

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

Школа \_\_\_\_\_ Инженерная школа природных ресурсов \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки \_\_\_\_\_ 18.04.01. Химическая технология \_\_\_\_\_  
 Отделение школы \_\_\_\_\_ Отделение химической инженерии \_\_\_\_\_

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Получение полимерных материалов на основе норборненовых производных сложных эфиров полифторированных спиртов</b>

УДК 661.48.095.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Жарков Александр Александрович		01.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Бондалетов В.Г.	д.т.н.		01.06.2022

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		01.06.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		01.06.2022

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гавриленко М. А.	д.х.н., доцент		01.06.2022

## Запланированные результаты обучения по программе

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

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
 Отделение школы Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ 01.10.2020 Гавриленко М. А.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<b>магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Жарков Александр Александрович

Тема работы:

<b>Получение полимерных материалов на основе норборненовых производных сложных эфиров полифторированных спиртов</b>	
Утверждена приказом директора (номер, дата)	31-65/с от 31.01.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2022 г.
--	----------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, цикло и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объекты исследования – бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумарат, бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилат, а также полимеризация данных соединений.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Литературный обзор          Объекты и методы исследования          Результаты и обсуждения          Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение          Социальная ответственность          Заключение</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	к.т.н., Сечин Андрей Александрович
Literature review	к.ф.н., Швагрукова Е.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
На русском языке: Литературный обзор	
На английском языке: Literature review	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Бондалетов Владимир Григорьевич	д.т.н.		01.10.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Жарков Александр Александрович		01.10.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ01	Жаркову Александру Александровичу

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней рыночной стоимости. Оклады в соответствии с окладами сотрудников организации.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% районный коэффициент
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления во внебюджетные фонды

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

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Представить Устав научного проекта магистерской работы
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план управления НТИ
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Рассчитать сравнительную эффективность исследования

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	25.02.2022
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		25.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ01	Жарков Александр Александрович		25.02.2022

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Жаркову Александру Александровичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Получение сополимера дициклопентадиена с норборненовым производным эфира 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта и исследование физико-механических свойств

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/ при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объектами исследования являются непредельные эфиры 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта и полимеры на его основе. Аналитический контроль полученных продуктов. Область применения: химическая промышленность. Рабочая зона: лабораторное помещение ОХИ ТПУ, ауд.111. Оборудование рабочей зоны: материальное обеспечение лаборатории ОХИ ТПУ. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: подготовка навески, синтез и очистка полученного мономера.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 01.04.2019)</li> <li>– ГОСТ 12.0.004-90. «Организация обучения безопасности труда».</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p> <p>2.3 Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Повышенный уровень токсичных и канцерогенных веществ;</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.</li> <li>– Взрыво- и пожаробезопасность. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты:</li> <li>– Приточно-вытяжная вентиляция;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Устройства защитного отключения или защитного заземления;</li> <li>– Респиратор, очки, резиновые перчатки, лабораторный халат.</li> </ul> Произведен расчет вредного фактора – освещения на рабочем месте.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия объекта на: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Селитебную зону: воздействие отсутствует;</li> <li>– Атмосферу: выбросы вредных газов и паров органических веществ;</li> <li>– Гидросферу: малеиновый ангидрид при взаимодействии с водой происходит образование малеиновой кислоты. Возможен разлив серной кислоты, 1,1,9-тригитрогексадекафторноналов ого спирта, продуктов синтеза;</li> <li>– Литосферу: загрязнение почвы сырьем, а также продуктами синтеза.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Утечка химикатов в лаборатории;</li> <li>– Выход оборудования из строя;</li> <li>– Резкое ухудшение состояния сотрудника;</li> <li>– Возгорание химикатов.</li> </ul> Наиболее типичная ЧС: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Пожар.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		03.04.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Жарков Александр Александрович		03.04.2022

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 184 страниц, 73 рисунка, 54 таблицы, 2 приложения.

Ключевые слова: полифторированный спирт, дициклопентадиен, циклопентадиен, малеиновый ангидрид, катализатор Ховейда-Граббса, реакция этерификации, реакция Дильса-Альдера, метатезисная полимеризация.

Объектом исследования – норборненовые производные сложных эфиров на основе 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта и полимеры на их основе.

Цели исследования: является разработка методики и получение новых мономеров на основе 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта, а также дальнейшая гомополимеризация полученного бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата и сополимеризация его с дициклопентадиена.

В процессе исследования произвели ряд синтезов, в ходе которого были получены норборненовые производные сложных эфиров на основе 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта, в дальнейшем метатезисной полимеризацией были получены шесть сополимерных пластин с ДЦПД и несколько образцов гомополимера бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата.

Область применения: детали механизмов, авто-, авиа-, судо-, строительная и сельскохозяйственная техника.

Экономическая значимость работы: низкая себестоимость мономеров ДЦПД, увеличение срока службы материалов.

В будущем планируется получить норборненовые производные сложных эфиров на основе более низкомолекулярных полифторированных спиртов и сравнить их физико-механические, трибологические свойства, с целью получения материала с наилучшими свойствами

## **Обозначения и сокращения**

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующими расшифровками:

**М1Сп4** – бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумарат;

**М2Сп4** – бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)

цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилат;

**М1Сп3** - бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил);

**М2Сп3** – бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) бицикло[2.2.1]

гепт-5-ен-2,3-дикарбоксилат;

**МА** – малеиновый ангидрид;

**ПФС/ПС** – полифторированный спирт;

**ЦПД** – циклопентадиен;

**ДЦПД** – дициклопентадиен;

**РОМР** – метатезисная полимеризация с раскрытием цикла;

**ГХМС** – газовая хроматография масс-спектрометрия;

**ЯМР** – ядерно-магнитный резонанс.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор .....	16
1.1 Характеристика поли- и перфторированных спиртов.....	16
1.2 Получение непредельных эфиров поли- и перфторированных спиртов.	20
1.3 Реакция Дильса-Альдера .....	22
1.4 Синтез производных норборнена .....	23
1.5 Метатезисная полимеризация производных норборнена .....	25
1.6 Характеристика ПДЦПД .....	29
2 Объект и методы исследования .....	31
2.1 Материалы и реактивы.....	31
2.2 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9- гексадекафторнонил)фумарата .....	40
2.3 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9- гексадекафторнонил)фумарата из реакционной массы.....	40
2.4 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9- гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата.....	41
2.5 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9- гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата.....	42
2.6 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата с бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) малеатом .....	42
2.7 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата с бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) малеатом из реакционной массы .....	42
2.8 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоксилата .....	43

2.9 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоксилата из реакционной массы .....	43
2.10 Методика очистки дициклопентадиена .....	44
2.11 Методика проведения метатезисной гомополимеризации бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата и подбор режима проведения процесса.....	46
2.12 Методика переосаждения гомополимера бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата.....	47
2.13 Методика проведения сополимеризации дициклопентадиена и бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата.....	47
2.14 Методика проведения экстракции полученного сополимера.....	48
2.15 Методика проведения исследования набухания сополимеров.....	49
2.16 Экспериментальные методы исследования образцов .....	50
2.16.1 Методика проведения газовой хроматографии масс-спектрометрии.	50
2.16.2 Методика проведения ИК-спектроскопии.....	50
2.16.3 Методика проведения ЯМР <sup>1</sup> H-спектроскопии.....	50
2.16.4 Физико-механические испытания .....	51
3 Результаты и обсуждение.....	55
3.1 Синтез бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил) фумарата.	55
3.2 Синтез бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил) цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата .....	60
3.3 Синтез бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата с бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) малеатом. ....	67
3.4 Очистка исходного мономера ДЦПД до полимеризационной чистоты..	73

3.5	Метатезисная гомополимеризация бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата.....	82
3.7	Сополимеризации дициклопентадиена и бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата.....	86
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	97
4.1	Предпроектный анализ .....	97
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	97
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	98
4.1.3	SWOT – анализ .....	100
4.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	104
4.2	Инициация проекта .....	105
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом.....	107
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта .....	107
4.3.2	План проекта.....	107
4.3.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	110
4.4.8	Затраты научно-исследовательской работы .....	115
4.5	Организационная структура проекта .....	117
4.6	План управления коммуникациями проекта .....	117
4.7	Реестр рисков проекта.....	118
4.8	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	118
4.8.1	Оценка абсолютной эффективности исследования .....	118
4.8.2	Оценка сравнительной эффективности исследования .....	124
5	Социальная ответственность .....	127
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	128

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	128
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	128
5.2 Профессиональная социальная безопасность .....	130
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые сможет создать объект исследования.....	130
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	131
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	132
5.3 Экологическая безопасность.....	138
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	138
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	138
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	138
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	139
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	139
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	139
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	140
Заключение .....	142
Список публикаций.....	143
Список использованных источников .....	144
Приложение А .....	150

Приложение Б.....	173
-------------------	-----

## **Введение**

Полидициклопентадиен обладает рядом отличительных характеристик, таких как высокая прочность, стойкостью к агрессивным средам и хорошей термостойкостью

И несмотря на высокие прочностные характеристики он требует модификации, которая может быть осуществлена путём сополимеризации с другими мономерами.

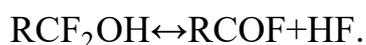
В качестве других мономеров предлагаем сложные непредельные эфиры полифторированных спиртов. Введение таких соединений позволит произвести внутримолекулярную пластификацию ПДЦПД, одновременно изменив надмолекулярную структуру. Введение перфтор полифтор алкильных фрагментов может привести к повышению гидрофобности полученного материала, снижения энергетических потерь на преодоления трения. Сополимеризация в настоящее время широко исследуется и осуществляется при использовании катализаторов Широка-Граббса.

Целью данной работы является разработка методики синтеза получения бис-(гексадекафторнонилбицикло[2.2.1]дикарбоксилата и исследование его сополимеризации с дициклопентадиеном.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Характеристика поли- и перфторированных спиртов

Полифторированные спирты – это химические соединения, содержащие в молекуле гидроксильную группу, характерную для спиртов, и полифторированный радикал  $R_F$ . Стабильность первичных и вторичных спиртов, как правило, ниже по сравнению с другими, и они подвержены самопроизвольному дегидрофторированию, в результате которого получают фторкарбонильные соединения согласно реакции, приведенной ниже:



Наиболее устойчивыми являются  $\alpha$ -фторсодержащие спирты, например, гипогалогениды  $RF CF_2 OHal$ , алкоголяты  $RF CF_2 OM$  (где  $M$  – Na, K, Cs и др.), эфиры минеральных кислот и т.д.

Кислотность данных спиртов значительно выше по сравнению с аналогами, не содержащими фторированных атомов углерода, с увеличением количества фторированных радикалов возрастает и кислотность, которую можно сравнить с кислотностью некоторых карбоновых кислот.

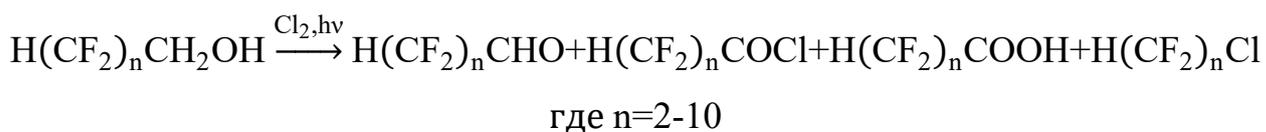
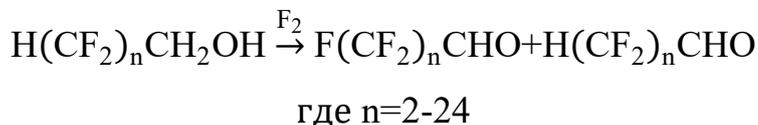
Присутствие фторированного радикала в молекуле спиртов влияет и на направление реакций, например, в ходе реакции дегидратации образуются только простые эфиры. Но  $\alpha, \omega$ -полифторсодержащие диолы способны к образованию олефинов в ходе той же реакции дегидратации.

С точки зрения физического состояния, полифторированные спирты представляют бесцветную или слегка желтоватую жидкость с характерным резким запахом. Хорошо растворимы в воде, а также органических растворителях. Также данным спиртам характерны кристаллические и воскообразные состояния, в зависимости от длины цепочки молекулы.

Основные характеристические сигналы полифторированных спиртов на ИК-спектрах – это полоса поглощения в области  $3300-3250 \text{ см}^{-1}$ , что соответствует гидроксильной группе, данный сигнал является явно выраженным.

На ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах о наличии гидроксильной группы сигнализирует химический сдвиг в области 4,1-5,3 м.д.

Также фторированные спирты вступают в реакцию галогенами, в ходе которых могут быть получены следующие соединения:



Получение полифторированных спиртов возможно несколькими способами: гидрированием карбоновых кислот на Pt катализаторе, теломеризаций, а также менее развитый способ – гидролиз полифторсодержащих галоген алканов в присутствии оснований, окислением полифторалканов неорганическими растворителями. Второй способ более характерен для крупного производства, в ходе которого получают спирты-теломеры.

Применяются полифторированный спирты в качестве растворителей ПМ, рабочей жидкости тепловых насосов, в медицине, в синтезе фторполимеров, а также в получении различных фторорганических продуктов.

С использованием фторспиртов были получены высокомолекулярные соединения, обладающие следующими свойствами: высокие смазывающие свойства, негорючие, коррозионностойкие, экологические безопасные и обладающие высокими теплофизическими и диэлектрическими свойствами [1].

Таблица 1 – Свойства некоторых полифторированных спиртов [2]

Соединение	Мол. м., г/моль	$T_{пл}$ , °C	$T_{кип}$ , °C	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	$pK_a$
2,2,2-Трифторэтанол $CF_3CH_2OH$	100,04	-44,6	73,8	1,3842	1,2907*	12,8
2,2,3,3,- Тетрафторпропанол $CHF_2CF_2CH_2OH$	132,06	-15,0	109 – 110	1,4710	1,3210	12,7
2,2,3,3,3- Пентафторпропанол $CF_3CF_2CH_2OH$	150,05	–	81 – 83	–	1,2950	–
1,1,1,3,3,3-Гексафтор-2- пропанол $(CF_3)_2CHOH$	168,04	-3,4	58,2	1,4653	1,2750*	9,3
2,2,3,3,4,4,4- Гептафторбутанол $CF_3(CF_2)_2CH_2OH$	200,05	–	96,5	1,600*	1,2990	–
1,1,1,3,3,3-Гексафтор-2- трифторметилпропанол $(CF_3)_3COH$	236,04	–	45,0	1,630	1,2700	5,4
2,2,3,3,4,4,5,5- Октафторпентанол $CHF_2(CF_2)_3CH_2OH$	232,07	-65,0	140 – 141	1,6670	1,3178	–
2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7- додекафторгептанол $CHF_2(CF_2)_5CH_2OH$	332,10	–	169 – 170	1,7616	1,3180	–

\* При 22 °C

ПС относятся к токсичным веществам, поражают слизистую оболочку глаз, органы дыхания, а также кожный покров, печень и почки.

ПС являются горючими веществами,  $T_{\text{вс}}$  варьируется в области 430-460 °С, в ходе горения выделяются высокотоксичные продукты [3.4].

Одной из уникальных особенностей ПС является образование прочных водородных связей с амидной группой в среде  $\text{CCl}_4$  по сравнению с нефторированными аналогами.

Фторированные спирты-теломеры со степенью теломеризации  $n=2,3$  – это отходы производства спирта-теломера  $n_1$ , которые нашли свое применение в области обработки лазерных дисков [5].

Проблема утилизации решается путем получения сложных полифторалкиловых эфиров при взаимодействии с фталевым ангидридом.

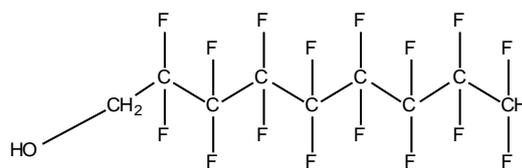
По мере увеличения углеродной фторированной цепочки в спиртах-теломерах значительно уменьшает степень превращения исходного реагента, при этом выход продукта эфира увеличивается, что связано со стерическими затруднениями в ходе реакции этерификации и слабой реакционной способностью спиртов-теломеров [5].

Эфиры полученные на основе ПФС применяются в качестве модификаторов полимеров, для увеличения термо-, свето-, прочностных свойств [5].

ПФС (как модификаторы) выступают в качестве поверхностно-активных веществ в полимерной матрице, что способствует равномерному распределению частиц дисперсной фазы [6].

Увеличение длины перфторалкильной цепочки значительно уменьшает динамические свойства полимеров, а также способствует снижению эластичности, так как более длинная цепочка способна растягивать пространственную сетку полимеров, что увеличивает ее дефектность [6].

Далее будет представлена характеристика 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта, на основе которого были получены непердельные диэфиры.



1,1,9-тригитрогексадекафторноналовый спирт – белое аморфное вещество. Является исходным веществом для синтеза широкой номенклатуры фторорганических продуктов, в том числе: флотационные реагенты для редкоземельных руд, рабочие жидкости для нефтедобывающих погружных насосов, высокотемпературные масла и смазки, инертные теплоносители, высокоэффективные эмульгаторы для процессов полимеризации, пенообразователи для пожаротушения, гидрофобные пропитки для тканей и т.д [7.8].

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства 1,1,9-тригитрогексадекафторноналового спирта [9]

№	Показатели	Значение
1	2	3
1	Содержание основного вещества, масс.% (не менее)	90,0
2	Молекулярный вес, г/моль	432,10
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	-
4	Температура кипения, °С (при 760 мм р.с.)	202
5	Температура плавления, °С	69
6	Растворимость в воде г/900г/Н <sub>2</sub> О	-
7	Растворимость в органике	Растворим в эфире, ацетоне, бензоле и проч.
8	Температура вспышки, °С	112
9	Температура самовоспламенения, °С	359
10	ПДК в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	1
11	ПДК в водоемах, мг/л	0,250

## 1.2 Получение неперелых эфиров поли- и перфторированных спиртов

Полифторированные спирты вступают в реакцию этерификации с образованием сложных эфиров. Существуют несколько способов получения сложных эфиров, которые будут описаны ниже [10-13].

1. Взаимодействие хлорангидрида акриловой или метакриловой кислот с ПФС, в ходе которого образуются соответственно акриловые или метакриловые эфиры. Процесс происходит в присутствии водных растворов неорганических оснований при пониженной температуре. Недостатком данного способа является отвод реакционного тепла, вследствие затрудненных условий теплопередачи. Из-за данных затруднений возникают перегревы реакционной массы, что способствует ускорению протекания побочных реакций и уменьшению выхода целевого продукта [13].

В данном эксперименте водный раствор неорганического основания выступает одновременно в роли растворителя и теплоотводящего агента. Также сам процесс занимает достаточно долгий период времени [13].

2. Следующий метод преследует получение аллиловых эфиров ПФС. И заключается во взаимодействии аллилиодида и аллилбромида с алкоголями калия. В данном методе недостатком является процесс гомогенизирования реакционной массы и удаления иодида (бромида) калия, в ходе чего снижается выход целевого продукта [14-18].

3. Синтез фениловых эфиров ПФС основывается на взаимодействии полифторхлорсульфитов (ПФАХС) с фенолами в присутствии триэтиламина. Катализатором в данном способе выступает N,N-диметилформамид (DMFA).

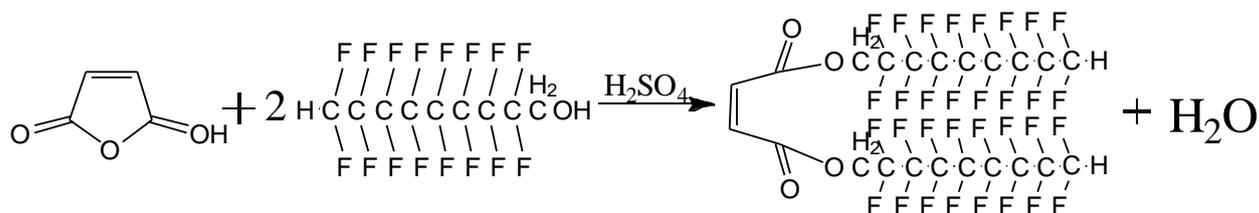


где Ar=Ph, п-CH<sub>3</sub>-Ph, п-Cl-Ph, п-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O-Ph, п-CH<sub>3</sub>C(O)O-Ph; n=2,3.

В роли растворителя в данном методе возможны следующие вещества (тетрахлорметан, хлороформ, гептан). Процесс протекает при пониженной температуре (10 – (-5) °C) [20].

В ходе взаимодействия ПФАХС с фенолами выделяются хлористый водород, диоксид серы и происходит образование полифторалкиловых эфиров [20].

4. Исходя из того, что в литературе нет подходящего нам способа, то был предложен способ взаимодействия малеинового ангидрида со спиртом-теломером n4. В соотношении реагентов 1:3 соответственно. Процесс протекает при температуре кипения спирта (120-170 °C) в присутствии катализатора серной концентрированной кислоты.



Недостатком данного процесса является небольшой выход целевого продукта, в ходе осмоления продукта, а также наличие воды в реакционной массе оказывает негативное влияние на целевой продукт – бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумата.

### 1.3 Реакция Дильса-Альдера

Реакция Дильса-Альдера – реакция [4 + 2]-циклоприсоединения. Она представляет собой согласованный процесс (рисунок 1,2).

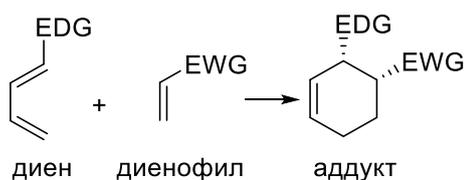


Рисунок 1 – Схема реакции Дильса-Альдера в общем виде: EDG – электронодонорная группа; EWG – электроноакцепторная группа

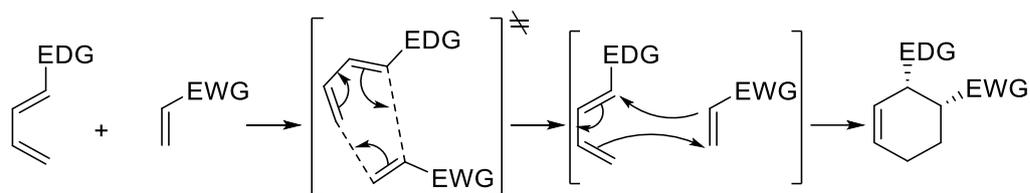


Рисунок 2 – Механизм реакции Дильса-Альдера в общем виде

Рассмотрим реакцию Дильса-Альдера на примере взаимодействия эфира малеиновой кислоты с циклопентадиеном-1,3.

Главным достоинством в выборе циклопентадиена-1,3 в качестве исходного сырья является его доступность. Дициклопентадиен (ДЦПД) – побочный продукт нефтепереработки. При его разложении (температура 150 – 170 °С) образуется циклопентадиен-1,3 (рисунок 3).

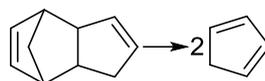


Рисунок 3 – Реакция образования циклопентадиена-1,3

Образовавшийся при разложении дициклопентадиена циклопентадиен-1,3 вступает в реакцию в реакцию с эфиром малеиновой кислоты (рисунок 4).

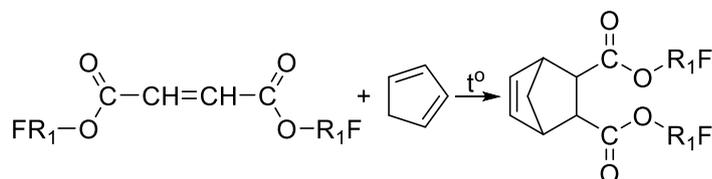


Рисунок 4 – Реакция Дильса-Альдера на примере взаимодействия эфира малеиновой кислоты с циклопентадиеном-1,3

#### 1.4 Синтез производных норборнена

Малеиновый ангидрид имеет высокую реакционную способность, из-за чего может выступать сомономером для чередующихся сополимеров. При этом малеиновый ангидрид плохо гомополимеризуется в следствии недостатка электронов [22].

Циклические олефины, такие как норборнен, не будут эффективно гомополимеризоваться с использованием свободнорадикальных инициаторов; однако циклические олефины образуют чередующиеся сополимеры с малеиновым ангидридом (рисунок 5). Кроме того, МА также служит для повышения полярности фоторезиста, что обеспечивает необходимую адгезию и растворимость, необходимые для получения изображения при сохранении достаточная устойчивость к травлению для успешного использования в качестве резистивных материалов с длиной волны 193 нм [42]. Кроме того, блок циклоалифатического повтора обеспечивает превосходную устойчивость к травлению, превосходя даже используемые в настоящее время резисты на основе фенола. Кроме того, повышенное внимание уделяется стойкости к травлению из-за требований к пленке для все меньших размеров элементов [23].

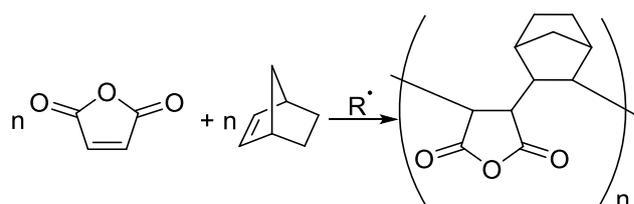


Рисунок 5 – Радикальная чередующаяся сополимеризация малеинового ангидрида и норборнена [23]

Чередующаяся сополимеризация циклических олефинов с малеиновым ангидридом обеспечивает исключительную универсальность композиционного построения новых макромолекул как благодаря присущей им полярности, так и потенциальной реакционной способности ангидридной функциональности.

Легкость реакции Дильса-Альдера циклопентадиена с функциональными олефинами обеспечивает дополнительную универсальность благодаря потенциалу синтеза широкого спектра производных норборнена, пригодных для сополимеризации с малеиновым ангидридом [26]. Дальнейшая химическая модификация ангидридной функциональной группы обеспечивает получение новых композиций, а гидролиз ангидрида приводит к получению

двух карбоновых функциональных групп на единицу повторения ангидрида (рисунок 6) [26].

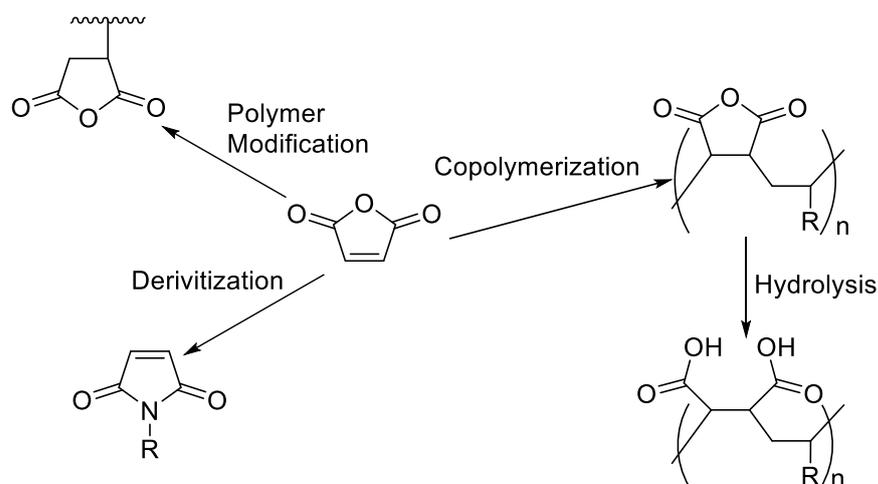
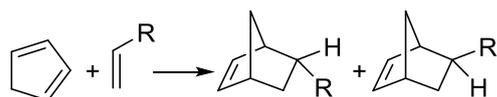


Рисунок 6 – Модификация малеинового ангидрида

Одной из основных типов реакции в синтезе норборненовых производных заняла реакция циклоприсоединения Дильса-Альдера.

Так как малеиновый ангидрид является бедным на электроны веществом (диенофил), то в данном случае цикlopентадиен является донором «недостающих» электронов.

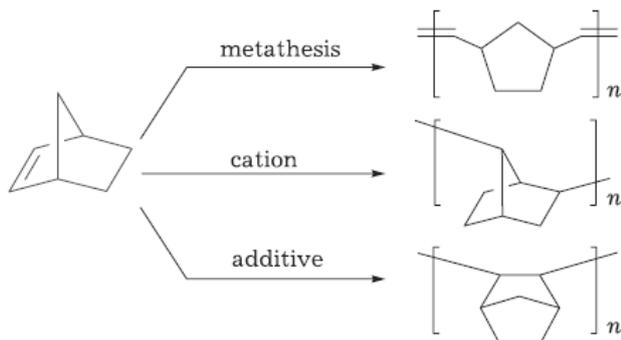
Так как цикlopентадиен является неустойчивым веществом и при комнатной температуре димеризуется, то для проведения сополимеризации с малеиновым ангидридом (диэфирами малеинового ангидрида) используется «свежеобразованный» цикlopентадиен. Данные реакции требуют повышенной температуры для разложения ДЦПД и в некоторых случаях используются ингибиторы свободных радикалов, например, 3,5-ди-трет-бутилфенола [26]. Ниже представлена реакция синтеза производных норборнена.



где  $R = \text{CN}, \text{CO}_2\text{C}(\text{CH}_3)_3, \text{O}(\text{OEt})_2$ .

## 1.5 Метатезисная полимеризация производных норборнена

Как известно механизм полимеризации норборнена (норборненовых производных) может протекать трем маршрутам, но зависит от типа инициатора. В литературе разделяют такие типы: метатезисная (ROMP), аддитивная и катионная полимеризации, соответственно в зависимости от типа полимеризации будет зависеть структура полимера и его свойства.



Суть аддитивной полимеризации заключается в раскрытии двойной связи, что приводит к полимерам, содержащим неизменные циклические структуры в основе норборнанового скелета в основной цепи. Аддитивные полимеры НБ и его производных обладают целым рядом уникальных свойств, так, например, они обладают высокой прозрачностью в ИК, видимой и УФ областях, имеют низкую диэлектрическую постоянную, низкую гигроскопичность, высокую температуру стеклования, превосходную термическую и окислительную стабильность, хорошую химическую стойкость и прочность [18].

Недостатками данного способа является необходимость использования катионных комплексов палладия с фосфорорганическими лигандами в качестве прекурсоров, предварительный синтез таких прекурсоров требует тщательного контроля за содержанием влаги в используемых растворителях, инертной атмосферы [18].

В статье R.A. Rasulova и др. [28] обсуждаются литературные данные по исследованиям в области гомо- и сополимеризации норборнена и его производных. Благодаря специфической структуре норборнена и его

производных обеспечивается основа для синтеза полимеров и сополимеров с различными функциональными возможностями, отличающихся друг от друга структурой и физико-механическими характеристиками конечных продуктов. В зависимости от условий полимеризации полимеры, синтезированные на основе норборнена, характеризуются высокой оптической чистотой, высокой термической и химической стабильностью, механической прочностью. Сопolíмеры норборнена с олефинами и акриловыми мономерами сочетают свойства характерные для норборненов, с такими характеристиками полиолефинов или полиакрилатов, как высокая адгезия, эластичность, гибкость макромолекул, что способствует расширению области их применения. Таким образом, наличие сырьевой базы норборнена и его производных, а также уникальные эксплуатационные характеристики полимеров и сополимеров на их основе для использования в различных отраслях промышленности [28].

Катионная полимеризация в случае норборненовых производных является малоизученной областью, т.к. происходит образование олигомерных продуктов, из-за катионных или радикальных инициаторов, которые используются в данном процессе.

Наиболее актуальной является метатезисная полимеризация. Суть которой заключается в раскрытии цикла, в результате которого образуются ненасыщенные полимеры с чередующимися циклопентениленовыми и виниленовыми группами [28].

Вулканизированные полимеры, полученные данным способом, применяются в качестве, вибро-и звукопоглощающих материалов. Также данные полимеры выступают в роли адсорбентов для сбора разливов нефти на водоемах. [28].

Механизм реакции метатезиса (ROMP) протекает в 3 стадии: инициирования, роста и обрыва цепи. Процесс инициирования предполагает координацию циклоалкенового мономера к металлическому алкилиденному комплексу с образованием промежуточного соединения, металлоциклобутанового комплекса, с последующим разрывом двух двойных

связей и образованием нового алкена. Вновь образованный металлкарбеновый комплекс после координирования с новой молекулой алкена образует металлциклобутан, перераспределяется двойная связь и образуется продукт метатезиса и рутениевый инициатор, который вновь инициирует каталитический цикл [28].

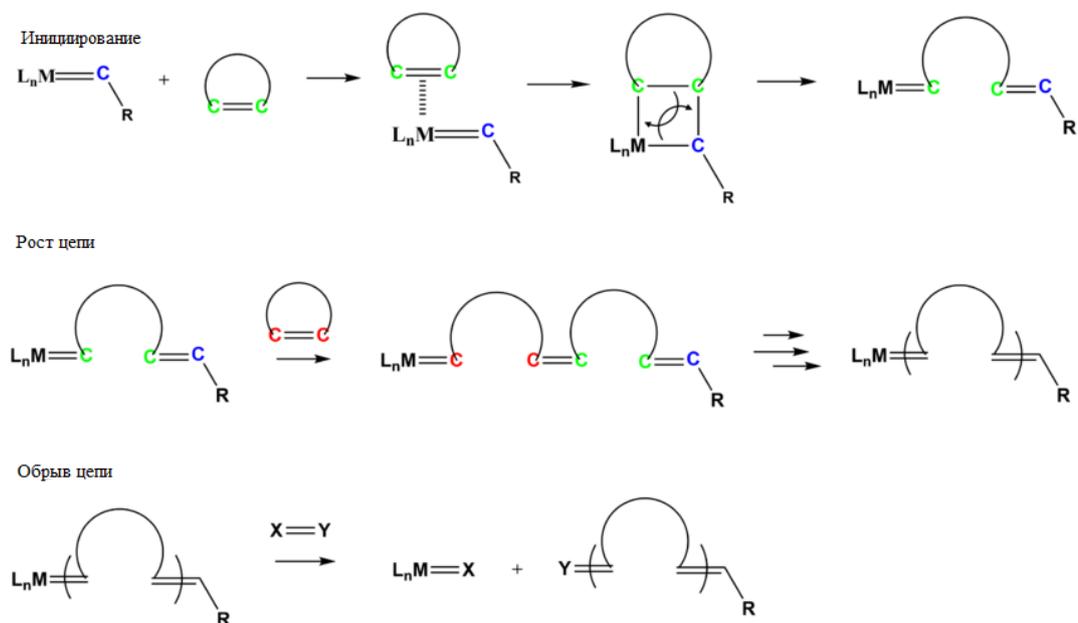


Рисунок 7 – Схема механизма ROMP

Важная роль в процессе ROMP-полимеризации отходит на каталитический комплекс (металл-карбеновый). Одним из востребованных катализаторов является катализаторы Шрока, которые представляют из себя алкоксиимидо молибденовые комплексы [25]. Высокую значимость катализаторы данного типа получили из-за своей высокой реактивности по отношению к широкому спектру подложек и возможности изменения алкоксиимидов в системе, что позволяло регулировать активность катализатора. Недостатками данного катализатора является высокая чувствительность к воздуху, влаге, термическую нестабильность при хранении.

Со временем на смену катализаторам Шрока пришли катализаторы Граббса трёх поколений, что значительно повысило спрос на ROMP-полимеризацию.

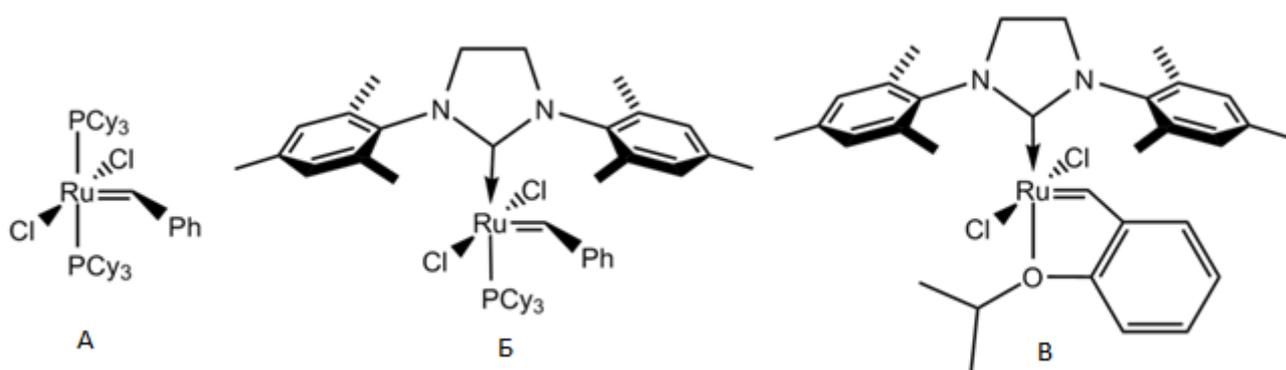


Рисунок 8 – Типы катализаторов Граббса: А – катализатор I-го поколения; Б – катализатор II-го поколения; В – катализатор III-го поколения

Катализаторы Граббса позволяют проводить реакции полимеризации в мягких условиях; их каталитическая активность не снижается под воздействием воздуха, влаги или незначительных примесей в растворителях; а также при хранении катализаторов на воздухе в течение нескольких недель не наблюдается разложения.

Различие катализаторов I и II поколения заключается в характере нейтральных лиганд:  $L_2X_2Ru=CHR$  комплекс (где L-фосфиновый лиганд) и  $(L)(L')X_2Ru=CHR$  комплекс (где L-фосфиновый лиганд и L' насыщенный N-гетероцикло карбеновый лиганд) [27].

Катализаторы первого поколения широко используются в качестве высокоэффективных промоторов для метатезисной полимеризации с раскрытием цикла. Основным недостатком является пониженная активность.

В катализаторе II поколения эти недостатки были учтены катализатора I поколения. Данные катализаторы нашли широкое применение в синтезе химических веществ, фармацевтических препаратах и материалах. Проще говоря, катализаторы второго поколения разработаны для целенаправленного синтеза веществ с оптимальными характеристиками.

## 1.6 Характеристика ПДЦПД

Основные характеристики полидициклопентадиена (ПДЦПД):

- 1) высокая ударная прочность;
- 2) термостойкость
- 3) высокая стойкость к химически агрессивным средам.

Однако есть существенный недостаток при его получении – чистота дициклопентадиена, используемого в качестве мономера, должна составлять более 98 %. Сырьем служат жидкие фракции продуктов пиролиза нефти.

Полидициклопентадиен получают метатезисной полимеризацией. В качестве катализатора используют карбеновые комплексы соединений рутения. Схема реакции представлена на рисунке 9.

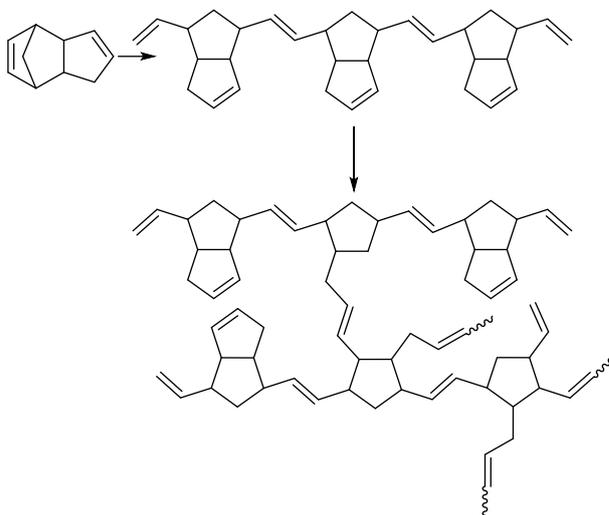


Рисунок 9 – Схема полимеризации дициклопентадиена

На свойства (физико-механические) оказывают:

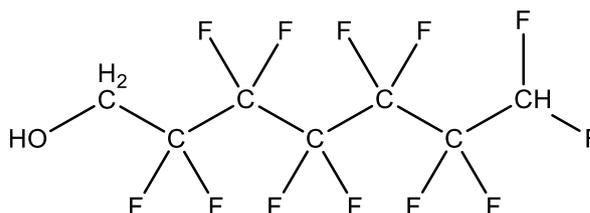
- 1) влияние природы катализатора;
- 2) соотношение компонентов;
- 3) температура процесса.

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Материалы и реактивы

В ходе данной научной работы будут использованы следующие химические вещества, характеристика и описание которых будут представлены далее.

1,1,7-тригитрододекафторгептиловый спирт.



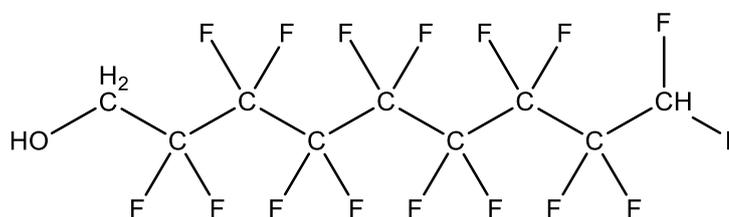
1,1,7-тригитрододекафторгептиловый спирт – прозрачная жидкость с желтоватым оттенком. Является исходным веществом для синтеза широкой номенклатуры фторорганических продуктов, в том числе: флотационные реагенты для редкоземельных руд, рабочие жидкости для нефтедобывающих погружных насосов, высокотемпературные масла и смазки, инертные теплоносители, высокоэффективные эмульгаторы для процессов полимеризации, пенообразователи для пожаротушения, гидрофобные пропитки для тканей и т.д.

Таблица 3 – Основные физико-механические свойства 1,1,7-тригитрододекафторгептилового спирта

№	Показатели	Значение
1	2	3
1	Содержание основного вещества, масс.% (не менее)	95,0
2	Молекулярный вес, г/моль	332,10
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,75
4	Температура кипения, °С (при 760 мм р.с.)	170
5	Температура плавления, °С	-14
6	Растворимость в воде г/900г/Н <sub>2</sub> О	0,07

7	Растворимость в органике	Растворим в эфире, ацетоне, бензоле и проч.
8	Упругость паров при 20 °С, мм р.с.	1
9	Вязкость при 20 °С, СП	51,3
10	Показатель преломления	1,3180
11	Температура вспышки, °С	84
12	Температура самовоспламенения, °С	401
13	ПДК в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	1
14	ПДК в водоемах, мг/л	0,100

## 1,1,9-тригидрогексадекафторноналовый спирт.



1,1,9-тригидрогексадекафторноналовый спирт – белое аморфное вещество. Является исходным веществом для синтеза широкой номенклатуры фторорганических продуктов, в том числе: флотационные реагенты для редкоземельных руд, рабочие жидкости для нефтедобывающих погружных насосов, высокотемпературные масла и смазки, инертные теплоносители, высокоэффективные эмульгаторы для процессов полимеризации, пенообразователи для пожаротушения, гидрофобные пропитки для тканей и т.д.

Таблица 4 – Основные физико-механические свойства 1,1,9-тригидрогексадекафторноналового спирта

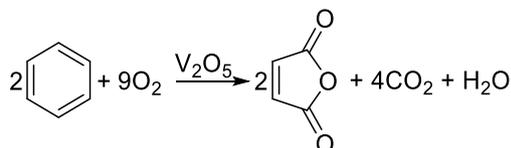
№	Показатели	Значение
1	2	3
1	Содержание основного вещества, масс.% (не менее)	90,0
2	Молекулярный вес, г/моль	432,10
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	-

4	Температура кипения, °С (при 760 мм р.с.)	202
5	Температура плавления, °С	69
6	Растворимость в воде г/900г/Н <sub>2</sub> О	-
7	Растворимость в органике	Растворим в эфире, ацетоне, бензоле и проч.
8	Упругость паров при 20 °С, мм р.с.	-
9	Вязкость при 20 °С, СП	-
10	Показатель преломления	-
11	Температура вспышки, °С	112
12	Температура самовоспламенения, °С	359
13	ПДК в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	1
14	ПДК в водоемах, мг/л	0,250

*Малеиновый ангидрид* – органическое соединение, в чистом состоянии бесцветное или белое твёрдое вещество. Является прекурсором широкого спектра веществ органического синтеза. Молярная масса 98,06 г/моль, плотность 1,48 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 52,8 °С, температура кипения 202 °С.

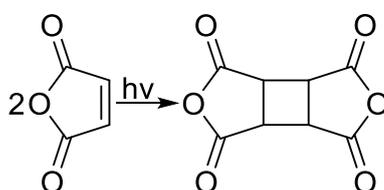


Традиционный способ производства — окисление бензола или других ароматических соединений с применением в качестве катализатора пентоксида ванадия, но теперь из-за экологических соображений и роста цен на бензол малеиновый ангидрид получают каталитическим окислением н-бутана.

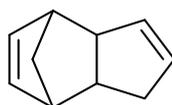


Химические свойства малеинового ангидрида чрезвычайно разнообразны, из-за его высокой реакционной способности и наличия двух функциональных групп:

- при взаимодействии с водой образуется малеиновая кислота (цис –  $\text{HO}_2\text{CCH}=\text{CHCO}_2\text{H}$ ). При взаимодействии со спиртами образуются неполные эфиры (например, цис –  $\text{HO}_2\text{CCH}=\text{CHCO}_2\text{CH}_3$ );
- малеиновый ангидрид – очень активный диенофил в реакциях Дильса-Альдера;
- малеиновый ангидрид реагирует с абиетиновой кислотой и её эфирами;
- малеиновый ангидрид также используется для производства тетрагидрофурана реакций димеризации:



*Дициклопентадиен* – при комнатной температуре это прозрачная жидкость светло-желтого цвета с едким запахом. Дициклопентадиен в больших количествах образуется совместно при паровом крекинге нефти и газойля до этилена. Основное применение - смолы, особенно ненасыщенные полиэфирные смолы. Он также используется в чернилах, клеях и красках.



При температуре выше  $150^\circ\text{C}$  дициклопентадиен подвергается реакции Дильса-Альдера с заметной скоростью с образованием циклопентадиена. Реакция обратима, и при комнатной температуре циклопентадиен димеризуется в течение нескольких часов с повторным образованием дициклопентадиена. Циклопентадиен является полезным диеном в реакциях Дильса-Альдера, а также предшественником металлоценов в металлоорганической химии. Он не продается в качестве мономера из-за быстрого образования дициклопентадиена; следовательно, он должен быть получен "крекингом" дициклопентадиена (нагреванием димера и выделением мономера дистилляцией) незадолго до того, как это потребуется.

Таблица 5 – Основные физические характеристики ДЦПД

Физическое свойство	Показатель
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	32,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,978
$T_{кип}, ^\circ\text{C}$	170
Молярная масса, г/моль	132,2

*Серная кислота* – неорганическое вещество, сильная двухосновная кислота, при обычных условиях – тяжелая маслянистая жидкость без цвета и запаха, сильноокислым «медным» вкусом.

Серная кислота в концентрированном виде при нагревании – довольно сильный окислитель.

В данном синтезе используется в качестве катализатора и водоулавливающего агента.

Таблица 6 – Основные физические характеристики серной кислоты

Физическое свойство	Показатель
Формула	$\text{H}_2\text{SO}_4$
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	0,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8365
$T_{кип}, ^\circ\text{C}$	332,4
Молярная масса, г/моль	98
Содержание по массе, %	98

*Irganox B 225* – белый сыпучий порошок, представляющий собой смесь синергитическую смесь Irganox 1010 и Irgafos 108.

В свою очередь Irganox 1010 (пентаэритрит тетраокси (3-(2,5-ди-третбутил-4-гидроксифенил) пропионат)) – белый сыпучий порошок, относится к классу фенолов. Также Irganox 1010 является пространственно затрудненным антиоксидантом, является эффективным стабилизатором органических субстратов, таких как пластмассы, эластомеры, синтетические волокна, воски, масла и жиры. Главная роль данного вещества – защита субстратов от

термоокислительной деструкции. Структурная формула представлена на рисунке 10.

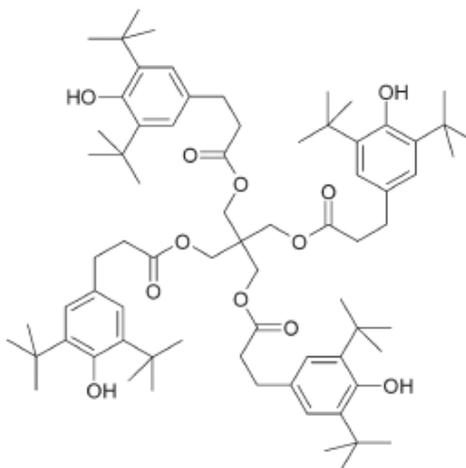


Рисунок 10 – Структурная формула Irganox 1010

Данный антиоксидант имеет следующие характеристики, представленные в таблице 7.

Таблица 7 – Основные физические характеристики Irganox 1010

Физическое свойство	Показатель
$T_{пл}, ^\circ C$	110
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,15
$T_{всп}, ^\circ C$	297
Молярная масса, г/моль	1178

Irgafos 168 (три(2,4-ди-*t*-бутилфенил) фосфит) – относится к классу органофосфитных антиоксидантов, который в свою очередь проявляет гидролитическую стабильность. Задачей данного антиоксиданта является снижение индуцированную перекисью окислительную деградацию полимерных соединений в процессе производства.

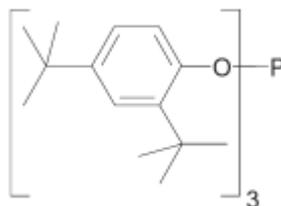


Рисунок 11 – Структурная формула Irgafos 168

За счет низкой летучести возможно применение при достаточно высоких температурах, которые необходимы для производства большинства термопластичных полимеров. Применяется в производстве поликарбонатов, АБС пластиков, полиолефинов, полиэфиров.

Таблица 8 – Основные физические характеристики Irgafos 168

Физическое свойство	Показатель
Внешний вид	белое кристаллическое вещество
T <sub>пл</sub> , °C	182
Молярная масса, г/моль	645

*Катализатор Шрока-Граббса II-го поколения.*

В качестве катализатора Ховейды-Граббса процесса сополимеризации использован карбеновый комплекс 1–(1,3-бис-(2,4,6-триметилфенил)-2-имидазолидинилиден) дихлоро(орто-N,N-диметиламинометилфенилметил) рутения (рисунок 12) [47]. Катализатор представляет собой зеленый порошок. Основные характеристики катализатора приведены в таблице 8.

Таблица 9 – Основные физические характеристики катализатора Шрока-Граббса II поколения

Физическое свойство	Показатель
Химическая формула	C <sub>31</sub> H <sub>38</sub> C <sub>12</sub> N <sub>2</sub> ORu
T <sub>пл</sub> , °C	216-220
Молярная масса, г/моль	626,62

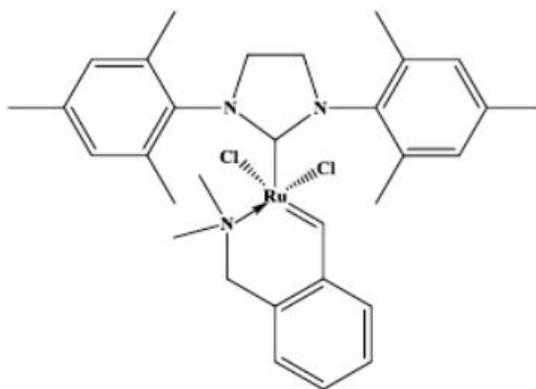


Рисунок 12 – Структурная формула катализатора Шрока-Граббса II поколения

*Натрий металлический* – представляет собой мягкий щелочной металл серебристого цвета. На воздухе легко окисляется до оксида натрия, в чистом виде является огнеопасным, при контакте с водой может произойти взрыв вследствие экзотермической реакции. Хранение натрия происходит в герметичной металлической таре под слоем керосина. Работа с данным веществом допускается только в средствах индивидуальной защиты.

Таблица 10 – Основные физические характеристики натрия

Физическое свойство	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,971
T <sub>пл</sub> , °C	98
Молярная масса, г/моль	23

Толуол (метилбензол) – бесцветная летучая жидкость с характерным запахом. Выступает в качестве растворителя катализатора, хорошо смешивается с углеводородами, спиртами, простыми и сложными эфирами, имеет плохую растворимость в воде. Обладает слабым наркотическим действием, в следствие проникновения в организм и поражения центральной нервной системы.

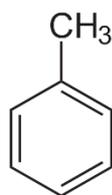


Рисунок 13 – Структурная формула толуола

Таблица 11 – Основные физические характеристики толуола

Физическое свойство	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,867
T <sub>кип</sub> , °C	110,6
Молярная масса, г/моль	92

*Нефрас 80/120* – представляет собой легкокипящую фракцию деароматизованного бензина, относится к группе бензинов-растворителей. Прозрачная бесцветная, иногда желтоватая, легколетучая жидкость с характерным сладковатым запахом.

Таблица 12 – Основные физические характеристики нефраса 80/120

Физическое свойство	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,730
T <sub>кип</sub> , °C	пределы от 80 до 120
T <sub>всп</sub> , °C	- 17

*Четыреххлористый углерод (тетрахлорметан)* – бесцветная тяжелая жидкость, по запаху напоминающая хлороформ. Является ядовитым, негорючим веществом. Смешивается с большинством органических растворителей, но нерастворим в воде.

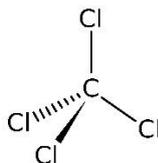


Рисунок 14 – Структурная формула четыреххлористого углерода

Таблица 13 – Основные физические характеристики четыреххлористого углерода

Физическое свойство	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,5954
T <sub>кип</sub> , °C	76,75
Молярная масса, г/моль	154

*Метиловый спирт* – простейший одноатомный спирт. Бесцветная ядовитая жидкость, первый представитель гомологического ряда одноатомных спиртов

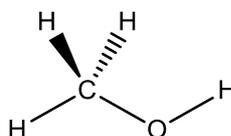
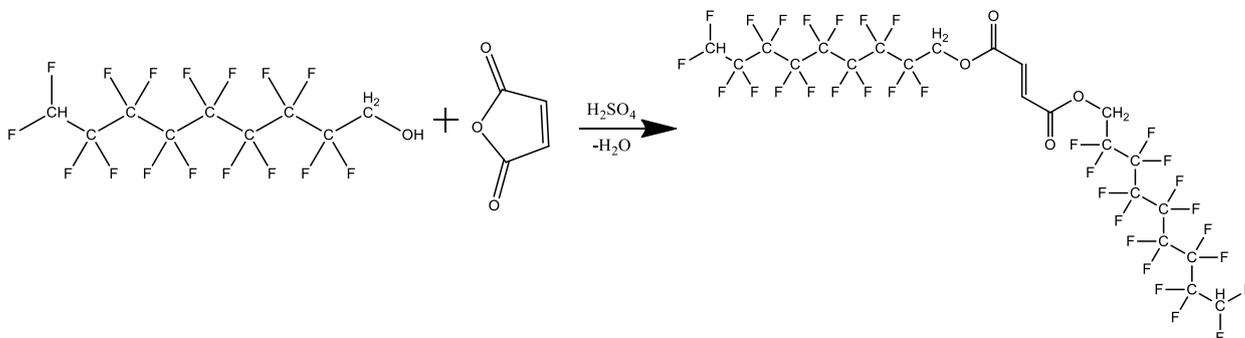


Таблица 14 – Основные физические характеристики серной кислоты

Физическое свойство	Показатель
T <sub>пл</sub> , °C	-97
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,7918
T <sub>кип</sub> , °C	64,7
Молярная масса, г/моль	32,04

## 2.2 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумарата



В круглодонную колбу объемом 250 мл снабженную ловушкой Дина-Старка и обратным холодильником, загружают 201,6 г 1,1,9-тригитрогексадекафторноналовый спирт, 15,25 г малеинового ангидрида, 10,84

г серной кислоты (98%). Синтез проводят в течение 5 часов при температуре кипения спирта (~120 °С) в колбонагревателе. Затем производят замену цеолита в ловушке Дина-Старка повышают температуру до 170°С и продолжают синтез в течение 10 часов.

### **2.3 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумарата из реакционной массы**

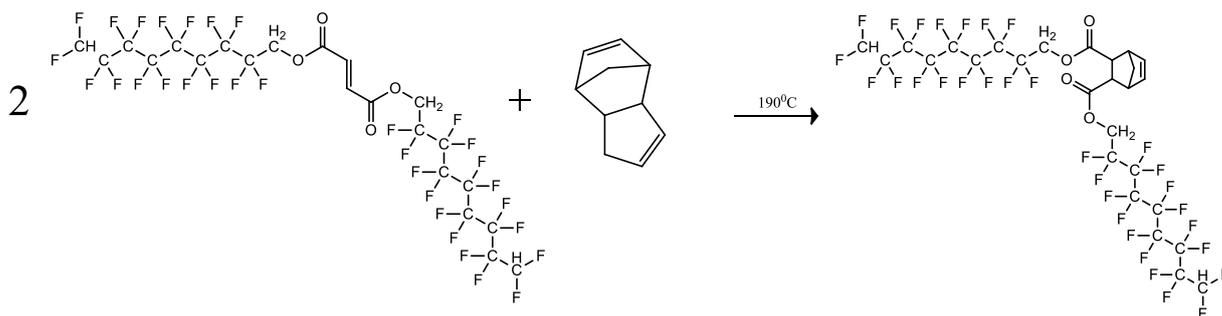
Полученную массу загружают в стакан и наливают нефрас (80/120) в объеме примерно равном объему массы продукта, при постоянном перемешивании доводят до кипения, ждут 1-2 минуты и сливают растворитель в другой стакан. По мере охлаждения наблюдается образование кристаллов.

Данную операцию проводят до того момента, пока в стакане черная масса не станет близкой к твердому состоянию. Охлажденный раствор отправляют на отгонку растворителя.

Далее полученную массу сушат измельчают и загружают в стакан и наливают кипящий метанол в объеме примерно равном объему массы продукта, при постоянном перемешивании, ставят на плиту и доводят до кипения, ждут 1-2 минуты. Затем охлаждают до комнатной температуры и отфильтровывают кристаллы. Экстракцию необходимо проводить 2 раза для достижения чистоты продукта в 100%.

Охлажденный раствор отправляют на разделение исходный спирт и растворитель.

## 2.4 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата



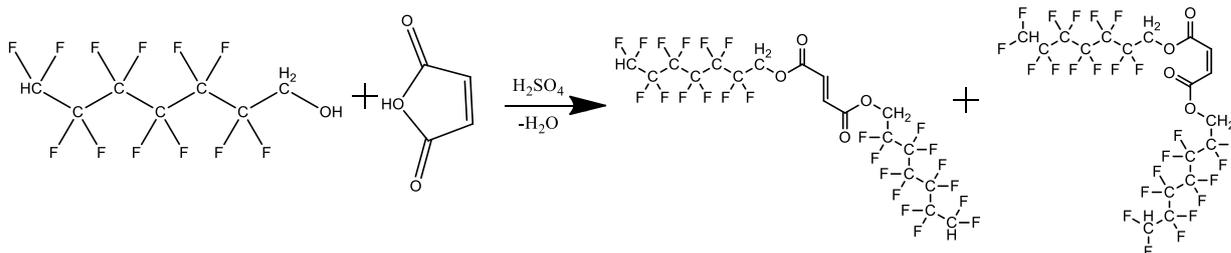
Синтез бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилат проводят в запаянной ампуле в масляной бане при температуре 190 °С, в мольных соотношениях М1Сп4:ДЦПД – 2:1, с 10% избытком ДЦПД, синтез проводят в течение 25 часов.

## 2.5 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата

Полученную массу загружают в стакан и наливают нефрас (80/120) в объеме примерно равном объему массы продукта, при постоянном перемешивании доводят до кипения, ждут 1-2 минуты и сливают растворитель в другой стакан. По мере охлаждения очищенный продукт начинает кристаллизоваться.

Данную операцию проводят до того момента, пока в стакане темная масса не станет близкой к смолистому состоянию. Охлажденный раствор отправляют на отгонку растворителя.

## 2.6 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата с бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) малеатом



В круглодонную колбу объемом 250 мл снабженную ловушкой Дина-Старка и обратным холодильником, загружают 225,8 г 1,1,7-тригитрододекафторгептиловый спирт, 20 г малеинового ангидрида, 12,3 г серной кислоты (98%). Синтез проводят в течение 5 часов при температуре кипения спирта (~120 °С) в колбонагревателе. Затем производят замену цеолита в ловушке Дина-Старка повышают температуру до 150-160°С и продолжают синтез в течение 10 часов.

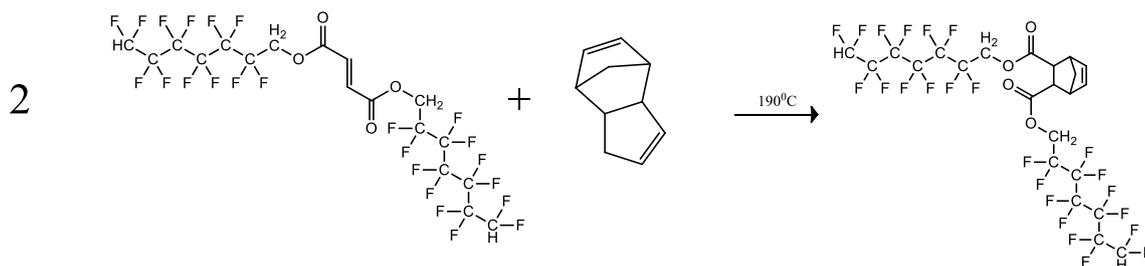
## 2.7 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата с бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) малеатом из реакционной массы

Полученную массу загружают в стакан и приливают нефрас (80/120) в объеме примерно равном объему массы продукта, при постоянном перемешивании доводят до кипения, ждут 1-2 минуты и сливают растворитель в другой стакан. После остывание происходит выпадение жидкой желтоватой массы из объёма нефраса, разделяют на делительной воронке. Растворитель отправляется на отгонку.

Собираем перегонную установку и отгоняем не прореагировавший исходный фторированный спирт при температуре 170°С.

Разделение на малеат и фумарат, полученного продукта производилась путём экстракции метанолом 1:1 и охлаждения массы до 0°С, происходит выпадение бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата, который отфильтровывается на воронке Бюхнера.

## 2.8 Методика получения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоксилата



Синтез бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) фумарата проводят в запаянной ампуле в масляной бане при температуре 190 °С, в мольных соотношениях М1СпЗ(Ф) :ДЦПД – 2:1, с 10% избытком ДЦПД, синтез проводят в течение 25 часов.

## 2.9 Методика выделения бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептил) бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоксилата из реакционной массы

Полученную массу загружают в стакан и наливают нефрас (80/120) в объеме примерно равном объему массы продукта, при постоянном перемешивании доводят до кипения, ждут 1-2 минуты и сливают растворитель в другой стакан. Спустя 2-3 дня полученный мономер начинает кристаллизоваться.

Данную операцию проводят до того момента, пока в стакане темная масса не станет близкой к смолоподобному состоянию. Охлажденный раствор отправляют на отгонку растворителя.

## 2.10 Методика очистки дициклопентадиена

Для процесса очистки специально собрана установка (рисунок 11), состоящая из плитки с электромагнитным перемешиванием, на которую устанавливается масляная баня, снабженная термометром. В масляную баню помещалась двухгорлая колба с магнитной мешалкой. В колбу загружаем ДЦПД и металлический натрий в количестве 0,1 % от взятого ДЦПД. Кипячение ДЦПД с натрием проводится в инертной среде азота в течение 4

часов. Функция этой операции заключается в том, что натрий взаимодействует с оксидами и пероксидами, образовавшимися при транспортировке и хранении ДЦПД, с образованием смолистого осадка, оседающего на дно и пека. Процесс протекает при температуре 115-125 °С. Получается смолообразная масса, которой дают остыть.

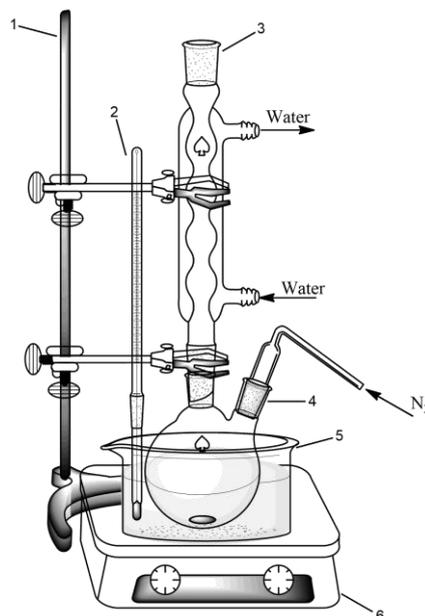


Рисунок 15 – Установка для кипячения ДЦПД с металлическим натрием: 1 – штатив; 2 – термометр; 3 – обратный холодильник; 4 – двугорлая колба; 5 – масляная баня; 6 – плитка с магнитной мешалкой;

На второй стадии при помощи вакуумного насоса создавалось разряжение 45-50 мбар и постепенно поднимали температуру в бане с 70 до 100 °С.

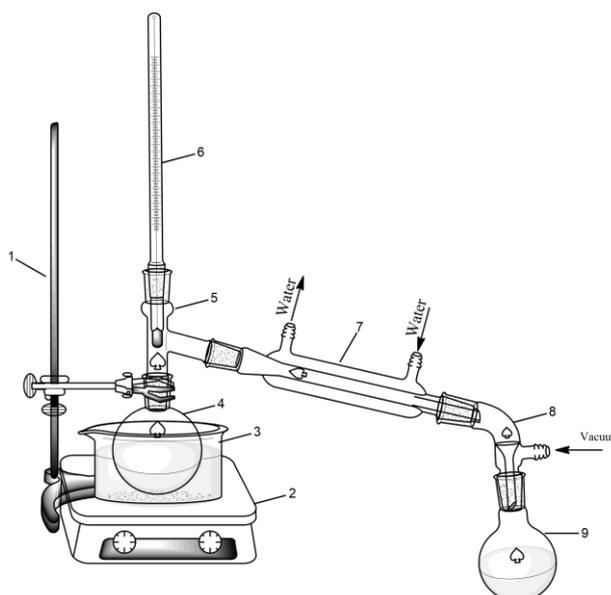


Рисунок 16 – Установка для перегонки: 1 – штатив; 2 – плитка; 3 – масляная баня; 4 – колба; 5,8 – переходник; 6 – термометр; 7 – прямой холодильник; 9 – колба-приемник;

При 85-94 °С отгоняется фракция, которая содержит некоторое количество примесей, следовательно, в работе мы ее использовать не можем. Она составляет примерно десятую часть от полученного мономера. При температуре 95-100 °С собирается основная фракция. После завершения процесса в кубовом остатке остается примерно 10-20 % от массы изначально загруженного вещества.

После перегонки ДЦПД оставляют на 14 суток для димеризации образовавшегося при нагреве ЦПД.

## **2.11 Методика проведения метатезисной гомополимеризации бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата и подбор режима проведения процесса**

Гомополимеризация бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата проводили в герметично закрывающемся стеклянном сосуде на 10 мл. Для определения необходимых условий полимеризации было с подготовлено 2 образца.

Таблица 15 Загрузки для получения гомополимера.

Вещество	% масс	Загрузка №1, г
М2Сп4	100	2,5
Ирганокс В 225	0,4	0,0100
Катализатор Ховейда-Греббса (II поколения)	0,02	0,0005

Для подготовки к гомополимеризации 2,5 г М2Сп4 смешивают с стабилизатором Ирганокс В 225 0,01 г (0,4 % масс.). Затем проводится перемешивание до гомогенной массы при температуре 80<sup>0</sup>С. Далее проводится подготовка катализатора Ховейда-Греббса (II поколения) – катализатор массой 0,0005 г (0,02% масс) необходимо растворить в 0,5 мл толуола. В полученную смесь мономера и стабилизатора добавляют раствор катализатора. Затем полученная смесь герметично закрывают и помещают в сушильный шкаф заранее прогретый до 80<sup>0</sup>С.

Режимы проведения полимеризации:

Образец №1. 80<sup>0</sup>С – 30 минут, 120<sup>0</sup>С – 5 минут, 180<sup>0</sup>С – 80минут.

Образец №2. 80<sup>0</sup>С – 30 минут, 120<sup>0</sup>С – 90 минут.

## **2.12 Методика пересадения гомополимера бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-Диен-2,3-дикарбоксилата**

Полимер растворяют в этилацетате или ацетоне в соотношении 1 к 50, отфильтровывают на фильтре Шотта, для избавления от механических включений, затем упаривают растворитель в 2-3 раза, и осаждают его в четырёххлористом углероде интенсивно перемешивая стеклянной палочкой, после высушивают полимер от растворителя под вакуумом.

### **2.13 Методика проведения сополимеризации дициклопентадиена и бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)цикло [2.2.1]гепта-2,5-диен-2,3-дикарбоксилата**

Сополимеризацию ДЦПД и сомономера проводят в металлической прямоугольной форме. Для подготовки смеси к сополимеризации ДЦПД смешивают с стабилизатором Ирганокс В 225 (0,4 % масс.) и сомономера (М2Сп4) (2,5; 5; 7,5; 10 % от загрузки ДЦПД). Затем проводится перемешивание до гомогенной массы при температуре 80 °С. Далее проводится подготовка катализатора Шрока-Граббса (II поколения) – катализатор массой 0,075 г (0,04% масс) (от мономерной массы) необходимо растворить в минимальном количестве толуола. В полученную смесь мономеров и стабилизатора добавляют раствор катализатора. Затем полученная смесь заливается в заранее разогретую форму до 80 °С. Плотнo закрывается и закручивается на болты. Форму помещают в сушильный шкаф на 30 минут при температуре 80 °С, затем поднимают температуру до 120 °С и выдерживают в течение 1,5-х часов, после температуру поднимают до 170 °С и дополнительно выдерживают в течение 2-х часов.

Далее форму остужают до приемлемой температуры и вынимают полученную полимерную пластину.

### **2.14 Методика проведения экстракции полученного сополимера**

Экстракцию проводят для определения соединения - сополимер или смесь гомополимеров.

Полимер измельчают, взвешивают и помещают в аппарат Сокслета. В колбу наливают необходимое количество для экстракции растворителя. Собирают установку (рисунок 15). Процесс ведут 5-6 дней.

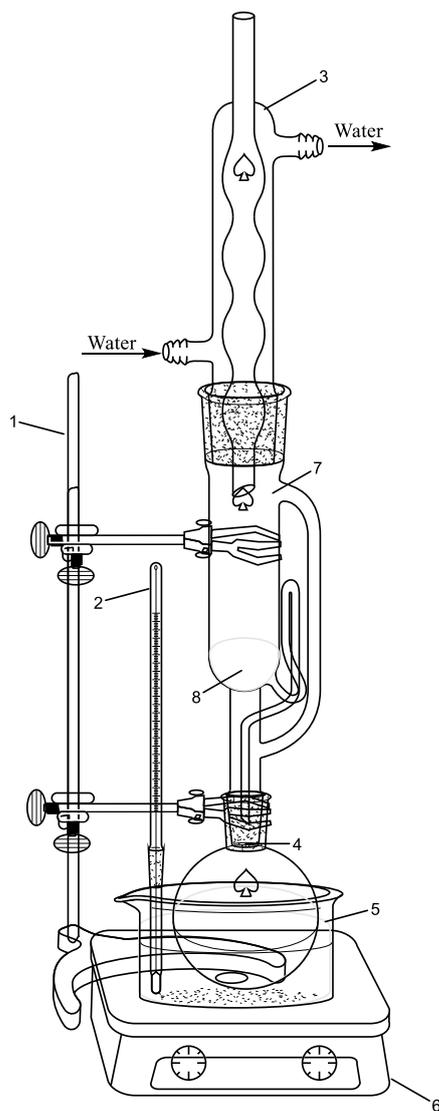


Рисунок 15 – установка для проведения экстракции

1 – штатив, 2 – термометр, 3 – обратный холодильник, 4 – колба, 5 – масляная баня, 6 – плитка с магнитной мешалкой, 7 – аппарат Сокслета, 8 – измельчённый

После завершения сливают растворитель и отгоняют его на перегонной установке. Всё что осталось в перегонной колбе после отгона растворителя отправляют на анализ. Полимер помещают в керамическую чашку

## **2.15 Методика проведения исследования набухания сополимеров**

Набухание проводят в следующих растворителях: ксилол, этилацетат, бензин АИ-92. Для этого проводят подготовку образцов. Из пластины вырезались кубики одинакового размера, объем которых был предварительно замерен, все стороны были зачищены. После оставляли образцы в растворителях и производили замер объема через определенные промежутки времени.

## **2.16 Экспериментальные методы исследования образцов**

### **2.16.1 Методика проведения газовой хроматографии масс-спектрометрии**

Анализируемое вещество исследуют на газовом хроматографе с масс-селективным детектором «МАЭСТРО ГХ-МС Agilent 7820/MSD5975» с капиллярной колонкой Agilent HP-5msUI (кварцевый капилляр в оплетке из полиимида, намотанный на стальную рамку, внутренняя поверхность покрыта сорбирующим пористым слоем). Подготовка образца протекает следующим образом – 0,005 г анализируемого вещества растворяют в 10 мл этилацетата.

### **2.16.2 Методика проведения ИК-спектроскопии**

ИК-спектр анализируемых веществ регистрировался с помощью ИК-Фурье спектрометре СИМЕКС ФТ-801, спектральный диапазон 500–4000 см<sup>-1</sup> с приставкой однократного полного внутреннего отражения с алмазным кристаллом Diamond ART.

### **2.16.3 Методика проведения ЯМР <sup>1</sup>H-спектроскопии**

Структуру анализируемых веществ исследуют методом ЯМР <sup>1</sup>H - спектроскопии на спектрометре «AVANSE III HD» фирмы «Bruker» с рабочей частотой 400 МГц. В качестве внутреннего стандарта используют ГМДС. Для проведения ЯМР спектроскопии 15 мг анализируемого вещества растворяют в 500 мкл CDCl<sub>3</sub>.

### **2.16.4 Физико-механические испытания**

#### **2.16.4.1 Методика испытания образца на растяжение**

Испытания на растяжение позволяет определить сопротивление материала пластическим деформациям. В процессе растяжения можно узнать и пластичность материала. Сущность метода заключается в том, что образец для испытания растягивают вдоль его главной продольной оси с постоянной скоростью, в процессе растяжения измеряют нагрузку, выдерживаемую образцом, и удлинение образца и определяют заданные показатели. Растяжение продолжается, пока не наступит разрушение образца. При этом фиксируется усилие в момент разрушения. Далее рассчитываются значения прочности, отвечающие пределу текучести и разрушению. Модуль упругости и удлинение при разрыве находят из диаграммы зависимости напряжения от деформации [60].

Для проведения испытания на растяжение рекомендуется использовать образец с формой согласно рисунку 16.

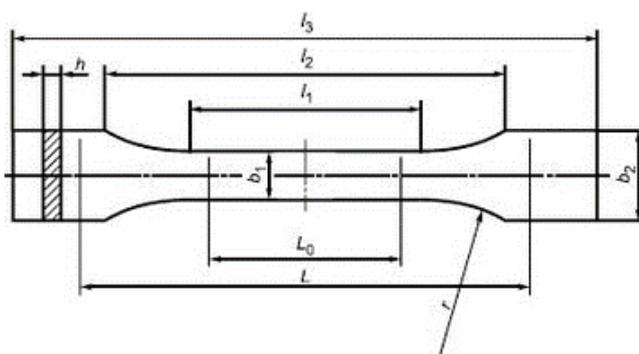


Рисунок 16 – Форма образца для испытания на растяжение  
Характеристические размеры образцов представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Размеры образцов для испытания на растяжение

Размер		Образец типа
		1, 2, 3
$l_3$	Длина узкой части с параллельными сторонами ( <i>рабочая часть</i> ), мм	114,5
$l_1$	Радиус закругления, °	39,5
$r$	Расстояние между широкими частями с параллельными сторонами, мм	25
$l_2$	Ширина головки, мм	71,3
$b_2$	Ширина узкой ( <i>рабочей</i> ) части, мм	24,6
$b_1$	Рекомендуемая толщина, мм	5,7
$h$	Рекомендуемая расчетная длина	5,3
$L_0$	Расчетная длина, используемая при контроле качества или указанная в нормативном или техническом документе на материал, мм	35
	Первоначальное расстояние между зажимами, мм	50,0±0,5
$L$	Длина узкой части с параллельными сторонами ( <i>рабочая часть</i> ), мм	80

Испытание образца проводилось на приборе «Машина универсальная разрывная GOTECH AI-7000M» представленном на рисунке 17.



Рисунок 17 – Машина универсальная разрывная GOTECH AI-7000M

#### **2.16.4.2 Методика проведения испытания на изгиб**

Прочность на изгиб является мерой определения жесткости материала и значения сопротивления при изгибе. Образец занимает место в середине пролета, тем самым создается трех направленное нагружение, при этом силы действуют в одном направлении. Для вычисления модуля упругости при изгибе строится кривая зависимости прогиба от нагрузки. Значения напряжений и модуля упругости при изгибе измеряются в МПа [61].

Сущность метода заключается в том, что образец прямоугольной формы, лежащий на опорах, подвергается изгибу с постоянной скоростью в середине между опорами до его разрушения или до достижения образцом заданной величины относительной деформации или прогиба. Во время испытания измеряют нагрузку, прилагаемую к образцу, и соответствующие значения прогиба посередине между опорами.

Две опоры и центральный нагружающий наконечник располагают, как показано на рисунке 18.

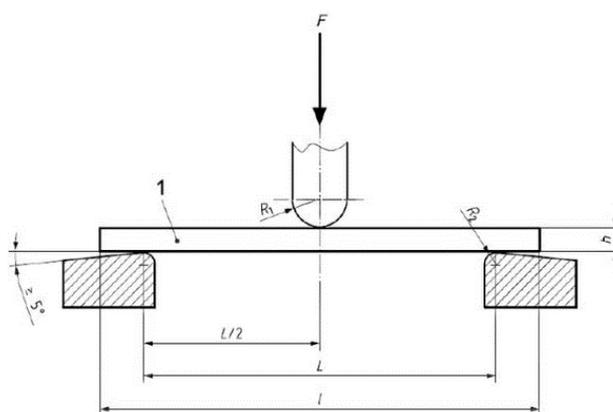


Рисунок 18 – Положение образца при испытании на изгиб: 1 – образец для испытания;  $F$  – прилагаемая нагрузка;  $R_1$  – радиус нагружающего наконечника;  $R_2$  – радиус опор;  $h$  – толщина образца;  $l$  – длина образца;  $L$  – расстояние между опорами

Размер образцов для проведения испытания на изгиб представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Геометрические параметры рекомендуемого типа образцов

Показатель	Образцы 1 и 2	Образцы 3 и 4
Длина (L)	79,2	79,5
Ширина (b)	5,4	5,6
Толщина (h)	14,5	14,7

Образцы не должны быть изогнуты, все поверхности образцов должны быть взаимно перпендикулярны и параллельны. Поверхности и кромки образцов не должны иметь вмятин, царапин, усадочных раковин, заусенцев и других видимых дефектов. Образцы следует проверять на соответствие указанным требованиям путем визуального осмотра с помощью столярного угольника или плоской плиты и измерения микрометром.

Для проведения испытания на изгиб применяют универсальные испытательные машины, позволяющие проводить тесты на образцах с разной скоростью нагрузки и приложенной силой [62].

Испытания проводились на приборе «Машина универсальная разрывная GOTECH AI-7000M» представленном на рисунке 18.

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

Исследования проводили в химической лаборатории на базе Томского политехнического университета в отделении химической инженерии. Целью исследования является получение новых химических соединений (мономеров) и их дальнейшая полимеризация, а также изучение химических и механических свойств полученного полимера. Объектом исследования выступает спирт-теломер 1,1,9-тригитрогексадекафторноналовый спирт, бис(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9-гексадекафторнонил)фумарат, малеиновый ангидрид, дициклопентадиен, серная кислота.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка эффективности исследования.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

#### **3.1 Предпроектный анализ**

##### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

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

В данном проекте сегментами рынка являются:

- Заводы, производящие мономеры и/или полимерные материалы, такие как ООО «Томскнефтехим»;
- Высшие образовательные учреждения;
- Научно-исследовательские организации;
- Граждане.

### **3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

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

В данной работе анализируются методы получения исходного мономера (эфиров полифторированного спирта) и способы его дальнейшей полимеризации.

В таблице 18 приведена оценка конкурентов, где  $B_{\phi}$  – разрабатываемый проект,  $B_{k1}$  – исследование, проведенное инженером-химиком в научно-исследовательском институте,  $B_{k2}$  – исследование, проведенное организацией, которая занимается производством мономеров, полимерных материалов.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Энергоэкономичность	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40
2. Надежность	0,10	4	4	4	0,40	0,40	0,40
3. Потребность в ресурсах памяти	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
4. Функциональная мощность (представляемые возможности)	0,20	3	3	4	0,60	0,60	0,80
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	5	0,75	0,60	0,75
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	5	4	5	0,50	0,40	0,50
2. Цена	0,2	4	5	3	0,80	1,00	0,60
3. Послепродажное обслуживание	0,05	5	4	4	0,25	0,20	0,20
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>4,3</b>	<b>3,9</b>	<b>3,95</b>

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

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на данных таблицы 27 можем сказать, что преимуществами разрабатываемого проекта является его энергоэкономичность, потребность в ресурсах памяти, послепродажное обслуживание. Однако уязвимость проекта связана функциональной мощностью и ценой. Однако эти недостатки данного проекта можно в дальнейшем минимизировать за счет расширения функционала математической модели и понижения цены за счет смены технологии производства на более экономичную.

### 3.1.3 SWOT – анализ

SWOT- представляет собой комплексный анализ, его применяют для исследования внешней и внутренней среды научно-исследовательского проекта. Данный анализ состоит из трех этапов.

**Первый этап** заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (Таблица 19).

Таблица 19 – Матрица SWOT

<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1: Отсутствие подобного продукта на внутреннем и внешнем рынке</p> <p>С2: Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С3: Квалифицированный персонал</p> <p>С4: Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1: Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2: Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл3: Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых, используемых при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1: Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ</p> <p>В2: Внедрение продукта на Российские заводы по производству полимеров, с последующим увеличением спроса на продукт</p> <p>В3: Использование инновационной структуры ТПУ</p> <p>В4: Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p><b>Угрозы:</b></p> <p>Уз1: Развитие конкуренции</p> <p>Уз2: Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>Уз3: Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (Таблица 20). Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Возможности	В1	-	+	+	+
	В2	+	0	-	+
	В3	-	+	+	-
	В4	+	-	-	-
		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Угрозы	Уз1	+	+	+	+
	Уз2	-	-	-	-
	Уз3	-	-	-	-
		Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3	
Возможности	В1	+	+	-	
	В2	+	-	-	
	В3	+	-	-	
	В4	+	-	-	
		Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3	
Угрозы	Уз1	0	-	-	
	Уз2	-	+	+	
	Уз3	-	-	-	

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 21).

Таблица 21 – SWOT-анализ

	<p align="center"><b>Сильные стороны</b></p> <p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1: Отсутствие подобного продукта на внутреннем и внешнем рынке</p> <p>С2: Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С3: Квалифицированный персонал</p> <p>С4: Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p>	<p align="center"><b>Слабые стороны</b></p> <p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1: Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2: Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл3: Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1: Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ</p> <p>В2: Внедрение продукта на Российские заводы по производству полимеров, с последующим увеличением спроса на продукт</p> <p>В3: Использование инновационной структуры ТПУ</p> <p>В4: Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>1. Повышение рентабельности производства;</p> <p>2. Продвижение продукта на зарубежные рынки;</p> <p>3. Повышение дополнительного спроса на продукт за счет универсальных свойств этого продукта;</p>	<p>1. Создание программы продвижения проекта;</p> <p>2. Участие в федеральных грантах;</p> <p>3. Использование потенциала ТПУ в совершенствовании методики получения продукта;</p> <p>4. Разработка научного исследования.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>Уз1: Развитие конкуренции</p> <p>Уз2: Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>Уз3: Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>1. Создание конкурентоспособного проекта;</p> <p>2. Внедрение продукта на крупномасштабные предприятия.</p>	<p>1. Из-за недостатка финансирования возможны проблемы с проведением новых исследований.</p> <p>2. Задержка поставок оборудования, материалов способствует увеличению сроков разработок.</p>

### 3.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	51	53

По результатам данной оценки можем сделать вывод, что перспективность проекта выше среднего, как и знания разработчика. Для повышения коммерческой перспективности проекта и привлечения больших объемов инвестирования необходимо улучшать уровень компетенций разработчика, а также лучше прорабатывать аспекты, связанные с выходом продукта на зарубежный рынок и разработкой бизнес-план.

### 3.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Предприятия занимающиеся производством мономеров и/или полимеров	Получение мономера и полимера с улучшенными характеристиками

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

Таблица 24 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Разработать методику получения новых веществ, провести физико-химические методы анализа.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Полученное вещество должно соответствовать предполагаемой структуре, а также иметь ожидаемые физические и химические свойства.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Выполнение спектра анализов и обработка результатов анализов полученного вещества

<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Провести цикл лабораторных синтезов по получению целевого продукта (мономера/полимера);
	Провести спектр анализов полученного продукта;
	Провести обработку результатов анализов;
	Исходя из аналитических результатов провести улучшение методики получения продукта.

2. Организационная структура проекта. Данные представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час.</b>
1.	Бондалетов В.Г., НИ ТПУ, профессор ОХИ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Жарков А.А., магистрант ОХИ ИШПР	Исполнитель проекта	Анализ литературных источников, проведение синтеза в лаборатории, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
<b>ИТОГО:</b>				2200

3. Ограничения и допущения проекта. Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (Таблица 26).

Таблица 26 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/допущения</b>
3.2 Сроки проекта	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1 Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2 Дата завершения проекта	16.06.2022

### 3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

#### 3.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 19 приведена иерархическая схема для данного проекта.

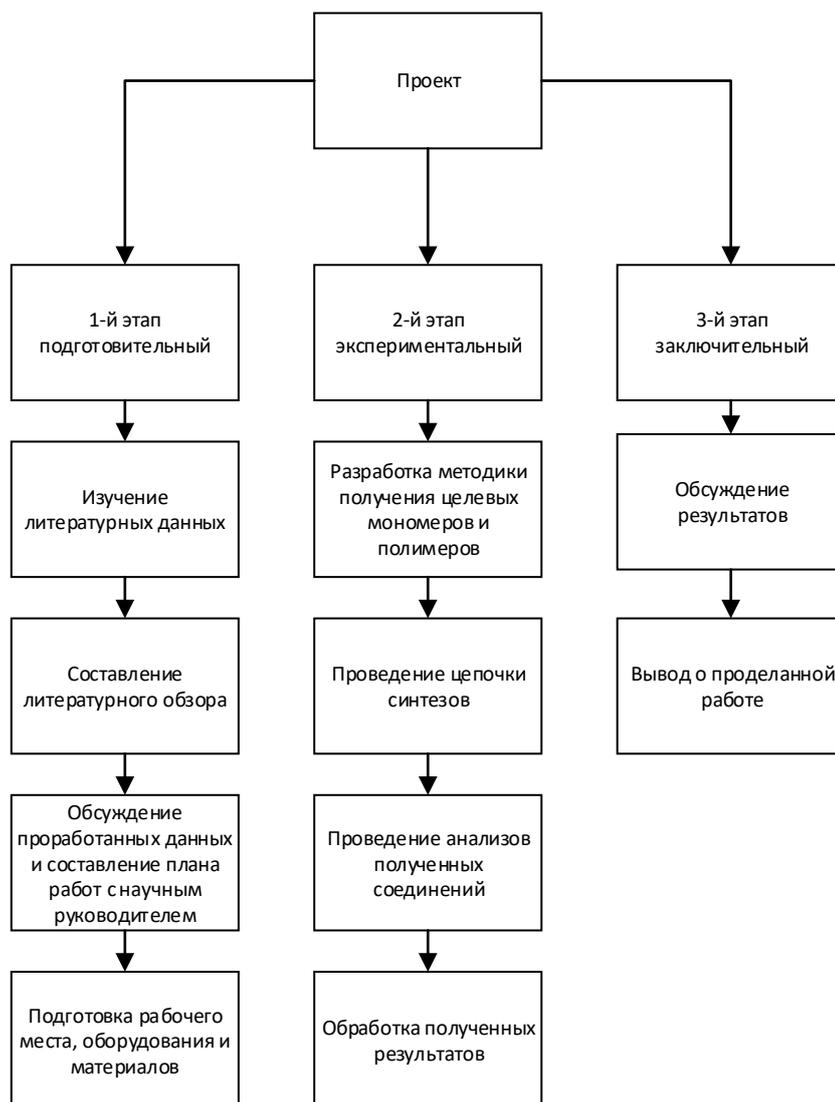


Рисунок 19 – Иерархическая структура работ

#### 3.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта (таблица 27).

Таблица 27 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	02.09.20	09.09.20	Бондалетов В.Г., Жарков А.А.
Согласование плана работ	7	10.09.20	17.09.20	Бондалетов В.Г., Жарков А.А.
Литературный обзор	135	18.09.20	31.01.21	Жарков А.А.
Проведение лабораторных синтезов по получению мономеров и полимеров	361	01.02.21	31.01.22	Жарков А.А.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	27	01.02.22	28.02.22	Бондалетов В.Г. Жарков А.А.
Написание отчета	90	01.03.22	31.05.22	Жарков А.А.
<b>Итого:</b>	<b>627</b>			

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

График приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																			
			2020				2021												2022			
			Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1	Утверждение темы магистерской диссертации	7	▨																			
2	Согласование плана работ	7	▨																			
3	Литературный обзор	135		■	■	■	■															
4	Проведение лабораторных синтезов по получению мономеров и полимеров	361					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
5	Обработка полученных данных и обсуждение результатов	27																	▨			
6	Написание отчета	90																			■	■



### 3.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В статью «Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)» включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 29).

Таблица 29 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь 96 л.	2шт	90	180
Ручка шариковая	4шт	20	80
Маркер перманентный	2шт	80	160
Электроэнергия	800 кВт·ч	3,5	2800
ДЦПД	2 кг	800	1600
Спирт-теломерп <sub>4</sub>	3 л	1000	3000
Нефрас (80/120)	5 л	760	3800
Четыреххлористый углерод	1 л	400	400
Серная кислота 98 %	1 л	450	450
Колба круглодонная 500 мл	2 шт	690	1380
Стакан химический 300 мл	4 шт	130	520
Стакан химический 100 мл	4 шт	1490	5960
Натрий металлический	1 кг	900	900
Всего за материалы			21230
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			850
<b>Итого по статье С<sub>м</sub></b>			<b>22080</b>

В статью «Специальное оборудование для научных работ» включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Результаты расчетов приведены в таблице 39.

Таблица 30 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Колбонагреватель LOIP LH-250	1	26000	26000
2.	Сушильный шкаф ШС 80 01 СПУ	1	27500	27500
3.	Магнитная мешалка или плитка ИКАИКАМАGRCTBasic	1	58000	58000
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				17325
<b>Итого:</b>				<b>128825</b>

В статью «**Основная заработная плата исполнителей темы**» включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 43.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 6).

$Z_{\text{дн}}$  - 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.

В таблице 31 представлен годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Таблица 31 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	99	99
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

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

где  $Z_{\text{тс}}$  – базовый оклад, руб.;

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

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

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

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной окд (ППС) профессора-доктора наук в 2021 году без учета РК составил 47317 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 32.

Таблица 32 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , руб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	Профессор	47317	1	0,02	1,3	62742	3315	209	692835
Магистрант	-	2500	-	-	1,3	3250	174	209	36400
<b>Итого <math>Z_{осн}</math>:</b>									<b>729235</b>

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,10 – 0,15).

Результаты занесены в таблицу 33.

Таблица 33 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.
Руководитель	0,10	692835	69283
Магистрант		36400	3640
<b>Итого:</b>			<b>72923</b>

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$	$C_{\text{внеб}}$
Руководитель	0,3	692835	69283	228635
		Итого:		228635

На статью расходов «Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями» в данном проекте относится анализ полученных продуктов в ходе цепочки синтезов методом ЯМР-спектроскопии, выполняемые ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, г. Томск. Расчет затрат на подрядные работы представлен в таблице 35.

Таблица 35 – Расчет затрат на подрядные работы

Метод анализа	Количество проб	Стоимость, руб.	Итого, руб.
ЯМР-спектроскопия	20	500	10000

На эту статью расходов также в данном проекте относится использование сети Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 8400 руб.

Итого на оплату работ выходит 18400 руб.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Их величина определяется по следующей формуле:

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

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы принят 0,8.

$$C_{\text{накл}} = (729235 + 72923) \cdot 0,8 = 641726 \text{ руб.}$$

### 3.4.8 Затраты научно-исследовательской работы

Таким образом, затраты проекта составляют 1771836 руб.

Результаты приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Затраты по статьям

Вид работ	Статьи									
	Сырье и материалы	Спец. оборудование	Основная заработная плата	Доп. заработная плата	Отчисления на соц. нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итоговая плановая себестоимость
Данное исследование	22080	128825	729235	72935	228635	-	18400	-	641726	<b>1771836</b>
Аналог	25000	150000	850000	85000	241000		25000		748000	2124000

### 3.5 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная. Дано исследование соответствует проектной организационной структуре (рисунке 70).



Рисунок 20 – Вид проектной структуры проекта

### 3.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Плана управления коммуникациями для данного проекта приведен в таблице 37.

Таблица 37 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
3.	Документы и информацию по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

### 3.7 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу приведена в таблице 38.

Таблица 38 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешние и внутренние анализы	Неисправность прибора
2	Погрешность расчетов	2	5	Низкий	Проверка, пересчет	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикации результатов	Отсутствие результатов исследования

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

#### 3.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

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

- чистая текущая стоимость (NPV);

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

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

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

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

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

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

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

$n$  – горизонт расчета;

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 48. При расчете рентабельность проекта составляла 50 %,

Таблица 39 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	2729602,5	2729603	2729603	2729603
2	Итого приток, руб.		2729602,5	2729603	2729603	2729603
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1771836	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	1703792,5	1703793	1703793	1703793
5	Налогооблагаемая прибыль	0	1025810	1025810	1025810	1025810
6	Налоги 20 %, руб.	0	205162	205162	205162	205162
7	Чистая прибыль, руб.	0	820648	820648	820648	820648
8	Чистый денежный поток (ЧПД), руб.	-1771836	833531	833531	833531	833531
9	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,909	0,826	0,751	0,683
10	Чистый денежный поток (ЧПД), руб.	-1771836	757755	688868,2	626243,8	569312,5
11	$\sum$ ЧДД		2642179,5			
12	Итого NPV, руб.		870343,5			

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

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 10 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 822444,5 рубля, что позволяет судить об его эффективности.

**Индекс доходности (PI)** – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

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

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2642179,5}{1771836} = 1,49$$

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

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

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 40 и на рисунке 72.

Таблица 40 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1771836	833531	833531	833531	833531	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1771836	757679,2	688496,2	625981,4	569301,3	869622,1
	0,2	-1771836	694330,9	578470,2	481780,6	401761,7	384507,4
	0,3	-1771836	640985	493450,1	379256,4	291735,7	33591,2
	0,4	-1771836	595140,8	425100,6	303405,1	216717,9	-231471,6
	0,5	-1771836	555964,8	370087,5	245891,5	165039	-434853,2
	0,6	-1771836	520956,6	325076,9	203381,4	127530,2	-594890,6
	0,7	-1771836	490115,9	279232,7	169206,7	93355,42	-739925,28
	0,8	-1771836	463443	257560,9	142533,7	79185,4	-829113
	0,9	-1771836	438437	230887,9	121695,5	64181,85	-916633,8
	1,0	-1771836	416765,3	208382,6	104191,3	51678,89	-990817,9

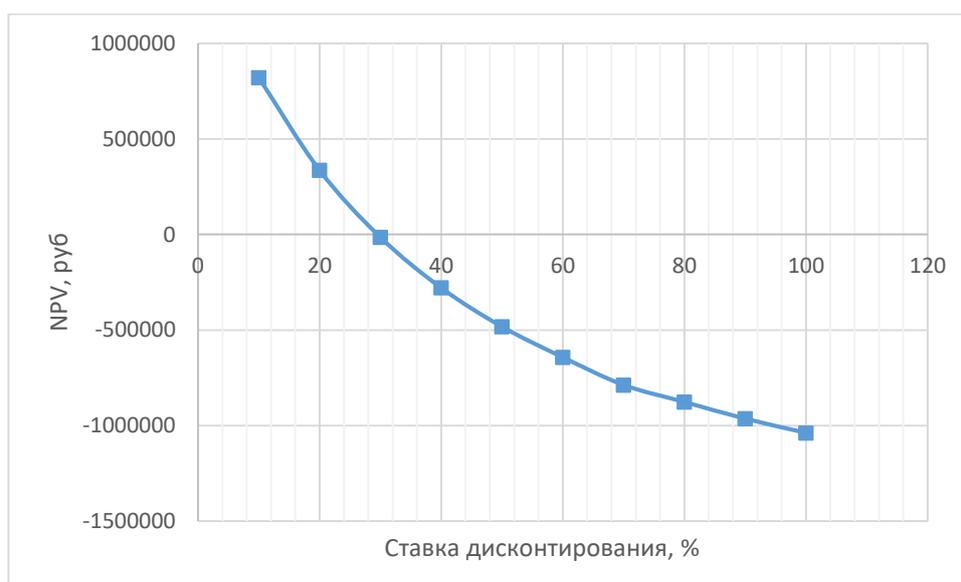


Рисунок 21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,35.

Запас экономической прочности проекта:  $35 - 20 = 15 \%$

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

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

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 42).

Таблица 42 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,10$ ), руб.	-1771836	757755	688868,2	626243,8	569312,5
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1771836	-1061980	-373111,8	253132	822444,5
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 2 + \left( \frac{373111,8}{626243,8} \right) = 2,6 \text{ года}$				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в

смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 43).

Таблица 43 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Недостаток полимеров на нефтехимическом рынке с улучшенными экологическими и экономическими характеристиками	Расширение базы за счет синтеза данного полимера, отвечающего экологическим и экономическим требованиям потребителей
Нехватка данных о веществах, участвующих в процессе синтеза полимера	Получены обширные данные о веществах, участвующих в процессе синтеза нового полимера с помощью лабораторного исследования

### 3.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 44.

Таблица 44 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Данный проект	Аналог
1. Выход продукта	0,3	5	5
2. Улучшенные характеристики продукта	0,15	5	4
3. Безопасность	0,15	4	4
4. Цена	0,2	5	3
5. Простота методики получения полимера	0,2	4	4
Итого	1	23	20

$$I_{p\text{-дан. проект}} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,6;$$

$$I_{p\text{-аналог}} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 4,15;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{исп.}i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}1} = \frac{I_{p\text{-исп1}}}{I_{\text{финр}}}, \quad I_{\text{исп.}2} = \frac{I_{p\text{-исп2}}}{I_{\text{финр}}}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. таблицу 53) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}}$$

Таблица 45 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Данный проект	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,834	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	5,37	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,29	

Выводы: В ходе данной работы была проведена оценка коммерческой ценности разработки. Основными потребителями являются заводы нефтехимического сегмента, такие как ООО «Томскнефтехим».

В ходе SWOT-анализа были выявлены слабые места проекта, а также возможные угрозы, связанные с его реализацией. Для них были найдены решения на основе сильных сторон и возможностей для научно-исследовательского проекта. Основными задачами являются: разработка и оптимизация методики получения полимера, а также внедрение продукта на внутренний и внешний рынки.

В процессе формирования бюджета НТИ были рассчитаны основные затраты. Необходимый бюджет для реализации научно-технического исследования составил 1771836 руб. Также определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 822444,5руб.; индекс доходности  $PI = 1,49$ , внутренняя ставка доходности  $IRR = 35 \%$ , срок окупаемости  $PP_{дск} = 2,6$  года.

Заключительным этапом было определение эффективности проекта. Полученный в ходе вариант решения является оптимальным как с финансовой стороны, так и с позиции ресурсной эффективности.

## Список публикаций

1 Жарков А.А., Низко- и высокотемпературный способы получения цис-5-норборнен-эндо-2.3-дикарбонового ангидрида / А.А. Жарков // Химия и химическая технология в XXI веке: Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. В 2 томах. Том 2 ( г.Томск, 17-20 мая 2021 г.) / Томский политехнический университет. – Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2021 – С.247-248.

2 Жарков А.А., Получение сополимера дициклопентадиена с норборненовым производным эфира 1,1,9-тригидрогексадекафторнонанового спирта и исследование физико-механических свойств / А.А. Жарков // Химия и химическая технология в XXI веке: Материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера. В 2 томах. Том 2 ( г.Томск, 16-19 мая 2022 г.) / Томский политехнический университет. – Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2022 – С.261-262.

### Список использованных источников

1. Кролевец А. А., в сб.: Итоги науки и техники, сер. Органическая химия, т. 6, М., 1985, с. 26-37
2. Промышленные фторорганические продукты. Справочник, Л., 1990, с. 381-392;
3. Kirk-Othmer encyclopedia, 3 ed., v. 10, N. Y., 1980, p. 871-74.
4. А.И. Рахимов, А.В. Налесная, О.В. Вострикова, Н.А. Сторожакова, Ассоциация полифторированных спиртов с амидами карбоновых кислот., Известия ВолГТУ., Волгоград. 2004. №2. С. 39-41.
5. Н.А. Рахимова, С.В. Кудашев. Реакция полифторированных спиртов-теломеров – отходов производства 1,1,3-тригидроперфторпроанола-1 с фталевым ангидридом для получения новых модификаторов полимеров. Экология. риск. Безопасность.: Изд. КГУ. Курган. 2010. С. 109.
6. И.А. Новаков, Н.А. Рахимова, А.В. Нистратов, С.В. Кудашев, С.Ю. Гугина. Влияние полифторированных спиртов и слоистых наполнителей на структуру и свойства полидиенуретанов на основе олигомерных композиций. Химическая промышленность сегодня. – 2012. – №3. – С. 31-33.
7. А.И. Рахимов. Синтез 1-полифторалкокси-производных адамантана. А.И. Рахимов, О.В. Вострикова. Журнал общей химии. – 2011. – Т. 81. - №2. – С. 274-276.
8. Jian-Bo Liu, Xiu-Hua Xu, and Feng-Ling Qing, Silver-Mediated Oxidative Trifluoromethylation of Alcohols to Alkyl Trifluoromethyl Ethers // Org. Lett. 2015 17 205048-5051.
9. В.М. Мохов, О.В. Вострикова, Б.П. Гладких, Г.М. Бутов. Синтез 1-адамантиловых эфиров реакцией перфторированных спиртов с 1,3-дегидроадамантаном. Известия ВолГТУ. – 2019. – С. 77-80.

10. Пат. 308005 СССР, МПК С 07с 53/34, УДК 547.293.26.07 (088.8). Способ получения сложных эфиров  $\beta$ -(полифторалкокси)пропионовых кислот и полифторированных спиртов. А.В. Кашкин, Ю.Л. Бахмутов, Н.Н. Марченко. Заявлено 16.07.1969 (№ 1349819/23-4). опубл.01.07.1971. Бюллетень №21. опубл. описания 08.09.1971.

11. Пат. 419513 СССР, М. Кл. С 07с 69/62, С 07с 69/54, УДК 547.391.3.07 (088.8). Способ получения акриловых или метакриловых эфиров полифторированных спиртов. Э.П. Крылова, А.В. Кашкин, Н.Е. Петрова, Г.Д. Острер, А.П. Харченко. Заявлено 26.05.1972 (1788840/23-4). Опубликовано 15.03.1974. Бюллетень №10. опубл. описания 22.08.1974.

12. Пат. 424855 СССР, М. Кл. С 07с 43/28, УДК 547.27.07 (088.8). Способ получения моно- или диполифторалкиловых эфиров гликолей. А.И. Крылов, Л.Ш. Вахламова, Б.Н. Селищев, А.П. Харченко, Т.М. Петрова. Заявлено 18.04.1972 (1775139/23-4) с присоед. заявки №1790062/23-4. опубл. 25.04.1974 Бюллетень №15. опубл. описания 11.11.1974.

13. Пат. 513968 СССР, М. Кл. С 07С 69/62, УДК 547.391.1.26.07:547.391.3.26.07 (088.8). Способ получения акриловых или метакриловых эфиров полифторированных спиртов. Б.М. Трахтенберг, А.В. Кашкин, З.И. Мазалова, М.И. Ляпунов, Д.Д. Даудрих. Заявлено 11.06.1974 (2032073/04). Опубл. 15.05.1976. Бюллетень №18. Опубл. опис. 02.07.1976.

14. А.П. Краснов, Н.А. Сторожакова, В.Б. Баженова, О.В. Афоничева, А.В. Наумкин и др. Влияние химического строения полифторированных спиртов на трибологические свойства поли- $\epsilon$ -капроамида. Трение и износ. – 2008. №1. С. 51–57.

15. М.Ю. Квасников, М.Р. Киселёв, И.Д. Климова, Г.М. Цейтлин. Пластификация эпоксидно-диановых покрытий полифторированными спиртами-теломерами. Химическая промышленность сегодня. – 2005. – №12. С. 23–27.

16. Е. Зауэр. Механизм реакции Дильса-Альдера. Успехи химии. – 1969 г. – Вып. 4. – С. 624–661.

17. Пат. 2150459 Российская Федерация. МПК C07C31/38. Способ получения полифторированных спиртов. Заявитель и патентообладатель: ОАО «Галоген». Заявка 25.05.1999. Оpubл. 10.06.2000.

18. Пат. 2626745 Российская Федерация. МПК C08F32/08, C08F4/26. Способ аддитивной полимеризации норборнена и его производных. Патентообладатель: ФГБОУ ВПО «ИГУ» RU. Авторы: Д.М. Суслов, М.В. Быков, О.В. Кравченко, М.В. Пахомова, В.С. Ткач. Заявка 20.07.2015. Оpubл. 31.07.2017.

19. А.И. Рахимов, А.В. Мирошниченко, До Зыонг Фыонг Тхао. Синтез аллиловых эфиров полифторированных спиртов. Известия ВолгГТУ. –2015. –Вып. №4. С. 47– 49.

20. А.В. Мирошниченко, А.И. Рахимов, Во Тхи Нгок Куен. Синтез фениловых эфиров полифторированных спиртов. Известия ВолгГТУ. –2015. –Вып. №4. С. 51– 54.

21. Н.А. Рахимова, С.В. Кудашев. Особенности реакции полиизоцианата с полифторированными спиртами. Известия ВолгГТУ. – 2011. –Вып. №2. С. 133–140.

22. А.И. Рахимов, Е.В. Шурубцова, Н.А. Сторожакова. Синтез аллиловых эфиров полифторированных спиртов. Журнал общей химии. – 2007. – Вып. №2. – С. 345–346.

23. Дж.Х. Саундерс, К.К. Фриш. Химия полиуретанов. – М.: Химия, 1968. – 470 с.

24. Б.Н. Максимов и др. Промышленные фторорганические продукты. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.

25. Аксенов И. И. Получение полимеров на основе диэфиров норборненовых кислот / И. И. Аксенов, А. Г. Зайкова; науч. рук. А. А. Мананкова // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л. П. Кулёва студентов и молодых ученых, 20–23 мая 2019 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — С. 584-585.

26. Зайкова А. Г. Синтез ангидрида бицикло[2.2.1]гепт-2-ен-эндо,эндо-5,6-дикарбоновой кислоты / А. Г. Зайкова ; науч. рук. А. А. Мананкова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 8-12 апреля 2019 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — Т. 2. — С. 278-279.

27. Зайкова А. Г. Синтез диперфторгептилового эфира эндиковой кислоты по реакции Дильса-Альдера / А. Г. Зайкова, А. А. Мананкова; науч. рук. В. Г. Бондалетов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Стромберга, 21–24 сентября 2020 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2020. — С. 570-571.

28. R.A. Rasulova, M.D. Ibragimova, V.S. Kadyrly, E.G. Makhmudova, M.K. Mamedov, K.M. Mamedova, F.S. Kerimova. Homo- and copolymerization of norbornene and its derivatives. *Chemistry for Sustainable Development* 27, 2019, p. 473-480.

29. M.V. Bermeshev, B.A. Bulgakov, A.M. Genaev, J.V. Kostina, G.N. Bondarenko, E.Sh. Finkelshtein, *Macromolecules*, 2014, Vol. 47, № 16, P. 5470-5483.

30. C. Janiak, P.G. Lassahn, *Macromol. Rapid Commun.*, 2001, Vol. 22, No. 7, P. 479–493.

31. K.L. Makovetskii, *Polym. Sci. (C)*, 2008, Vol. 50, No. 7, P. 1322–1343

32. J.P. Kennedy, H.S.J. Makowski, *Macromol. Sci. Chem.*, 1967 (A1), P. 345–370.

33. N.G. Gaylord, B.M. Mandal, M. Martan, *J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.*, 1976, Vol. 14, No. 9, P. 555–559.

34. N.G. Gaylord, A.B. Deshpande, B.M. Mandal, M. Martan, J. Macromol. Sci. Chem., 1977 (A11), No. 5, P. 1053–1070.
35. R. Ma, Zh. Song, Y. Houb, J. Feng, B. Xing, F. Bao, Appl. Organomet. Chem., 2008, Vol. 22, No. 6, P. 346–351.
36. A.D. Hennis, A. Sen, Am. Chem. Soc. Polym. Prepr., 2000, Vol. 41, No. 5, P. 1383.
37. A.D. Hennis, D.C. Hilt, S. Kacker, A. Sen, Am. Chem. Soc. Polym. Prepr., 1998, Vol. 39, No. 2, P. 412–416.
38. US Pat. No. 7087687, 2006.
39. He X., Deng Y., Han Z., Yang Y., Chen D., J. Polym. Sci., 2016, Vol. 54, No. 21, P. 3495–3505.
40. К.Л. Маковецкий. Каталитическая аддитивная полимеризация норборнена и его производных и сополимеризация норборнена с олефинами., Высокомолекулярные соединения. Серия С., 2008 г., Том 50, № 7, С. 1322-1343.
41. Пат. 2150459 Российская Федерация. МПК С07С31/31. Способ получения полифторированных спиртов. Патентообладатель: ООО «Галоген». Авторы: Уклонский И.П., Денисенков В.Ф., Ильин А.Н., Иванова Л.М., Бахмутов Ю.Л., Минеев С.Н. Заявка 25.05.1999. Оpubл. 10.06.2000.
42. J. Pasquale, Ann R. Fornof, Timothy E. Long. Synthesis of norbornene derivatives by Diels-Alder cycloaddition and subsequent copolymerization with maleic anhydride. Macromol. Chem. and Phys. 2004, 205, P. 621-627.
43. D. Huertas, M. Florscher, V. Dragojlivic. Solvent-free Diels-Alder Reactions of in situ generated cyclopentadiene. Green Chem. 2009. № 11. P. 91-95.
44. Robert H. Grubbs Sukbok Chang Recent Advances in Olefin Metathesis and Its Application in Organic Synthesis // Tetrahedron. – 1998. – Vol. 54. – P. 4413-4450.

45. Schorodi Y., Pederson R.L. Evolution and applications of second-generation ruthenium olefin metathesis catalysts // *Aldrichimica Acta*. – 2007. – Vol. 40, №2. – P. 45-52.

46. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 5 апреля 2021 года) Кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Кодекс».

47. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) ПНД Ф 12.13.1-03 от 4 сентября 2003 г. Доступ из справ.-правовой системы «Кодекс».