеполимерная смола на основе фракции C<sub>5</sub> жидких продуктов пиролиза

ЭНПС<sub>C5-9</sub> – эпоксидированная нефтеполимерная смола на основе широкой фракции углеводородов C<sub>5-9</sub>

ЭНПС<sub>ДФ</sub> – эпоксидированная нефтеполимерная смола на основе дициклопентадиеновой фракции

ДЦПД – дициклопентадиен

ДФ – дициклопентадиеновая фракция

РТИ – резинотехнические изделия

БСК – битумно-смоляные композиции

БН – битум нефтяной

ПБВ – полимерно-битумные вяжущие

T<sub>кип</sub> – температура кипения

T<sub>плав</sub> – температура плавления

БЧ – бромное число

КЧ – кислотное число

ЭЧ – эпоксидное число

ИК-спектроскопия – инфракрасная спектроскопия

## **Нормативные ссылки**

ГОСТ Р 52740-2007. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня.

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

ГОСТ 15140-78. Методы определения адгезии.

ГОСТ 32299-2013 (ИСО 4624:2002). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва.

ГОСТ 32054-2013. Битумы нефтяные. Определение температуры размягчения по кольцу и шару.

ГОСТ 26589-94. Мастики кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний.

ГОСТ 11507-78. Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу.

ГОСТ 9.401-91. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.

ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда.

## Содержание

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                     | 11 |
| 1 Литературный обзор .....                                                                                                        | 13 |
| 1.1 Сырьё для синтеза нефтеполимерных смол .....                                                                                  | 14 |
| 1.2 Получение нефтеполимерных смол.....                                                                                           | 16 |
| 1.3 Модификация нефтеполимерных смол .....                                                                                        | 18 |
| 1.4 Свойства нефтеполимерных смол .....                                                                                           | 23 |
| 1.5 Применение нефтеполимерных смол .....                                                                                         | 23 |
| 1.6 Битумные композиции .....                                                                                                     | 24 |
| 2 Объекты и методы исследования .....                                                                                             | 28 |
| 2.1 Характеристика исходных веществ и реактивов .....                                                                             | 28 |
| 2.2 Процесс синтеза и модификации НПС.....                                                                                        | 31 |
| 2.3 Методы анализа НПС.....                                                                                                       | 32 |
| 2.3.1 Методика определения выхода смолы .....                                                                                     | 32 |
| 2.3.2 Методика определения бромного числа.....                                                                                    | 33 |
| 2.3.3 Методика определения кислотного числа.....                                                                                  | 34 |
| 2.3.4 Методика определения эпоксидного числа.....                                                                                 | 35 |
| 2.3.5 Исследование структуры с помощью ИК-спектроскопии.....                                                                      | 36 |
| 2.4 Получение битумно-смоляных композиций .....                                                                                   | 37 |
| 2.4.1 Испытания покрытий на основе смол и битумно-смоляных композиций.....                                                        | 37 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....                                                           | 43 |
| 4.1 Предпроектный анализ.....                                                                                                     | 43 |
| 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....                                                                    | 43 |
| 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....                            | 44 |
| 4.1.3 Диаграмма Исикавы.....                                                                                                      | 45 |
| 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....                                                                          | 46 |
| 4.1.5 Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования.....                                                    | 48 |
| 4.2 Инициация проекта .....                                                                                                       | 49 |
| 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....                                                                      | 52 |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 59 |
| 4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....                                                                        | 59 |
| Список публикаций.....                                                                                                            | 63 |

## **Введение**

Нефтеполимерные смолы – низкомолекулярные термопластичные полимеры, получаемые полимеризацией жидких продуктов пиролиза нефтепродуктов и используемые, в основном, как вещества, повышающие клейкость, водостойкость, химстойкость в клеях, красках, чернилах и других материалах. Наряду с достоинствами нефтеполимерные смолы, не содержащие в своем составе функциональных групп, кроме ненасыщенных связей, имеют и недостатки, главные из которых – низкая адгезия и высокая окисляемость, и, следовательно, отсутствие требуемого комплекса свойств, что существенно сужает область их практического использования [1].

Нефтеполимерные смолы традиционно используют для получения лакокрасочных материалов, в целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве резинотехнических изделий, где ими успешно заменяют дорогие и дефицитные продукты природного происхождения, такие как растительные масла, канифоль, инден-кумароновые смолы.

Улучшить качественные характеристики НПС можно путем введения различных функциональных групп в структуру предварительно полученной молекулы НПС или введением различных добавок в ее состав.

Актуальность. Улучшение эксплуатационных характеристик НПС, устранение недостатков (окисляемость, низкая адгезия), а также расширение области применения НПС могут быть достигнуты путем их модификации – введением различных функциональных групп в структуру молекулы. Химическая модификация НПС осуществляется взаимодействием смол с непредельными карбоновыми кислотами, их ангидридами, галогенангидридами, кислородом воздуха, пероксидами, гидропероксидами, озоном.

Наиболее распространенный метод модификации собственно НПС – окисление, в частности, эпоксидирование надуксусной кислотой.

Данный вид функционализации НПС недостаточно полно изучен для принятия технологических решений. Необходимость исследования этой проблемы определяет актуальность данной работы.

Целью данной работы является получение модифицированных посредством окисления пероксидом водорода алифатических нефтеполимерных смол, смол на основе широкой фракции углеводородов C<sub>5-9</sub> и смол на основе дициклопентадиеновой фракции с последующим их использованием для улучшения свойств покрытий нефтяных битумов.

#### Научная новизна

1. Окисление НПС приводит к получению модифицированных смол, содержащих карбоксильные, эпоксидные и непредельные группы;
2. Модифицированные смолы обладают улучшенными прочностными и адгезионными свойствами: прочность при ударе возрастает от 5 до 10 см;

#### Практическая значимость.

1. Разработаны битумно-смоляные композиции с содержанием от 1 до 15 % смол с улучшенными адгезионными характеристиками, увеличивающиеся от 23 до 30 кг/см<sup>2</sup>.
2. Получены битумно-смоляные композиции с высокими показателями прочности при ударе и изгибе.

Апробация работы. Материалы работы докладывались на XVII и XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2016, 2017); на XXI Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2017).

## 1 Литературный обзор

Области применения синтетических смол в промышленности и в строительстве все больше расширяются. Увеличение спроса на смолы вызывает рост их ассортимента, появляются новые способы получения смол, изменяется сырьевая база их производства.

Широкое применение находят полиэфирные, эпоксидные, полиуретановые, инден-кумароновые и другие синтетические смолы. Все большее место завоевывают нефтеполимерные смолы (НПС), получаемые из продуктов переработки нефти и ее фракций методами полимеризации и сополимеризации [2].

*Классификация нефтеполимерных смол.* В зависимости от строения непредельных углеводородов, преобладающих в жидких продуктах пиролиза, получаемые нефтеполимерные смолы классифицируют следующим образом [1]:

- ароматические смолы, получаемые сополимеризацией главным образом алкенилароматических углеводородов, а также дициклопентадиена, содержащихся во фракциях  $C_8 - C_{10}$ ;
- алифатические смолы, синтезируемые сополимеризацией алифатических непредельных углеводородов, содержащихся во фракции  $C_5$ ;
- сополимерные смолы, получаемые сополимеризацией непредельных мономеров (алкенилароматических и алифатических), содержащихся во фракциях  $C_8 - C_{10}$  и  $C_5$ .

Вырабатывают также циклоалифатические (нафтеновые) смолы, которые получают полимеризацией циклоолефинов или циклодиолефинов и гидрированием ароматических смол [1].

Некоторые физико-химические свойства НПС приведены в таблице 1.

Таблица 1– Физико-химические свойства нефтеполимерных смол

| Смолы                        | Алифатические | Сополимерные | Ароматические |
|------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> | 970 - 980     | 1030 - 1070  | 1030 - 1170   |
| Температура размягчения, °С  | 70 - 110      | 40 - 110     | 80 - 140      |
| Температура помутнения, °С   | ≤ 0           | 0 - 50       | 50 - 100      |
| Анилиновая точка, °С         | ≥ 140         | 125 - 140    | 15 - 40       |
| Бромное число, г Вг/100г     | 25 - 50       | 30 - 80      | 10 - 40       |
| Показатель преломления       | ≤ 1,53        | 1,53 - 1,60  | 1,60 - 1,63   |

### 1.1 Сырьё для синтеза нефтеполимерных смол

Сырьевая база для производства НПС достаточно широка – это, прежде всего, жидкие побочные продукты пиролиза этилен-пропиленовых производств. При этом для синтеза наиболее высококачественных НПС, как правило, используется фракция C<sub>8</sub> - C<sub>9</sub> продуктов пиролиза, выкипающая в пределах 120 - 200 °С. Однако, стремление нефтехимических предприятий к дальнейшему наращиванию объемов производства топлив приводит к вовлечению этой фракции в производство бензинов. Это влечет безвозвратную потерю алкенилароматических углеводородов как ценного нефтехимического сырья.

Аналогичная ситуация складывается в отечественной промышленности с фракцией C<sub>5</sub> продуктов пиролиза (интервал выкипания 35 - 75 °С). Однако, эта фракция, содержащая до 50 % диеновых углеводородов (и, прежде всего, циклопентадиена, изопрена, пипериленов), весьма тяжело вовлекается в производство бензинов даже при использовании двухступенчатого гидрирования [3].

Составы фракций, используемых для производства НПС, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав фракций C<sub>5</sub> пиролиза бензина, полученных при различных температурах пиролиза

| Компонент, масс. %          | 760 °С | 770 °С |
|-----------------------------|--------|--------|
| Углеводороды C <sub>4</sub> | 3,49   | 0,87   |
| н-Пентан                    | 13,60  | 12,80  |
| Циклопентан                 | 2,48   | 1,88   |
| 2-Метилбутан                | 10,45  | 9,63   |
| Пентены                     | 22,20  | 22,11  |
| Изопрен                     | 10,30  | 12,60  |
| Пентадиен-1,3               | 10,88  | 11,62  |
| Пентадиен-1,4               | 0,99   | 0,99   |
| Циклопентадиен-1,3          | 24,46  | 26,18  |
| Ацетиленовые                | 0,14   | 0,31   |

Как следует из этой таблицы, состав и выход отдельных фракций изменяются в зависимости от условий пиролиза и от состава исходного сырья. В целом же фракции различных производителей характеризуются нестабильным содержанием отдельных компонентов, что создает дополнительные трудности при производстве НПС. Алифатические НПС производят на основе фракции C<sub>5</sub> (основные мономеры: пентены, изопрен, циклопентадиен, пентадиен-1,3 (пиперилен)).

**Нефтеполимерная смола на основе фракции C<sub>5-9</sub>** – широкая фракция углеводородов с температурой плавления от 70 до 190 °С. Данная смола имеет отличный баланс адгезионных свойств и когезии, является термостабильной и хорошо совмещается и растворяется во многих продуктах [4].

Используется для изготовления клеев-расплавов, для производства клеев для обуви. Кроме того, она также используется в качестве агента в резиновых смесях, герметиков [5].

### ***Смола на основе дициклопентадиеновой фракции ДФ***

Смолы на основе дициклопентадиена получают из технического ДЦПД или из фракций, содержащих значительное количество ДЦПД.

Состав дициклопентадиеновой фракции содержит 38 - 56 % дициклопентадиена [6].

Смолы на основе дициклопентадиена впервые были представлены в США в 1980 году и постепенно они заменили значительную долю рынка ортофталевых ненасыщенных полиэфирных смол. Основной причиной изменения была возможность снижения содержания стирола в готовой смоле с 42 до 35 %.

Типичные характеристики ДЦПД смол:

- низкая вязкость;
- низкое содержание стирола;
- хорошие пропитывающие свойства смолы;
- хорошее качество поверхности конечной детали;
- высокие показатели температуры тепловой деформации;
- низкое водопоглощение;
- улучшенная устойчивость к термоокислительному разложению

на высоких температурах (благодаря алициклическим группам ДЦПД).

### **1.2 Получение нефтеполимерных смол**

Синтез нефтеполимерных смол осуществляют полимеризацией непредельных углеводородов (мономеров), содержащихся в исходном сырье. Образование полимеров из мономеров происходит за счет кратных связей или размыкания циклов и соединения исходных молекул мономеров в макромолекулу полимера.

Состав НПС зависит как от углеводородного состава исходного сырья, так и от способа полимеризации.

В зависимости от участвующего в процессе полимеризации промежуточного активного центра – радикала или иона различают радикальную и ионную полимеризацию.

*Ионная (каталитическая) полимеризация* протекает с образованием либо карбокатиона, либо карбаниона с последующей передачей по цепи положительного или отрицательного заряда. Синтез НПС включает следующие основные стадии: предварительную осушку исходного сырья, полимеризацию и отстой продукта, нейтрализацию полимеризата и его отмывку, отгонку от полимеризата жидких углеводородов. Каталитической полимеризацией получают алифатические, ароматические и сополимерные НПС. В качестве катионных катализаторов наибольшее распространение получили такие катализаторы Фриделя-Крафтса, как  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$  и их многочисленные комплексы с различными органическими соединениями (простыми и сложными эфирами, фенолами, карбоновыми кислотами, альдегидами и т. п.). Другими эффективными катализаторами этого ряда являются  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ , алкилалюминийхлориды.

Наиболее распространенными катализаторами являются кислоты Льюиса –  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_5$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$  и др. Кроме того, инициаторами многих процессов ионной полимеризации являются донорно-акцепторные комплексы, или процессы протекают через промежуточные стадии их образования. Так, эфиры акриловых кислот образуют комплексы с тетрахлоридом титана, которые использовались в сополимеризации с мономерами фракций жидких продуктов пиролиза [7].

В промышленности полимеризацию осуществляют по периодической или непрерывной технологической схеме в присутствии катализаторов (сильные минеральные кислоты, галогениды металлов), инициаторов (пероксидов и гидропероксидов) или термическим способом.

### **1.3 Модификация нефтеполимерных смол**

Для улучшения свойств НПС проводят модификацию. Модификация нефтеполимерных смол осуществляется за счет функциональных кислородсодержащих соединений. Модифицированные нефтеполимерные смолы получают модификацией как исходного сырья (смешивая полимеризуемую основу с другими углеводородными компонентами или обрабатывая сырье химическими агентами), так и собственно нефтеполимерных смол [8].

Основными достоинствами НПС является их способность к пленкообразованию, а также водостойкость и высокая температура размягчения. Но наряду с достоинствами НПС, не содержащие в своем составе функциональных групп, кроме ненасыщенных связей имеют и недостатки, главные из которых – низкая адгезия и высокая окисляемость, и, следовательно, отсутствие требуемого комплекса свойств, что существенно сужает область их практического использования.

#### ***Модификация кислородсодержащими соединениями***

Одним из наиболее экономически привлекательных способов модификации смол являются окислительные процессы. Процессы осуществляют с целью введения в состав нефтеполимерных смол полярных кислородсодержащих группировок окислением пероксидом водорода, кислородом воздуха, перманганатом калия, надуксусной кислотой [8], озono-кислородной смесью [9].

Модификация нефтеполимерных смол функциональными кислородсодержащими соединениями, участвующими в формировании покрытия, как за счет имеющихся кислородсодержащих групп, так и вновь образующихся в процессе окислительного структурирования, способствует увеличению скорости формирования покрытия и улучшению его свойств (прочность на изгиб и удар, адгезия). Покрытие формируется за счет усиления межмолекулярного дипольного взаимодействия по кислородсодержащим группам [10].

Многие окислители являются недостаточно эффективными в отношении смол, основными компонентами которых являются циклические олефиновые соединения. Поэтому поиск новых селективных агентов модификации НПС в настоящее время актуален [11].

Окисление нефтеполимерных смол также проводится методом непрямого электроокисления. Суть данного метода заключается в генерации окислительного агента при пропускании электрического тока через раствор электролита, в качестве которого выступила серная кислота. Комплекс образующихся при электролизе окислителей, в свою очередь, не выделяется в чистом виде, а вступает в реакцию с нефтеполимерной смолой, находящейся в реакционной среде [12].

Одним из методов высокоэффективного введения кислородсодержащих функциональных групп в органическую молекулу по месту двойной связи является озонирование [13].

Этот метод привлекателен тем, что реакция протекает в мягких условиях с высоким выходом целевых продуктов (озонирование протекает с высокой скоростью в широком интервале температур от минус 120 до плюс 120 °С), не требует применения катализаторов и не сопровождается образованием побочных и токсичных продуктов (озон полностью расходуется на окисление, непрореагировавший озон улавливается и направляется вновь на окисление или распадается с образованием кислорода) [14]. Интерес к данному методу обусловлен и легкостью управления реакцией: в зависимости от природы растворителя и активной добавки целевыми продуктами озonoлиза являются  $\alpha$ -гидропероксиды, озониды, димерные пероксиды, альдегиды, кетоны, кислоты, при дополнительной обработке продуктов озonoлиза легко получают спирты и амины [15,16].

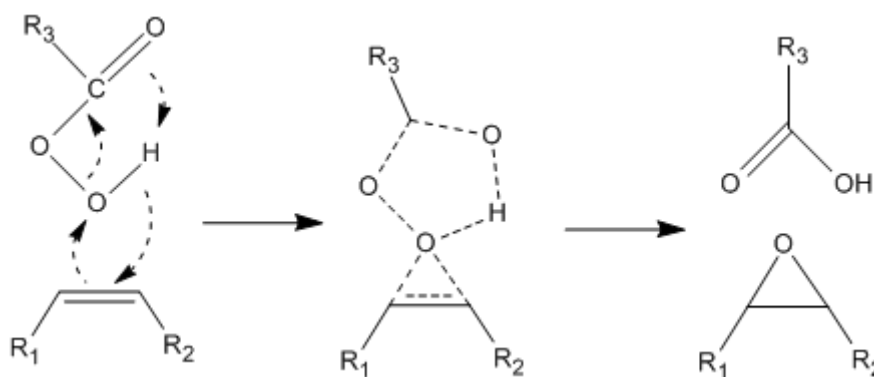
В настоящей работе модифицировали предварительно полученные нефтеполимерные смолы.

Объектом исследования являются НПС на основе фракции  $C_5$ ,  $C_{5-9}$  и  $C_{дф}$ . Поскольку все смолы непредельные, то модификацию проводили по реакции Прилежаева.

#### *Реакция Прилежаева*

Реакция Прилежаева – взаимодействие алкенов с надкислотами с образованием оксиранов (эпоксидов). Открыта российским и советским химиком органиком Н. А. Прилежаевым в 1909 г [17].

Реакция протекает по механизму электрофильной атаки атомом кислорода гидропероксидной группы молекулы надкислоты на кратную связь молекулы алкена. При этом образуется циклическое переходное состояние:

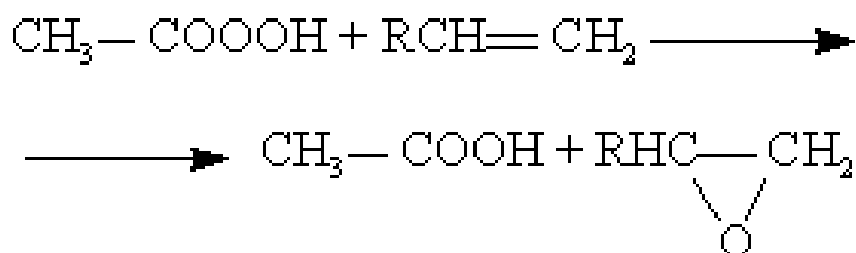
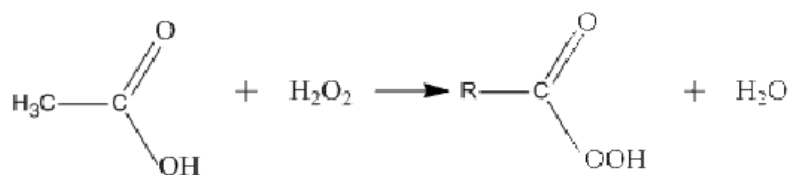


Реакция является стереоселективной, и в итоге чаще всего образуются цис-оксиды, в которых сохраняется пространственная конфигурация заместителей. Если же в молекуле исходного алкена есть стерические затруднения, то наряду с цис-изомерами образуются и транс-изомеры. Реакция протекает быстрее, если в молекуле алкена есть электронодонорные заместители; электроноакцепторные заместители замедляют реакцию.

Реакцию проводят в инертных растворителях ( $C_6H_{14}$ ,  $C_6H_6$ ,  $CH_2Cl_2$ ,  $CHCl_3$ ,  $CCl_4$  при температурах от минус 10 до плюс 60 °С с выходом продукта реакции 60 - 80 %.

Реакция Прилежаева применяется в лабораториях для препаративного синтеза [18].

Согласно данной реакции, окисление нефтеполимерной смолы на основе фракции С<sub>5</sub> идет следующим образом [19]:



Согласно имеющимся данным общий кислотный катализ не проявляется в реакции Прилежаева, однако реакция надуксусной кислоты с олефинами подвержена катализу при использовании сильных кислот. Количество катализатора оказывает существенное влияние на свойства НПС и селективность процесса. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> служит катализатором реакции окисления уксусной кислоты в надуксусную, увеличивая концентрацию этого реагента в реакционной смеси. В отсутствии катализатора процесс идет с низкой селективностью как в направлении эпоксидирования, так и в направлении более глубокого окисления. При увеличении концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> надуксусная кислота расходуется интенсивнее. Это можно объяснить тем, что сильная кислота является также катализатором разложения пероксидных групп в реакционной смеси. Об этом свидетельствует уменьшение содержания активного кислорода [8].

### ***Модификация малеиновым ангидридом***

Модификация НПС малеиновым ангидридом снижает их окисляемость. Малеиновый ангидрид является самым популярным реагентом для химической модификации НПС. При обработке НПС 15 % малеиновым

ангидридом при температуре 180 - 200 °С в течение 12 ч происходит полное подавление ее окисляемости. Модификация НПС малеиновым ангидридом в присутствии различных добавок (органических фосфатов, металлов II группы, углекислого газа) приводит к получению смолы с высокой стойкостью к повышенным температурам и атмосферным воздействиям. Обработка НПС  $\alpha$ ,  $\beta$ -ненасыщенными многоосновными кислотами улучшает проклеивающие свойства составов на их основе, водостойкость. Однако перечисленные методы не являются селективными [20].

Полимеризация смеси фракций  $C_5$  и  $C_9$ , при последовательном добавлении катализатора и 0,2 - 0,5 % малеинового ангидрида, приводит к образованию смолы с температурой размягчения более 100 °С. При этом малеиновый ангидрид легко взаимодействует с диенами, образуя аддукты и препятствуя появлению большого количества побочных маслообразных продуктов [20].

### ***Модификация хлорированием***

Распространенными способами модификации полимеров и эластомеров являются прямое хлорирование или гидрохлорирование. Следует отметить, что эти способы имеют ряд недостатков: сложность применяемого процесса, многостадийность процесса и др.

Процессы заместительного хлорирования и расщепления хлорпроизводных всегда сопровождаются образованием хлористого водорода, который утилизируют в виде соляной кислоты или иногда применяют для гидрохлорирования. Однако эти пути утилизации HCl ограничены, в частности, из-за недостаточной чистоты получаемой соляной кислоты и превышения ее общего производства над потреблением. Поэтому задача более полного использования хлора, замены его на HCl или устранения побочного образования HCl является важной для экономики хлорорганических производств [21].

**Модификация НПС маслами** позволяет улучшить физико-механические показатели, защитные свойства, вид пленок, а так же совместимость некоторых НПС с маслами.

При ограниченной совместимости ряда НПС с препарированными маслами для получения хорошего пленкообразующего проводят их химическую модификацию, которую обычно осуществляют под действием высоких температур, катализаторов и инициаторов полимеризации или совместным окислением. Наилучшие результаты достигаются при использовании высыхающих масел, в особенности содержащих соединения с сопряженными двойными связями. Наиболее распространенным является способ высокотемпературного сплавления НПС с непрепарированными маслами при 250 - 300 °С в течение нескольких часов [22].

#### **1.4 Свойства нефтеполимерных смол**

Большинство нефтеполимерных смол – твердые аморфные термопластичные продукты с молекулярной массой 500 - 2500, температурой размягчения 70 - 150 °С. Выпускают также вязкотекучие НПС (молекулярная масса около 300). Высококачественные нефтеполимерные смолы бесцветны или слегка желтоваты; их цвет мало изменяется при нагревании. Плотность НПС 0,93 - 1,1 г/см<sup>3</sup>; зольность светлых нефтеполимерных смол не превышает 0,1 %. НПС хорошо растворимы в углеводородах, сложных эфирах уксусной кислоты и кетонах, не растворимы в низших спиртах. Алифатические нефтеполимерные смолы совместимы с жирными алкидными смолами, растительными и нефтяными маслами, но несовместимы с касторовым маслом, нитроцеллюлозой, нитрильными каучуками [6].

#### **1.5 Применение нефтеполимерных смол**

Нефтеполимерные смолы применяются как основное вещество в клеях-расплавах, адгезионный агент в клеях для самоклеящихся материалов. Смола нефтеполимерная используется как добавка в клеящие слои изоляционных

лент, чернила, типографские краски, автомобильные шины, компаундирование каучуков, краски на основе алкидных и эпоксидных смол, связующее при производстве асфальта, водоотталкивающая добавка при производстве бетона и т.д. Нефтеполимерные смолы используются как компонент для производства строительных красок, олиф и модификации пленкообразующих веществ, для клеевых композиций в обувной промышленности [23].

Нефтеполимерная смола может применяться в производстве РТИ и искусственных кож, в качестве эффективных пластификаторов вместо канифоли; полимербетонов (нефтеполимерные смолы повышают их прочность, морозостойкость, снижают водопроницаемость), строительных мастик для облицовки стен, устройства кровель, для гидроизоляции (имеют хорошую адгезию к бетону). Смола нефтеполимерная позволяет асфальтобетонному покрытию сохранять свои свойства вместо 3 - 4 лет до 12 - 15 лет.

Смолы с модифицированной структурой, благодаря своим уникальным свойствам (присутствию в структуре лиофильных и лиофобных центров), находят применение не только в качестве заменителей растительных масел и природных смол, а также могут быть связующим звеном между маслом и водой в стабилизации эмульсии [22].

## **1.6 Битумные композиции**

Битум – это твердый или смолоподобный продукт, представляющий собой сложную смесь углеводородов и их производных (в основном, соединений углеводородов с серой, кислородом и азотом).

Битумы имеют аморфное строение и в отличие от кристаллических тел не имеют определённой температуры плавления; стойки к водным растворам многих кислот, щелочей, солей, но совсем не стойки к органическим растворителям (этиловый спирт, бензин, ацетон, скипидар, бензол и др.) [24].

Битумы являются гидрофобным материалом, т.е. не смачиваются водой, имеют плотное строение, их пористость практически равна нулю, поэтому они водонепроницаемы и морозостойки. Именно эти свойства позволяют широко использовать битумы в строительстве при устройстве кровель и гидроизоляции. Благодаря своей дешевизне битум пользуется особой популярностью при проведении многих строительных работ [25].

Битумы по их происхождению подразделяют на искусственные и природные ископаемые продукты, называемые асфальтами и асфальтитами [24]. Асфальтиты, по сравнению с асфальтами, содержат меньшее количество минеральных примесей и имеют более высокую температуру плавления (не ниже 98 °С). Искусственные битумы, получаемые пиролизом нефти или нефтяных гудронов, по составу и свойствам близки к природным, но уступают им в твердости. Реже применяют в производстве лаков [25].

Современная насыщенность рынка кровельных материалов отечественными и импортными аналогами требует от производителей высокой конкурентоспособности выпускаемой продукции по всем показателям. В связи с этим разработка рецептур и технологий получения композиционных битумных материалов с целью создания кровельных и гидроизоляционных материалов с заданными свойствами является актуальной народнохозяйственной задачей [26]. Для улучшения эксплуатационных характеристик битумов их подвергают модификации. Использование, в частности, нефтеполимерных смол в качестве модификаторов позволяет не только эффективно утилизировать побочные продукты пиролизных производств этилена и пропилена, но и получать новые битумные материалы с улучшенными свойствами [26].

**Битум строительный БН 90/10** – универсальный, недорогой гидроизоляционный материал, широко используемый в различных областях строительства для гидроизоляции строительных и инженерных конструкций и сооружений из различных материалов [27].

Маркировка битума расшифровывается следующим образом: БН – битум нефтяной, первая цифра – температура размягчения, вторая – пенетрация, т.е. глубина проникновения в битум специальной иглы при температуре 25 °С и нагрузке 100 грамм. Единица измерения пенетрации – десятые доли миллиметра.

Битум нефтяной строительный – один из продуктов переработки нефти, получаемый окислением остаточных продуктов прямой перегонки нефти и их смесей с асфальтами и экстрактами масляного производства.

Битум строительный 90/10 характеризуется высоким показателем сцепления материала с поверхностью изолируемого основания из бетона, металла, кирпича, дерева, камня, что позволяет применять его для гидроизоляции оснований из различных по структуре, плотности и пористости строительных материалов [28].

В пределах положительных температур, обладает устойчивостью к трещинообразованию, пластичностью, которые снижаются с понижением температуры.

При отрицательных температурах битум теряет пластичность и становится ломким (хрупким), подвержен трещинообразованию при внешней нагрузке или подвижности изолируемых оснований, в местах стыков [29].

#### ***Назначение битума строительного марки БН 90/10:***

- Обмазочная гидроизоляция различных конструктивных элементов зданий, строительных и инженерных сооружений, гидроизоляции и ремонта кровли.
- Гидроизоляция трубопроводов, канализационных и вспомогательных туннелей, мостов, шахт; наружной гидроизоляции конструкций зданий и сооружений из стали, кирпича, бетона, дерева, камня и других материалов.
- Гидроизоляции и ремонт плоской (мягкой) кровли, в том числе для подготовки бетонного основания плоской кровли для укладки битумных наплавленных материалов, гидроизоляции фундамента, подвала, стен,

межпанельных стыков и заливки трещин, различных конструкций из бетона жилых и не жилых домов, зданий, сооружений [30].

***Преимущества использования строительного битума БН 90/10:***

- Универсальность материала. Может использоваться для гидроизоляции различных по структуре и пористости оснований.
- Обладает абсолютной водонепроницаемостью (нерастворим в воде).
- Покрытие из битума характеризуется достаточной надежностью, прочностью и антикоррозийным эффектом.
- В отличие от битума строительного 70/30, битум марки 90/10 обладает более высокой температурой размягчения (от 90 до 105 °С, при средних фактических значениях – около 96 - 100 °С), что расширяет сферу его использования и позволяет сохранять потребительские свойства при более высоких температурах.
- Качественные характеристики битума, простота нанесения и подготовки к работе, а так же невысокая стоимость материала, делают битум данной марки экономичным и надежным материалом для гидроизоляционных работ [31].

## 2 Объекты и методы исследования

### 2.1 Характеристика исходных веществ и реактивов

1. *Нефтеполимерная смола* алифатического характера на основе фракции  $C_5$ , полученная катионной полимеризацией (производитель – ООО «Олефинь», г. Томск);

- *Нефтеполимерная смола* на основе широкой фракции углеводородов  $C_{5-9}$ , полученная катионной полимеризацией (производитель – ООО «Олефинь», г. Томск);

- *Нефтеполимерная смола* на основе дициклопентадиеновой фракции, полученная катионной полимеризацией на каталитической системе  $TiCl_4 - Al(C_2H_5)_2Cl$  в соотношении 1:1.

2. *Пероксид водорода  $H_2O_2$*  – бесцветная прозрачная слегка вязкая жидкость со слабым своеобразным запахом. Молекулярная масса пероксида водорода 34,02. В промышленных масштабах перекись водорода техническую 38,7 % получают из органических веществ – окисляют изопропиловый спирт в присутствии катализатора. Перекись водорода техническая в концентрации 38,7 % применяется в химической промышленности как реагент-окислитель и катализатор. Полностью смешивается с водой, этанолом, эфиром. Разбавлением готовят растворы нужной концентрации [33].

3. *Уксусная кислота  $CH_3COOH$*  – бесцветная жидкость с кислым привкусом и резковатым запахом. Для безводной, «ледяной», кислоты:  $T_{кип}$  равна 118,1 °С, молярная масса 60,05 г/моль, плотность 1,05 г/см<sup>3</sup> [33].

4. *Серная кислота  $H_2SO_4$*  – сильная двухосновная кислота. Реактивная серная кислота имеет обычно плотность 1,84 г/см<sup>3</sup> и содержит около 95 %  $H_2SO_4$ . Затвердевает она лишь ниже -20 °С.  $T_{плав}$  моногидрата равна 10,37 °С,  $T_{кип}$  равна 337 °С, молярная масса 98,079 г/моль [33].

5. *Толуол  $C_6H_5CH_3$*  – Бесцветная жидкость с ароматическим запахом. Молярная масса 92,14 г/моль, плотность 0,866 г/см<sup>3</sup>,  $T_{плав}$ : -94,99 °С,  $T_{кип}$

равна 110,62 °С. Тoluол легко воспламеняется, температура вспышки 4 °С, толуол самовоспламеняется при температуре 536 °С. Смешивается со спиртами, углеводородами, хорошо растворим в большинстве органических растворителей [33].

6. *Диэтилалюминий хлорид*  $Al(C_2H_5)_2Cl$  (ДЭАХ) – бесцветная или желтого цвета жидкость, прозрачная. Молекулярная масса 120,55 г/моль. Плотность 0,232 г/см<sup>3</sup>;  $T_{кип}$ : 125 °С;  $T_{плав}$ : -74 °С. Вещество является пирофорной жидкостью, при взаимодействии с кислотами, водой и спиртами приводит к взрыву. На воздухе дымит, самовоспламеняется, мгновенно разлагается [33].

7. *Тетрахлорид титана*  $TiCl_4$  – бесцветная или светло-желтая жидкость с резким запахом. Молярная масса 189,679 г/моль; плотность: 1,725 г/см<sup>3</sup>;  $T_{кип}$ : 136,4 °С;  $T_{плав}$ : -24 °С. Вещество разлагается при разогреве или при сжигании с образованием токсичных паров, в том числе хлористого водорода. Реагирует бурно с водой с выделением тепла и едких паров хлористого водорода [33].

8. *Ацетон*  $C_3H_6O$  – бесцветная летучая легковоспламеняющаяся жидкость со специфическим запахом. Молярная масса 58,08 г/моль; плотность: 0,859 г/см<sup>3</sup>;  $T_{кип}$ : 56 °С;  $T_{плав}$ : -95 °С. Данная жидкость хорошо смешивается с водой и органическими растворителями, такими как эфир, этанол, метанол [33].

9. *Бром*  $Br_2$  – химически активный неметалл, относится к группе галогенов. Простое вещество при нормальных условиях – тяжёлая едкая жидкость красно-бурого цвета с сильным неприятным запахом, легко образует желто-бурые пары. Бром растворим в воде. Плотность: 3,19 г/см<sup>3</sup> (при 0 °С).  $T_{плав}$ : минус 7,2 °С,  $T_{кип}$ : 58,8 °С, при кипении бром превращается из жидкости в буро-коричневые пары, при вдыхании раздражающие дыхательные пути [33].

10. *Иодид калия*  $KI$  – йодистый калий, калиевая соль йодоводородной кислоты. Бесцветная кристаллическая соль, широко используемая в качестве

источника йодид-ионов. Менее гигроскопична, чем йодид натрия. На свету или при нагревании на воздухе желтеет из-за окисления кислородом воздуха йодид-ионов до элементарного йода. Молярная масса 166,0028 г/моль, плотность: 3,13 г/см<sup>3</sup> [33].

11. *Тиосульфат натрия*  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  – сульфидотриоксосульфат натрия, антихлор, гипосульфит, соль натрия и тиосерной кислоты, образует кристаллогидрат  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Молярная масса 158,11 г/моль, плотность: 1,715 г/см<sup>3</sup> [33].

12. *Гидроксид калия*  $\text{KOH}$  – бесцветные, очень гигроскопичны кристаллы, но гигроскопичность меньше, чем у гидроксида натрия. Водные растворы  $\text{KOH}$  имеют сильнощелочную реакцию. Молярная масса 56,1056 г/моль, плотность: 2,1 г/см<sup>3</sup> [33].

13. *Соляная кислота*  $\text{HCl}$  – хлороводородная, хлористоводородная, хлористый водород, раствор хлороводорода в воде; сильная одноосновная кислота. Бесцветная (техническая соляная кислота желтоватая из-за примесей  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cl}_2$  и др.), «дымящая» на воздухе, едкая жидкость. Максимальная концентрация при 20 °C равна 38 % по массе, плотность такого раствора 1,19 г/см<sup>3</sup>. Молярная масса 36,46 г/моль [33].

14. *Фенолфталеин*  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$  – 3,3-бис-(4-гидроксифенил)фталид или 4,4'-диоксифталофенон – трифенилметановый краситель, кислотно-основный индикатор, изменяющий окраску от бесцветной (при  $\text{pH} < 8,2$ ) до красно-фиолетовой, «малиновой» (в щелочной); но в концентрированной щелочи – вновь бесцветен. В концентрированной серной кислоте образует розовый катион. Вещество представляет собой бесцветные кристаллы, плохо растворимые в воде, но хорошо – в спирте и диэтиловом эфире. Молярная масса 318,31 г/моль, плотность: 1,3 г/см<sup>3</sup> [33].

15. *Метиловый красный*  $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$  – 4-диметиламиноазобензол-2-карбоновая кислота – синтетический анилиновый краситель, кислотно-основный индикатор. Это фиолетово-бордовые кристаллы, плавящиеся при 175 °C (с разложением). Плохо растворим в воде, хорошо растворим в

уксусной кислоте, бензоле (особенно нагретом), умеренно растворим в этаноле. В кислой среде метиловый красный приобретает красный цвет, в нейтральной и щелочной – желтый (переход от красного к желтому цвету приблизительно при  $pH = 2,0$ ). Молярная масса 269,3 г/моль [33].

16. Нефтяной строительный битум 90/10 ГОСТ 22245-90 (производитель – ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», г. Кстово).

## **2.2 Процесс синтеза и модификации НПС**

### *Посуда и приборы:*

Весы аналитические, трехгорлая колба, штатив, баня водяная, электрическая плитка, электрическая мешалка, термометр, капельная воронка емкостью 100 мл, мерные цилиндры емкостью 50 мл, обратный холодильник, чашки Петри, датчик регулирования температуры.

Лабораторная установка для синтеза и эпоксидирования НПС состоит из плитки, водяной бани, трехгорлой колбы, обратного холодильника, мешалки и датчика регулирования температуры.

### *Методика выполнения синтеза НПС<sub>ДФ</sub>:*

Синтез осуществляют в реакторе, который представляет собой стеклянную трехгорлую колбу (объемом 500 мл), снабженную механической мешалкой, гидрозатвором и обратным холодильником. Реактор помещают в водяную баню. Загрузку проводят при комнатной температуре и включенной мешалке. Далее ведут процесс полимеризации при постоянной температуре. Далее ведут процесс дезактивации при постоянном перемешивании. Затем полученную смолу сушат при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Выделение смолы проводили удалением непрореагировавших углеводов в тонком слое.

### *Методика выполнения модификации НПС:*

#### Эпоксидирование НПС<sub>ДФ</sub>

Эпоксидирующая система – ледяная уксусная кислота, пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  (38,7 %), серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Содержание  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в реакционной массе – 0,8 %. Соотношение  $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$  равно 1:1 (мольное).

#### Эпоксидирование НПС<sub>C5</sub>

Методика проведения эксперимента аналогична методике проведения эпоксидирования НПС<sub>ДФ</sub>.

#### Эпоксидирование НПС<sub>C5-9</sub>

Методика проведения эксперимента аналогична методике проведения эпоксидирования НПС<sub>ДФ</sub>.

### **2.3 Методы анализа НПС**

#### **2.3.1 Методика определения выхода смолы**

Товарная нефтеполимерная смола находится в растворе непрореагировавших углеводородов, поэтому необходимо определить выход смолы.

Во взвешенный фарфоровый тигель загружают 5 г нефтеполимерной смолы, тигель помещают в песчаную баню и выдерживают в течение 1 часа при температуре 160 °С. При нагревании, растворитель как более летучее вещество – испаряется. По окончании процесса отгонки, тигель остужают до комнатной температуры и взвешивают.

Выход смолы (X, %) рассчитывается по формуле [34]:

$$X = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%,$$

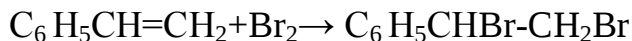
где  $m_1$  – масса пустого тигля, г;

$m_2$  – масса тигля с навеской смолы до выкипания, г;

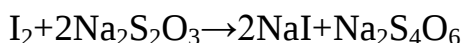
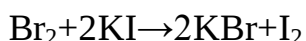
$m_3$  – масса тигля с навеской смолы после выкипания, г.

### 2.3.2 Методика определения бромного числа

Бромное число – число граммов брома, присоединившегося к 100 г исследуемого вещества. Оно характеризует содержание в нем непредельных соединений:



Бромное число определяют следующим образом. В две конические колбы с притертыми пробками емкостью по 200 мл помещают навески (массой 0,1 г) анализируемого вещества. Взвешивают навески на аналитических весах с точностью до 0,0001. В колбы добавляют по 20 мл толуола для полного растворения навески. Содержимое перемешивают и охлаждают в ледяной бане до 5 °С. Затем в каждую колбу добавляют охлажденный 0,1 н раствор  $\text{Br}_2$  в ледяной уксусной кислоте в таком количестве, чтобы содержание колб оставалось желтым от избытка брома и после охлаждения (3 мл). Полученные смеси снова охлаждают в темном месте в течении 5 минут. После завершения бромирования прибавляют 10 мл 10 %-го раствора  $\text{KI}$ . Выделяющийся йод сразу титруют 0,1 н раствором  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , в присутствии 2 мл крахмала. Титрование продолжают до исчезновения синей окраски растворов:



Во время титрования содержимое колб энергично взбалтывают для лучшего контакта йода с водным раствором тиосульфата натрия.

Параллельно проводят титрование смеси 20 мл  $\text{CCl}_4$ , 1мл 0,1 н раствора брома и 10 мл 10 %-го раствора  $\text{KI}$  без анализируемого вещества (холостой опыт).

Бромное число рассчитывают по формуле:

$$\text{БЧ} = \frac{(a - b) * 0,008 * K * 100}{g},$$

где

а – объем 0,1 н раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , пошедший на титрование в холостом опыте, мл

б – объем 0,1 н раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , пошедший на титрование навески исследуемой смеси, мл;

g – навеска анализируемого вещества, г

0,008 – число граммов брома, соответствующее 1 мл 0,1н раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

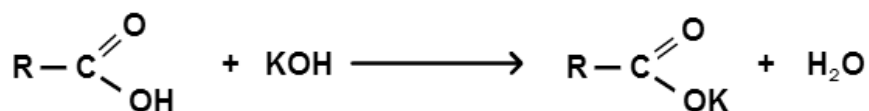
K – поправка на 0,1н раствор  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  [35].

### *Приготовление раствора крахмала*

Сначала готовят насыщенный раствор  $\text{NaCl}$  на холоде в дистиллированной воде (фильтруют, если необходимо). К 500 мл этого раствора на холоде добавляют 100 мл 80 %-ной уксусной кислоты и 3 г крахмала. Смесь кипятят до получения почти прозрачного раствора, затем приливают 25 мл холодной воды.

### **2.3.3 Методика определения кислотного числа**

Кислотное число – число миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных карбоновых кислот, которые содержатся в 1 г анализируемого вещества. Кислотное число определяют титрованием навески вещества спиртовым раствором гидроксида калия:



Методика определения следующая. В две чистые сухие колбы емкостью по 100 мл помещают навески (по 0,1 г) анализируемого вещества, взвешенные на аналитических весах. В колбы приливают по 15 мл толуола, добавляют 3 - 4 капли индикатора (фенолфталеин) и титруют 0,1 н спиртовым раствором гидроксида калия. Конец титрования определяют по

изменению окраски раствора от желтой в кислой среде до малиновой в щелочной. Параллельно проводят титрование 15 мл толуола без навески анализируемого вещества (холостой опыт).

Кислотное число рассчитывают по формуле:

$$КЧ = \frac{(a - б) * 0,0056 * K}{g},$$

где

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

$б$  – объем 0,1 н раствора  $Na_2S_2O_3$ , пошедший на титрование холостой пробы, мл;

$g$  – навеска анализируемого вещества, г;

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

$K$  – поправка на 0,1 н раствор КОН [35].

### 2.3.4 Методика определения эпексидного числа

Основная характеристика эпексидированной НПС – содержание (массовая доля) эпексидных групп. В отечественной практике этот показатель обычно называют эпексидным числом. Его выражают количеством эпексидных групп (ммоль), содержащихся в единице массы олигомера, а также в % (по массе).

Сущность метода состоит в титровании раствором щелочи или азотнокислого серебра избытка соляной кислоты в ацетоновом растворе после реакции с эпексидным соединением.

В коническую колбу вместимостью 100 мл вносят 0,1 г анализируемого продукта и растворяют в 5 мл толуола. Пипеткой прибавляют 10 мл ацетонового раствора соляной кислоты (40 мл ацетона смешивают с 1 мл соляной кислоты). Смесь выдерживают при комнатной температуре в течение 30 мин. В колбу вносят 2-3 капли метилового красного и титруют

содержимое 0,1 н раствором гидроокиси калия до исчезновения красной окраски.

Параллельно проводят контрольный опыт в тех же условиях и с теми же реактивами, но без анализируемого продукта.

Эпоксидное число рассчитывают по формуле:

$$\text{ЭЧ} = \frac{(V_2 - V_1) * 0,0043 * 100}{g},$$

где  $V_1$  – объем раствора КОН, пошедший на титрование навески, мл;

$V_2$  – объем раствора КОН, пошедший на титрование холостого опыта, мл;

0,0043 – поправка на 0,1 н раствор КОН;

$g$  – навеска образца, г [35].

### **2.3.5 Исследование структуры с помощью ИК-спектроскопии**

Обычно для установления строения органических соединений совершенно необходимо применение ИК- или ЯМР-спектроскопии. Анализ ИК-спектров является превосходным методом определения функциональных групп. Его можно применять параллельно с проведением химических реакций на те или иные функциональные группы. Такое совместное применение ИК-спектроскопии и химических реакций в ряде случаев действительно может привести к установлению строения изучаемого вещества [36].

По числу и положению пиков в ИК-спектрах поглощения можно судить о природе вещества (качественный анализ), а по интенсивности полос поглощения – о количестве вещества (количественный анализ). Основные приборы – различного типа инфракрасные спектрометры.

При записи спектра на оси абсцисс откладывается в линейной шкале значение волновых чисел  $\nu$  ( $1/\lambda$ ) в  $\text{см}^{-1}$  или мкм, на оси ординат – величина пропускания (в %) [36].

Поэтому максимумы пиков, отвечающие наибольшему поглощению ИК-излучения, обращены вниз.

Современные спектрометры позволяют регистрировать ИК-спектры газообразных, жидких и твердых образцов. Для получения ИК-спектра органического или природного соединения необходимо всего от 1 до 10 мг вещества.

В случае регистрации ИК-спектров соединений в растворах или суспензиях необходимо вычитать полосы поглощения растворителей или суспендирующей среды.

Образцы исследовали на спектрометре Nicolet 5700 в таблетках KBr.

## **2.4 Получение битумно-смоляных композиций**

Для получения битумно-смоляной композиции используют 40 %-ый раствор исследуемой смолы в сольвенте и 40 %-ый раствор битума в сольвенте.

### **2.4.1 Испытания покрытий на основе смол и битумно-смоляных композиций**

#### *Подготовка поверхности подложек*

При подготовке образцов покрытий для испытаний применяют пять методов нанесения пленки на подложки: кистью, наливом, окунанием, краскораспылителем и аппликатором.

Для нанесения аппликатором регулируют высоту щели, тем самым обеспечивается необходимая толщина покрытия. Испытуемый материал распределяется на пластинке ровным непрерывным слоем.

#### *Прочность при изгибе (ГОСТ Р 52740-2007)*

Изгиб покрытий косвенно характеризует его эластичность, свойство обратное хрупкости. Сущность метода – определение минимального диаметра стержня, при изгибании на котором покрытие на металлической пластинке не разрушается.

Прибор представляет собой панель, на которую, по очереди, устанавливаются 12 металлических стержней разных диаметров. Испытуемый материал наносят на тонкую металлическую пластинку. Высушенную пластинку с покрытием подвергают изгибу на стержне от большего диаметра к меньшему каждый раз в разном месте пластинки, до момента обнаружения трещин.

За величину изгиба покрытия принимают значения минимального диаметра стержня, на котором лакокрасочное покрытие остается неповрежденным [37].

#### *Прочность при ударе (ГОСТ 4765-73)*

Сущность метода заключается в определении при помощи прибора У-1 максимальной высоты в сантиметрах, с которой свободно падает на металлическую пластинку с пленкой груз в 1 кг. Прочностью пленки при ударе выражают максимальной высотой (в сантиметрах), с которой свободно падает груз в 1 кг, не вызывая деформации металлической пластины с нанесенным покрытием [38].

#### *Адгезия (ГОСТ 15140-78)*

Адгезия – это способность покрытия к прилипанию или сцеплению с окрашиваемой поверхностью.

Величина адгезии характеризует механические и защитные свойства покрытий [39].

#### *Метод решетчатых надрезов (прибор «Адгезиметр РН»)*

На приготовленные к испытанию покрытия при помощи прибора делаем пять параллельных и пять перпендикулярных им надрезов. Образуется решетка из квадратов одинакового размера со стороной 1 мм.

После нанесения решетки поверхность покрытия очищаем кистью от отслоившихся кусочков пленки и оцениваем адгезию по трехбалльной шкале [40].

### *Определение адгезии с помощью прибора «Адгезиметр ОР»*

Адгезиметр ОР предназначен для измерения адгезии покрытий методом прямого отрыва покрытия от основания, на которое оно нанесено.

Прибор измеряет усилия отрыва (адгезии) полимерных и клеевых, порошковых и жидких лакокрасочных покрытий в соответствии с ИСО 4624. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии покрытий.

Прибор измеряет адгезию покрытий (лакокрасочных, порошковых, дорожной разметки, клеев, грунтовок, паркетных лаков; на металле, пластмассе, дереве, асфальте, бетоне и железобетоне, стеновых конструкциях) методом прямого отрыва от основания.

Принцип работы прибора имитирует работу малогабаритной разрывной машины.

Работа прибора основана на том, что цилиндр (грибок) приклеивается к покрытию, нанесенному на основание, и после сушки вставляется в обойму захватного механизма, пружинный механизм которого создает усилие отрыва.

Усилие, при котором покрытие отрывается от основания, считывается по двум шкалам прибора: с ценой деления 10 кг и ценой деления 1 кг.

Детали прибора цилиндры (грибки) приклеиваются к покрытию клеями с высокими адгезионными характеристиками.

Затем, после сушки, цилиндры вставляются в прибор, который работает в режиме разрывной машины.

Адгезия покрытий методом отрыва по ИСО 4624 рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2}, [\text{кг/см}^2],$$

где  $F$  – сила отрыва, от 1 до 100 кг,

$d$  – диаметр основания цилиндра (грибка), приклеиваемого к покрытию, см

Адгезиметр ОР комплектуется грибками с диаметром основания 1,13 см, 1,6 см [41].

В данной работе использовали грибок с диаметром равным 1,13 см.

#### *Определение температуры размягчения по кольцу и шару (ГОСТ 32054-2013)*

Температурой размягчения называется температура, при которой смола или битум размягчается и переходит в капельно-текучее состояние в заданных условиях.

Прибор состоит из металлического штатива, на котором укреплены два кольца высотой 6,35 мм и внутренним диаметром 15,9 мм, двух стальных полированных шариков диаметром 9,53 мм и толстостенного стакана высотой 150 мм и наружным диаметром 120 мм.

Сущность метода: два диска битума помещают в латунные кольца с бортиками, нагревают с контролируемой скоростью в жидкостной бане до тех пор, пока каждый диск удерживает стальной шарик. Температуру размягчения определяют как среднее значение температур, при которых каждый из двух дисков размягчается настолько, чтобы каждый шарик, покрытый битумом, переместился вниз на расстояние 25 мм (1 дюйм) [42].

#### *Определение водопоглощения*

Водопоглощение – это свойство материала впитывать и удерживать в порах воду.

Для определения водопоглощения образцы высушивают до постоянного веса, взвешивают и насыщают водой.

Образцы после водонасыщения вынимают из сосуда с водой, обтирают тряпкой и взвешивают.

Водопоглощение по массе  $W$  равно отношению массы воды, которая поглощается образцом при насыщении, к массе сухого образца:

$$W = \frac{m_1 - m}{m} * 100 \% = \frac{m_1 - m}{m - m_2} * 100 \%,$$

где  $m$  – масса сухого образца, г;

$m_1$  – масса насыщенного водой образца, г;

$m_2$  – масса пластины, г [44].

#### *Определение температуры хрупкости (ГОСТ 11507-78)*

Температура хрупкости  $T_{\text{ХР}}$  – это температура, при которой полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) переходят из вязкоупругого в хрупкое состояние, и в слое вяжущего, нанесенном на стальную пластинку и охлаждаемом с определенной и постоянной скоростью, при циклическом изгибе пластины появляются трещины. Этот показатель определяют по ГОСТ 11507-78 на приборе криостат LOIP FT-311-80 (криостат жидкостного сверхнизкого охлаждения с диапазоном задаваемых температур от -80 до +100 °С. Производитель АО «ЛЮИП», г. Санкт-Петербург) . Этот показатель является нижней границей температурного интервала работоспособности вяжущих. Температура хрупкости ПБВ в зависимости от состава и марки должна быть не выше минус 15 - минус 30 °С [45].

#### *Определение поверхностного угла смачивания*

Изучение влияния исходных и модифицированных НПС на адгезионные свойства битума к поверхности металлических пластин, изготовленных из стали Ст3 проводят методом смачивания. Краевой угол смачивания битумно-смоляной композиции на металлической подложке определяют на приборе Drop Shape Analyzer – DSA25 (производитель «KRUSS», Германия) методом лежащей капли с использованием программного обеспечения «Method-Tangent» и «Circle Fitting».

Битумно-смоляную композицию готовят смешением 40 %-го раствора битума и смолы в сольвенте в количественном соотношении 1:1,5

соответственно. Затем композицию тщательно перемешивают на приборе перемешивающего устройства «Lab dancer» в течение 10 минут. Измерения проводили при температуре равной 25 °С [46].

#### *Определение кислотостойкости*

Кислотостойкость (кислотоупорность) – способность материалов противостоять действию разрушения кислот.

Исследуемые покрытия погружали в 10 %-ый раствор серной кислоты на 7 дней. После этого кислотостойкость оценивали по состоянию битумно-смоляных покрытий и поверхности металла. Качество поверхности оценивали с помощью цифрового USB-микроскопа digimicro 2.0 с 200х кратным увеличением.

#### *Определение стойкости к воздействию переменной температуры и повышенной влажности (ГОСТ 9.401-91.)*

Проведение испытаний [48]:

1 день – образцы помещают в камеру влаги, выдерживают при температуре  $(40 \pm 2)$  °С и относительной влажности воздуха  $(97 \pm 3)\%$  в течение 6 ч, затем выключают обогрев и выдерживают в камере в течение 2 ч.

2 день – из камеры влаги образцы переносят в камеру холода и выдерживают при температуре минус  $(45 \pm 3)$  °С в течение 2 ч. Далее из камеры холода образцы переносят в термокамеру и выдерживают при температуре  $(60 \pm 2)$  °С в течение 4 ч. Продолжительность выдержки между камерой холода и камерой влаги – не более 15 мин.

3 день – образцы извлекают из термокамеры и выдерживают на воздухе при температуре 15 - 30 °С и относительной влажности воздуха не более 80 % в течение 6 ч.

Цикл проводили 2 раза.

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

В настоящее время перспективность научного исследования оценить на первых этапах жизненного цикла достаточно трудно. Оценка коммерческого потенциала разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Коммерческая привлекательность научного исследования – эпоксидирования нефтеполимерных смол и использования их в качестве компонентов битумно-смоляных композиций – определяется не только превышением технических параметров над предыдущими методами, но и тем, насколько быстро возможно найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» – определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **4.1 Предпроектный анализ**

Чаще всего основной акцент ставится на этап разработки проекта. Основной задачей этого раздела является выявление и разработка наиболее эффективных проектных решений.

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Продукт (результат НИР) – эпоксидированная нефтеполимерная смола, потребителями которой могут выступать химические предприятия и строительные компании. В особенности ЭНПС могут найти применение в дорожном строительстве в качестве эффективного заменителя природного

битума и адгезионной добавки к дорожным битумам (для производства дорожных асфальтовых смесей), а также для модификации маловязких дорожных битумов. В результате исследования была разработана технология получения битумно-смоляных композиций, в которых ЭНПС выступала модификатором битума.

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

В таблице 21 представлена оценка конкурентов, где Ф – разрабатываемый проект, К<sub>1</sub> – конкурент.

Таблица 21 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки                                    | Вес<br>крите-<br>рия | Баллы          |                 | Конкуренто-<br>способность |                 |
|----------------------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
|                                                    |                      | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | К <sub>ф</sub>             | К <sub>к1</sub> |
| Теоретические критерии оценки ресурсоэффективности |                      |                |                 |                            |                 |
| 1. Температура размягчения по методу КиШ           | 0,1                  | 5              | 3               | 0,5                        | 0,3             |
| 2. Кислотостойкость                                | 0,1                  | 5              | 2               | 0,5                        | 0,2             |
| 3. Растворимость                                   | 0,1                  | 5              | 5               | 0,5                        | 0,5             |
| 4. Простота эксплуатации                           | 0,1                  | 5              | 5               | 0,5                        | 0,5             |
| 5. Безопасность                                    | 0,2                  | 3              | 4               | 0,6                        | 0,8             |
| Экономические критерии оценки эффективности        |                      |                |                 |                            |                 |
| 1. Конкурентоспособность продукта                  | 0,05                 | 3              | 4               | 0,15                       | 0,2             |
| 2. Уровень проникновения на рынок                  | 0,05                 | 3              | 5               | 0,15                       | 0,25            |
| 3. Цена                                            | 0,15                 | 4              | 5               | 0,6                        | 0,75            |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                | 0,15                 | 5              | 4               | 0,75                       | 0,6             |
| Итого                                              | 1                    | 38             | 37              | 4,25                       | 4,1             |

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл i-го показателя.

Конкурентоспособность данной научной работы выше по сравнению с битумом марки БН-90/10, соответствующей ГОСТу 6617-76. Данная разработка имеет высокие показатели свойств продукта, такие как температура размягчения, кислотостойкость и предполагаемый срок эксплуатации, что не наблюдается у конкурентов.

Для повышения конкурентоспособности, нужно стремиться увеличить безопасность продукта, используя менее токсичные компоненты.

#### **4.1.3 Диаграмма Исикавы**

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- выявление причин возникновения проблемы;
- анализ и структурирование процессов на предприятии;
- оценка причинно-следственных связей.

Сначала формулируется существенная проблема или дефект качества.

Главные категории потенциальных причин – это оборудование, материалы, человек, процессы, менеджмент, измерительные средства и т.д. Для каждой главной категории на диаграмму наносятся все вероятные причины проблемы. Диаграмма Исикавы представлена на рис. 4.1.

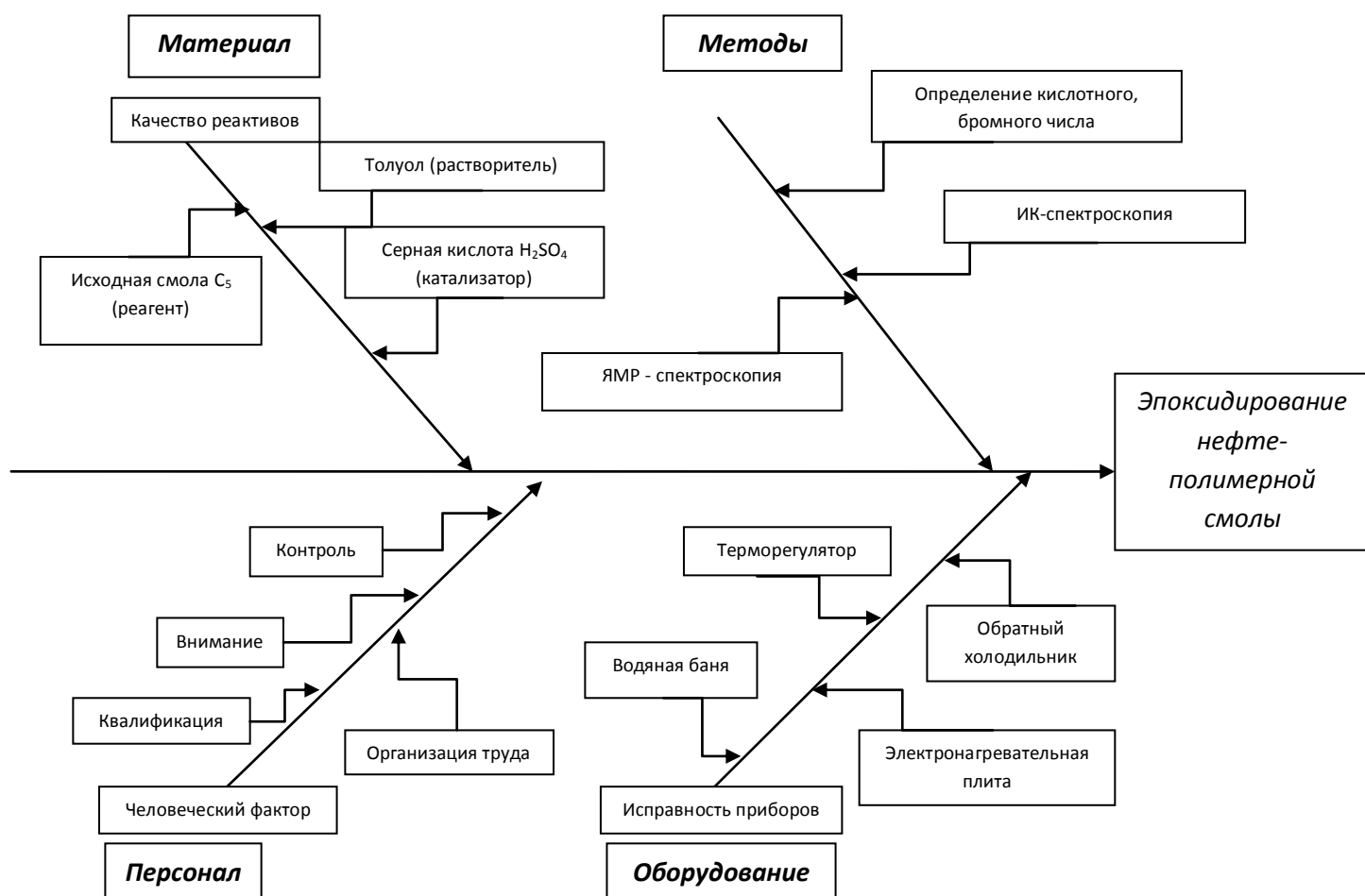


Рисунок 13 – Диаграмма Исикавы

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

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 перспективные направления коммерциализации научно-технического Задела | 4                                        | 3                                       |
| 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                        | 3                                        | 3                                       |
| Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта                                | 3                                        | 3                                       |
| Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки                       | 2                                        | 2                                       |

Продолжение таблицы 22

|                                                                                   |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| Определены пути продвижения научной разработки на рынок                           | 3  | 4  |
| Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки                       | 4  | 4  |
| Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок    | 2  | 2  |
| Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 1  | 2  |
| Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки            | 3  | 2  |
| Имеется команда для коммерциализации научной разработки                           | 3  | 3  |
| Проработан механизм реализации научного проекта                                   | 3  | 3  |
| Итого баллов                                                                      | 47 | 42 |

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В данном случае перспективность самого проекта выше среднего (47 баллов) и уровень знаний у разработчика (42 балла) имеет среднюю перспективность.

Таким образом, необходимо дополнительно проработать вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот, а также международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

#### **4.1.5 Метод 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. Возможных путей немало:

- 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 Инициация 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 дорожно-строительные предприятия                    | Оптимизация/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 целях проекта и критериях их достижения.

Таблица 24 – Цели и результаты проекта

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цели проекта:                        | Получение и исследование свойств эпоксидированных нефтеполимерных смол;<br>Получение битумно-смоляных композиций на основе модифицированных нефтеполимерных смол                                                                          |
| Ожидаемые результаты проекта:        | Выбор оптимальных условий синтеза нефтеполимерных смол для получения материалов с высокими техническими характеристиками;<br>Возможность использования полученных модифицированных НПС в качестве компонентов битумно-смоляных композиций |
| Критерии приемки результата проекта: | Определение физико-механических показателей покрытий на основе битумно-смоляных композиций путем испытания их на прочность при ударе, прочность на изгиб, твердость, водопоглощаемость, морозостойкость и кислотостойкость                |
| Требования к результату проекта:     | Целевой продукт соответствует требованиям ГОСТ ЭНПС с набором удовлетворительных физико-химических свойств<br>Битум, модифицированный ЭНПС обладает высокими прочностными и адгезионными характеристиками                                 |

### ***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,<br>место работы, должность                                 | Роль в<br>проекте | Функции                                                                                                                       | Трудо-затраты,<br>ч. |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Бондалетова Л.И.,<br>НИТПУ ИПР, доцент кафедры<br>ТОВПМ, к.х.н. | Руководи-<br>тель | Координация<br>деятельности проекта                                                                                           | 100                  |
| Криницына З.В.,<br>НИТПУ, доцент кафедры<br>менеджмента, к.т.н  | Эксперт           | Консультирование по<br>выполнению раздела<br>«Финансовый<br>менеджмент,<br>ресурсоэффектив-<br>ность и<br>ресурсосбереже-ние» | 4                    |
| Раденков Т.А.,<br>НИТПУ, инженер кафедры<br>ЭБЖ                 | Эксперт           | Консультирование по<br>выполнению раздела<br>«Социальная<br>ответственность»                                                  | 4                    |
| Рыманова И.Е.,<br>НИТПУ, ст.преподаватель<br>кафедры ИЯ         | Эксперт           | Консультирование по<br>выполнению раздела<br>на английском языке                                                              | 4                    |
| Нгуен Ван Тхань,<br>НИТПУ ИПР, кафедра<br>ТОВПМ, аспирант       | Ассистент         | Консультирование по<br>выполнению ВКР                                                                                         | 4                    |
| Прокопьева Т.А.,<br>НИТПУ ИПР, кафедра<br>ТОВПМ, магистрант     | Исполни-<br>тель  | Выполнение ВКР                                                                                                                | 784                  |
| ИТОГО:                                                          |                   |                                                                                                                               | 900                  |

#### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

##### *План проекта*

В качестве метода планирования выбираем линейный график (таблица 26), поскольку данная работа характеризуется сравнительно небольшим количеством этапов и исполнителей.

Таблица 26 – Календарный план проекта

| Название                                                          | Длительность,<br>дни | Дата<br>начала<br>работ | Дата<br>окончания<br>работ | Состав<br>участников<br>(ФИО<br>исполнителей)                                 |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Составление<br>технического<br>задания                            | 19                   | 1.09.15                 | 19.09.15                   | Бондалетова<br>Людмила<br>Ивановна                                            |
| Изучение<br>литературы,<br>составление<br>литературного<br>обзора | 103                  | 20.09.15                | 31.12.15                   | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна                                        |
| Патентный поиск                                                   | 15                   | 1.01.16                 | 15.01.16                   | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна                                        |
| Выполнение<br>экспериментальной<br>части                          | 166<br>273           | 16.01.16<br>1.09.16     | 30.06.16<br>6.04.17        | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна                                        |
| Обсуждение<br>полученных<br>результатов                           | 14                   | 7.04.17                 | 21.04.17                   | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна,<br>Бондалетова<br>Людмила<br>Ивановна |
| Оформление<br>выводов                                             | 13                   | 21.04.17                | 4.05.17                    | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна                                        |
| Оформление<br>пояснительной<br>записки                            | 36                   | 5.05.17                 | 10.06.17                   | Прокопьева<br>Татьяна<br>Александровна                                        |
| ИТОГО:                                                            | 623                  | 1.09.15                 | 10.06.17                   |                                                                               |

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, 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. Для данного проекта диаграмма Ганта представлена в таблице 27.

Таблица 27 – Календарный план-график выполнения проекта

| Вид работ                                             | Т <sub>к</sub> ,<br>кал.<br>дн. | Продолжительность выполнения работ |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------|--------|---------|----------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|
|                                                       |                                 | 2015год                            |         |        |         | 2016 год |         |      |        |     |      |      |        | 2017 год |         |        |         |        |         |
|                                                       |                                 | сентябрь                           | октябрь | ноябрь | декабрь | январь   | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | январь | февраль |
| Составление технического задания                      | 19                              |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Изучение литературы, составление литературного обзора | 107                             |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Патентный поиск                                       | 15                              |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Выполнение экспериментальной части                    | 439                             |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Обсуждение полученных результатов                     | 14                              |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Оформление выводов                                    | 13                              |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |
| Оформление пояснительной записки                      | 36                              |                                    |         |        |         |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |        |         |

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                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Эпоксидирование нефтеполимерной смолы                | Нефтеполимерная смола, серная кислота, ледяная уксусная кислота, пероксид водорода, толуол | Лабораторный реактор с обратным холодильником и механической мешалкой, трехгорлая колба, электроплита одноконфорочная, терморегулятор, капельная воронка, делительная воронка |
| Анализ эпоксидированной нефтеполимерной смолы (ЭНПС) | Толуол, бром, иодид калия, тиосульфат натрия, гидроксид калия, соляная кислота             | Микробюретка, пипетки, груша, мерные стаканы и цилиндры, стеклянные колбы, ступка с пестиком, стеклянные палочки, аналитические весы                                          |
| Получение битумно-смоляных композиций                | Битум, полученная ЭНПС, толуол                                                             | Шприцы, стеклянные стаканы, пробирки, металлические подложки, скальпель, аппликатор                                                                                           |

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (4 % 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 с НДС, руб. | Сумма, руб. |
|------------------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|-------------|
| НПС                                      | кг                | 1          | 45                          | 45          |
| Серная кислота (концентрированная)       | л                 | 1          | 58                          | 58          |
| Уксусная кислота (ледяная)               | л                 | 1          | 63                          | 63          |
| Пероксид водорода                        | л                 | 1          | 105                         | 105         |
| Толуол                                   | л                 | 4          | 145                         | 580         |
| Иодид калия                              | кг                | 1          | 18                          | 18          |
| Бром                                     | л                 | 1          | 180                         | 180         |
| Тиосульфат натрия                        | кг                | 1          | 32                          | 32          |
| Гидроксид калия                          | кг                | 1          | 110                         | 110         |
| Соляная кислота (концентрированная)      | л                 | 1          | 35                          | 35          |
| Битум                                    | кг                | 1          | 13                          | 13          |
| Всего за материалы                       |                   |            |                             | 1948        |
| Транспортно-заготовительные расходы (4%) |                   |            |                             | 78          |
| Итого:                                   |                   |            |                             | 2026        |

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

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (химической посуды, приборов, контрольно-измерительной 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, 500 мл           | шт                | 1      | 295                         | 295         |
| Обратный холодильник               | шт                | 1      | 1490                        | 1490        |
| Цилиндр мерный стеклянный, 1000 мл | шт                | 1      | 363                         | 363         |
| Колба коническая, 250 мл           | шт                | 1      | 132                         | 132         |

Продолжение таблицы 30

|                                          |                   |    |       |       |
|------------------------------------------|-------------------|----|-------|-------|
| 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                | 1  | 15    | 15    |
| Пипетка, 5 мл                            | шт                | 2  | 20    | 40    |
| Пипетка, 10 мл                           | шт                | 2  | 25    | 50    |
| Груша                                    | шт                | 1  | 10    | 10    |
| Пробирка плоскодонная, 10 мл             | упаковка (100 шт) | 1  | 180   | 180   |
| Ступка с пестиком,                       | шт                | 1  | 400   | 400   |
| 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, 1мл                               | шт                | 10 | 2     | 20    |
| Шприц, 5 мл                              | шт                | 10 | 4     | 40    |
| Перчатки химические                      | пара              | 10 | 8     | 80    |
| Халат                                    | шт                | 1  | 400   | 400   |
| Всего за материалы и оборудование        |                   |    |       | 82190 |
| Транспортно-заготовительные расходы (4%) |                   |    |       | 3288  |
| Итого:                                   |                   |    |       | 85478 |

### ***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 ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

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

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического 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:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $Z_{\text{б}}$  – 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 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители  | $З_б$ , руб. | $k_p$ | $З_м$ , руб. | $З_{дн}$ , руб. | $T_p$ , раб.дн. | $З_{осн}$ , руб. |
|--------------|--------------|-------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Руководитель | 23264,86     | 1,3   | 30244,32     | 1255,30         | 251             | 358714,50        |
| Магистрант   | 2200         | 1,3   | 2365         | 151,57          | 251             | 30400            |
| Итого:       |              |       |              |                 |                 | 408114,50        |

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

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

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

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{осн}$  – 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       | 358714,50    | 30400      |
| Дополнительная зарплата | 87557,18     | –          |
| Итого:                  | 443671,68    |            |

*Отчисления на социальные нужды*

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{осн},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30,5 %.

Результаты расчетов по данной статье представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Отчисления на социальные нужды

|                                | Руководитель | Магистрант |
|--------------------------------|--------------|------------|
| Зарплата                       | 358714,50    | 30400,00   |
| Отчисления на социальные нужды | 58186,53     | –          |
| Итого:                         | 58186,53     |            |

В таблице 35 представлена группировка по всем статьям бюджета проекта, описанным выше.

Таблица 35 – Группировка затрат по статьям

| Сырье, материалы | Оборудование | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Итого плановая себестоимость |
|------------------|--------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 2026             | 85478        | 614114,50                 | 87557,18                        | 166424,93                      | 955600,61                    |

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

##### **4.4.1 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.

Таблица 36 – Группировка затрат (в рублях) по статьям аналогов разработки

| Вариант исполнения аналога № | Сырье, материалы | Специальное оборудование | Основная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Итого плановая себестоимость |
|------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1                            | 205600           | 940960,35                | 174115,60                 | 47185,32                       | 1367861,2                    |

Рассчитаем значения интегрального финансового показателя для всех вариантов исполнения научного исследования:

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{955600,61}{1686286,91} = 0,57$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{1367861,27}{1686286,91} = 0,81$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, следовательно, наша разработка обладает наименьшей стоимостью по сравнению с аналогами.

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

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

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 37.

Таблица 37 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

| Критерии                        | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------|----------|
| Эксплуатационные характеристики | 0,5                           | 5              | 4        |
| Надежность                      | 0,3                           | 5              | 5        |
| Безопасность                    | 0,2                           | 5              | 5        |
| ИТОГО                           | 1                             | 5              | 4,5      |

$$I_m^p = 5*0,5+5*0,3+5*0,2 = 5$$

$$I_m^{a1} = 4*0,5+5*0,3+5*0,2 = 4,5$$

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

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

$$\text{Для нашей разработки: } I_{финр}^p = \frac{5}{0,57} = 8,77$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{финр}^{a1} = \frac{4,5}{0,81} = 5,56$$

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

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

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

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

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

Сравнение значений интегральных показателей эффективности (таблица 38) позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

Таблица 38 – Сравнительная эффективность разработки

| Показатели                                              | Аналог 1 | Разработка |
|---------------------------------------------------------|----------|------------|
| Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,81     | 0,57       |
| Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,50     | 5,00       |
| Интегральный показатель эффективности                   | 5,56     | 8,77       |
| Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 2,05     | –          |

В результате анализа показателей эффективности инвестиций, получили:

- 1) чистый дисконтированный доход составляет 1 445 500 рублей при коэффициенте дисконтирования 0,1;
- 2) срок окупаемости проекта равен 1,42 месяца;
- 3) внутренняя норма доходности – 0,68, что больше значения коэффициента дисконтирования, следовательно, инвестиционный проект экономически оправдан;
- 4) индекс доходности – 2,51, что больше единицы, а значит, такая инвестиция приемлема.

Таким образом, инвестиционный проект считается экономически выгодным.

## Список публикаций

1. **Прокопьева Т.А.** Окисление алифатических нефтеполимерных смол пероксидом водорода // Сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск: Изд-во ТПУ, 17 – 20 мая 2016 г.
2. Попова Ю.Р., **Прокопьева Т.А.** Окисление нефтеполимерных смол по реакции Прилежаева // Сборник научных трудов XXI Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», Томск: Изд-во ТПУ, 3 – 7 апреля 2017.
3. **Прокопьева Т.А.,** Нгуен Ван Тхань. Битумно-смоляные композиции на основе окисленных нефтеполимерных смол // Сборник научных трудов XVIII Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск: Изд-во ТПУ, с 29 мая по 1 июня 2017 г.