

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 \_\_\_\_\_  
 ООП/ОПОП \_\_\_\_\_ Химическая технология высокомолекулярных соединений \_\_\_\_\_  
 Отделение школы \_\_\_\_\_ Отделение химической инженерии \_\_\_\_\_

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Изучение способов переработки ароматических полиэфирсульфонов

УДК 678.073:547.544.3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Сыдык Жасулан		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Троян Анна Алексеевна	К.Х.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП/должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гавриленко Михаил Алексеевич	д.х.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем
ПК(У)-2	Способен проводить поиск, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по теме исследования, выбирать методики и средства решения задачи
ПК(У)-3	Способен осуществлять технологическое и методическое сопровождение в области синтеза и переработки полимерных материалов
ПК(У)-4	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 18.04.01. Химическая технология  
 ООП/ОПОП Химическая технология высокомолекулярных соединений  
 Отделение школы Отделение химической инженерии

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

Обучающийся

Группа	ФИО
2ДМ11	Сыдык Жасулан

Тема работы

Изучение способов переработки ароматических полиэфирсульфонов
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.10.2021- 10.02.2021	Работа с научно-технической и нормативной литературой, проведение патентного поиска по теме.	20
10.02.2021- 01.02.2023	Анализ свойств и характеристик ароматических полиэфирсульфонов. Выявление требования к оборудованию по переработке.	45
01.02.2023- 01.03.2023	Расчёт и проектирование установки для переработки полиэфирсульфонов.	15
22.05.2023	Написание разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность»	20
01.06.2023	Сдача готовой работы	
06.06.2023	Размещение в ЭБС	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Троян Анна Алексеевна	К.Х.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:****Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гавриленко Михаил Алексеевич	д.х.н., доцент		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Сыдык Жасулан		



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  
ООП/ОПОП Химическая технология высокомолекулярных соединений  
Отделение школы Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП  
Гавриленко М. А.  
(Ф.И.О.)

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы магистранта

Обучающийся

Группа	ФИО
2ДМ11	Сыдык Жасулан

Тема работы:

Изучение способов переработки ароматических полиэфирсульфонов	
Утверждена приказом директора (номер, дата)	№ 32-59/с от 01.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01 июня 2023 г.
--	-----------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Объект исследования: высокотемпературные полимеры – ароматические полиэфирсульфоны.</li> <li>2. Целевой продукт: проект установки для переработки ароматических полиэфирсульфонов.</li> </ol>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный и патентный обзор по тематике исследования.</li> <li>2. Расчёты и аналитика.</li> <li>3. Результаты исследования и их обсуждение.</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>5. Социальная ответственность.</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b>	Презентация (14 слайдов)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына З.В.
Социальная ответственность	Сечин А.А.
Раздел на иностранном языке	Сыскина А.А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
На русском языке: введение, литературный обзор, экспериментальная часть, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение	
На английском языке: Research on methods of processing aromatic polyethersulfones.	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.10.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Троян Анна Алексеевна	к.х.н.		01.10.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Сыдык Жасулан		01.10.2021

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ11	Сыдык Жасулан

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение химической инженерии</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Размер оклада руководителя проекта 39 300 руб; Размера оклада инженера 26 100 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Число календарных дней в году – 365; Продолжительность выполнения проекта – 21 месяц; Дополнительная заработная плата – 12 % от основной.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды во внебюджетные фонды – 30,0 %.

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и его сегментирование. Построение оценочной карты для сравнения конкурентных разработок. Выбор предпочтительного метода коммерциализации
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование комплекса работ на создание проекта, построение графика выполнения работ
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет бюджета научного проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Карта сегментирования рынка</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>3. Причинно-следственная диаграмма Исикавы</li> <li>4. Оценка степени готовности проекта к коммерциализации</li> <li>5. Цели и результаты проекта</li> <li>6. Иерархическая структура работ проекта</li> <li>7. Календарный план-график проведения НИОКР по теме</li> <li>8. Бюджет научного проекта</li> <li>9. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</li> </ol>
---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Сыдык Жасулан		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2ДМ11		Сыдык Жасулан	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

<b>Изучение способов переработки ароматических полиэфирсульфонов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<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><i>Объект исследования:</i> экструдер получения из полиэфирсульфона нитей для применения в промышленных аддитивных установках</p> <p><i>Область применения:</i> предприятия нефтепереработки, проектные организации, научно-исследовательские центры</p> <p><i>Рабочая зона:</i> компьютерный класс</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 7,0*3,0 м.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</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>– ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя.</li> <li>– Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.</li> <li>– ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях</li> <li>– N 123-ФЗ от 22.07.2008 (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"</li> <li>– СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Электрический ток;</li> <li>– Пожарная безопасность;</li> </ul> <p>Причиной для возгорания могут послужить вышедшие из строя электроприборы.</p> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>– Умственное перенапряжение;</li> <li>– Монотонность труда.</li> </ul> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> тепловая изоляция оборудования, заземление оборудования.</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>

<p><b>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u></b></p>	<p><b>Воздействие населительную зону:</b> выбросы вредных веществ при аварии  <b>Воздействие на литосферу:</b> загрязнение почв отходами переработки полиэфирсульфона  <b>Воздействие на гидросферу:</b> загрязнение сточных вод побочными продуктами  <b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы в атмосферу при утилизации отходов полиэфирсульфона</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b>          Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);          Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);          Техногенные аварии (отказ систем безопасности, пожар).  <b>Наиболее типичная ЧС:</b> возникновение пожара</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Сыдык Жасулан		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 96 с., 22 рисунка, 19 таблиц, 38 литературных источника.

Ключевые слова: полиэфирсульфоны, ПЭС, ПЭС, методы переработки полиэфирсульфонов, полиэфирсульфоны в аддитивных технологиях.

Объектом исследования являются полиэфирсульфоны и методы его переработки.

Цель работы – рассчитать опытную установку переработки полиэфирсульфонов в нить для аддитивных установок.

В процессе исследования проведены работы по выбору метода переработки ПЭС; конструкции аппарата; произведены энергетические, тепловые, и механические расчеты; рассчитаны экономические затраты и определены нормы безопасности с учетом специфики производства; выполнены чертежи технологической схемы и основного аппарата.

В результате исследования спроектирована опытная установка для переработки полиэфирсульфонов в нить для аддитивных установок.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: производительность установки по сырью – 3,28 кг/ч.

Степень внедрения: результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы в качестве ознакомления с процессом переработки высокотемпературных полимеров и теоретической основой для проектирования установки переработки ароматических полиэфирсульфонов.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор .....	16
1.1 Теоретическая часть.....	16
1.1.1 Получение полиэфирсульфонов .....	16
1.1.2 Свойства полиэфирсульфонов .....	18
1.1.3 Применение полиэфирсульфонов.....	21
1.2.Методы переработки полиэфирсульфонов .....	22
1.2.1 Прессование в формах .....	22
1.2.2 Литьё под давлением.....	24
1.2.3 Экструзионная обработка .....	27
1.3 Применение полиэфирсульфонов в аддитивных технологиях .....	29
1.3.1 Биопротезирование.....	31
1.3.2 Изготовление лабораторного оборудования .....	34
1.3.3 Электроника и электротехника .....	36
1.3.4 Потенциальные 3D–принтеры для использования полиэфирсульфонов 36	
2 Объект и методы исследования.....	38
2.1 Исходные вещества и растворители .....	38
2.2 Синтез полиэфирсульфонов в диметилсульфооксиде .....	44
2.3 Методы исследования PES.....	44
2.3.1 ИК спектроскопия .....	44
2.3.2 Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика: 45	
2.3.3 Показатель текучести расплава (ПТР) .....	46
2.3.4 Определение молекулярной массы .....	46
3 Расчёты и аналитика .....	47
3.1 Пирамида полимеров, проблемы в производстве ПЭС .....	47
3.2 Сравнительный анализ РЕЕК и ПЭС.....	50

3.3	Описание технологической схемы получения нити из полиэфирсульфона	
	53	
3.4	Расчёт экструдера.....	54
3.4.1	Конструкционный расчёт одношнекового экструдера.....	54
3.4.2	Энергетический расчёт одношнекового экструдера.....	58
3.4.3	Тепловой расчёт одношнекового экструдера .....	60
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
4.1	Предпроектный анализ .....	63
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
4.1.3	Диаграмма Исикава .....	65
4.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	67
4.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	69
4.2	Инициация проекта .....	70
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом .....	71
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта .....	72
4.3.2	План проекта .....	72
4.3.3	Бюджет научного исследования .....	76
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	81
4.4.1	Оценка сравнительной эффективности исследования .....	81
5	Социальная ответственность .....	83
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	83
5.2	Производственная безопасность .....	84
5.2.1	Анализ опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований .....	85
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	90

5.3 Экологическая безопасность.....	92
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	92
5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	93
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
Заключение .....	97
Список использованных источников .....	98
Приложение I.....	103

## Введение

Полиэфирсульфоны (ПЭС) являются аморфными полимерами с высокой ударной вязкостью, сопротивлением растяжению и стойкостью к УФ-излучению. Они обладают прочностью и жесткостью даже при экстремально низких и высоких температурах, от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также при резких перепадах температур. ПЭС светопрозрачны, с прозрачным цветом, но с желто-янтарным оттенком, и обладают более высокой термостойкостью по сравнению с полисульфонами (ПС, PSU). ПЭС обладают также высокой механической прочностью и хорошими свойствами электроизоляции, высоким порогом ползучести даже для аморфного полимера и стойкостью к радиационному излучению, что делает их популярными в различных отраслях, включая машиностроение, химическую промышленность, медицину и авиастроение. Их низкая горючесть (соответствует стандарту UL 94) также важна. ПЭС применяются в вакуумных, пищевых, медицинских, приборостроительных, машиностроительных, химических и автомобильных технологиях.

Мировое производство полисульфонов и полиэфирсульфонов в настоящее время составляет 55 тысяч тонн в год [1]. На рынке представлены различные товарные знаки, такие как Tecason E (Ensinger), Radel A (Solvay), Ultrason E (BASF), Sustason ПЭС и Udel.

BASF выпускает полиэфирсульфоны под маркой Ultradur E, которые разработаны совместно с южнокорейской фирмой I-Complements и предназначены для использования в качестве альтернативной основы для жидкокристаллических матриц вместо стекла.

В России в настоящее время проводятся исследования в области производства полисульфонов, включая ПЭС, с целью импортозамещения и сокращения отставания России в области получения полиарилсульфонов [2].

# 1 Литературный обзор

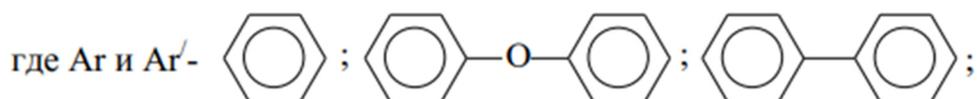
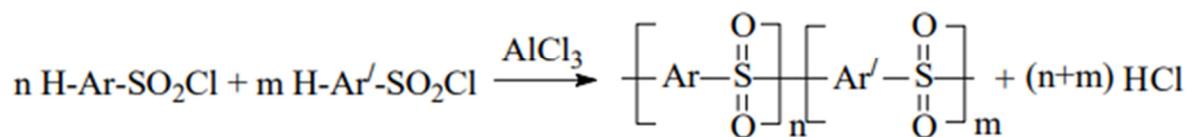
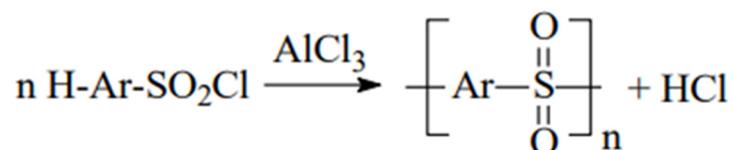
## 1.1 Теоретическая часть

### 1.1.1 Получение полиэфирсульфонов

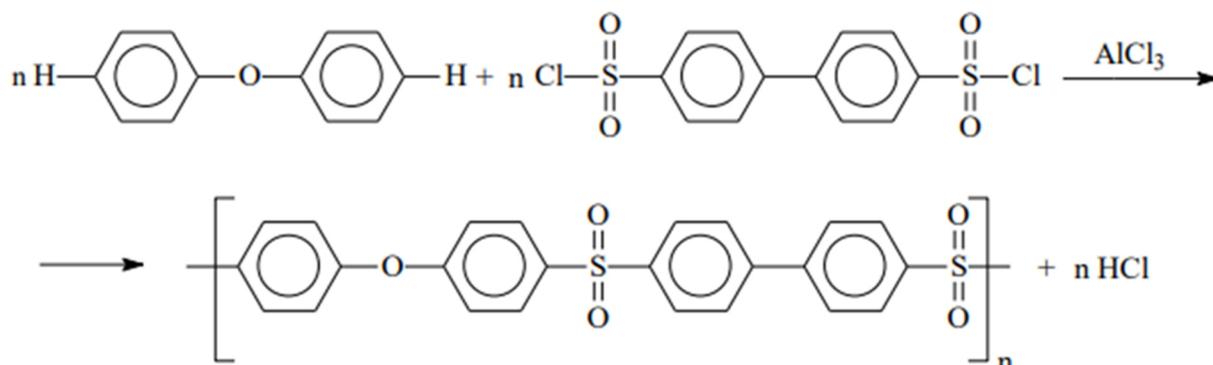
На сегодняшний день существуют два основных подхода к синтезу ароматических полиэфирсульфонов методом поликонденсации:

- *Синтез методом электрофильного замещения*

В этом методе ароматические полиэфирсульфоны получают путем реакции Фриделя-Крафтса, где происходит гомополиконденсация моно- и дисульфонилхлоридов с использованием различных углеводородов при наличии кислот Льюиса, таких как  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SbCl}_5$ ,  $\text{InCl}_3$  [3].



- *Поликонденсацией дифенилового эфира с дисульфонилхлоридом по следующей схеме:*



Синтез полиэфирсульфонов методом электрофильного замещения можно проводить в расплаве при температуре от 230 до 320 °С или в растворителях, таких как дисульфид углерода, нитробензол, хлорированный

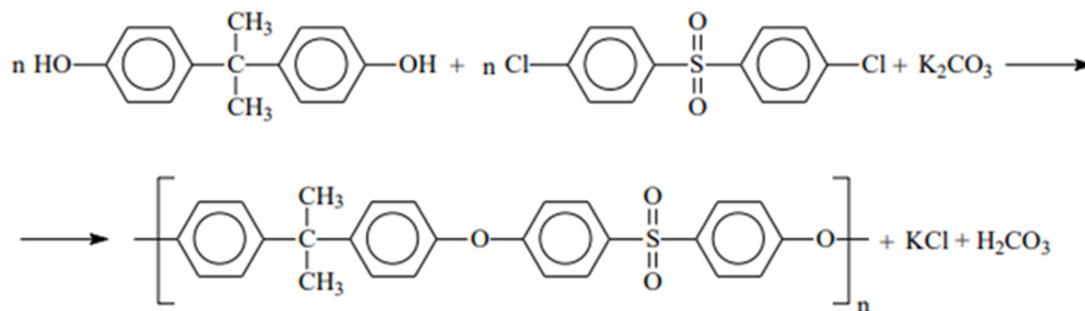
дифенил, при температуре от 45 до 160 °С. Полиэфирсульфоны, полученные в расплаве, частично растворимы (до 80%) в тетрагидрофуране и амидных растворителях, и их цвет может варьироваться от светло-коричневого до темного. Полимеры, полученные в растворе, имеют черный цвет и растворимы в органических растворителях.

Однако, этот метод не нашел широкого промышленного применения из-за низких значений молекулярных масс полимеров, образования побочного продукта – хлороводорода, загрязнения полимера солями металлов, которые ухудшают полезные свойства конечного продукта, а также возможности протекания побочных реакций и использования дорогих мономеров.

Также в литературных источниках описаны другие способы получения ароматических полиэфирсульфонов по механизму электрофильного замещения, такие как использование сверхкислых сред, включая трифторметансульфокислоту, реакция Шолля [4] и метод, основанный на получении диарилсульфона через бисацилсульфат [5]. Однако эти методы также не получили широкого применения из-за низких значений молекулярных масс синтезированных полимеров.

- *Синтез методом нуклеофильного замещения*

Наиболее распространенным и широко используемым методом для коммерческого производства полиэфирсульфонов является реакция нуклеофильного ароматического замещения. Эта реакция происходит при высоких температурах и является ключевым этапом в технологической схеме производства полиэфирсульфонов. Технологическая схема включает реакцию конденсации двух мономеров, обладающих бифункциональными реакционными группами. Вариантом этого метода является гомополиконденсация мономера. Для осуществления реакции используются полярные апротонные растворители. Для инициирования реакции могут применяться водный раствор гидроксида натрия или сухой карбонат калия [6]:



Оптимальное протекание реакции методом нуклеофильного замещения зависит от нескольких ключевых факторов. Важную роль играют структура исходных мономеров, а также тип фенолята, используемого в реакции. Кроме того, подбор правильного апротонного диполярного растворителя (АДПР) имеет существенное значение. АДПР должен способствовать диссоциации реагентов и образованию ионных видов, не растворяя сам полимер. Правильный выбор АДПР может улучшить растворимость реагентов, ускорить реакцию и повысить выход желаемого продукта.

### 1.1.2 Свойства полиэфирсульфонов

Полиэфирсульфоны представляют собой аморфные полимеры с набором уникальных свойств, которые обеспечивают широкое применение этих полимеров в различных отраслях промышленности. ПЭС обладают высокой ударной вязкостью и сопротивлением растяжению, что делает их прочным и долговечным материалом. Они обладают высокой термостойкостью и могут сохранять свою прочность и жесткость даже при экстремально низких и высоких температурах, а также при резких перепадах температур.

Важной особенностью ПЭС является их стойкость к УФ-излучению, что позволяет использовать полимеры в условиях, где материал подвергается воздействию солнечного света без потери своих свойств. Они также обладают хорошей стойкостью к воздействию влаги и воды. ПЭС обладают отличными свойствами электроизоляции, что делает их идеальным материалом для

использования в электронике и электротехнике. ПЭС также обладают высокой механической прочностью и высоким порогом ползучести, что позволяет материалу выдерживать высокие нагрузки и деформации.

Благодаря своим уникальным свойствам, ПЭС применяются в различных отраслях, включая машиностроение, химическую и автомобильную промышленность, медицину, авиастроение, вакуумные, пищевые и медицинские технологии, а также в приборостроении и машиностроении [7]. ПЭС также обладают низкой собственной возгораемостью, что делает полимер на основе ПЭС безопасным материалом.

Характеристики ненаполненных марок ПЭС:

- плотность (23 °С): 1.36–1.58 г/см<sup>3</sup>;
- предел текучести при растяжении (23 °С): 83–126 МПа;
- модуль упругости при растяжении (23 °С): 2600 МПа;
- температура стеклования: 230 °С.

Полиэфирсульфоны обладают рядом выдающихся химических и физических свойств, которые делают их привлекательным материалом для различных отраслей промышленности. ПЭС обладают превосходной химической стойкостью среди полимеров сульфона и позволяет использовать их в условиях контакта с различными химическими веществами, включая дезинфицирующие растворы и пищевые продукты. Они устойчивы к растворам щелочей, слабым и насыщенным растворам минеральных кислот, минеральным и растительным маслам, алифатическим углеводородам и другим веществам.

ПЭС также обладают высокой устойчивостью к гамма-радиации, что делает их применимым в радиационно-защитных приложениях. Однако следует отметить, что ПЭС могут частично набухать в некоторых растворителях, таких как карбоновые кислоты, простые и сложные эфиры, кетоны, альдегиды и ароматические углеводороды [8]. При кипячении может возникать растрескивание материала, и в условиях стерилизации горячим

паром с вакуумной фазой также могут возникать проблемы в виде образования трещин.

ПЭС обладает отличными механическими свойствами, включая высокую ударную вязкость и стойкость к растяжению. Он также обладает хорошими свойствами электроизоляции и имеет низкую собственную возгораемость.

В результате всех этих свойств ПЭС находит широкое применение в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, авиационно-космическую, медицинскую, электротехнику, электронику, а также для производства волокон, препрегов и мембран. На диаграмме 1 представлено сравнение водопоглощения и напряжения при растяжении полимеров сульфона. За эталон (точку отсчета) приняты свойства полисульфона.

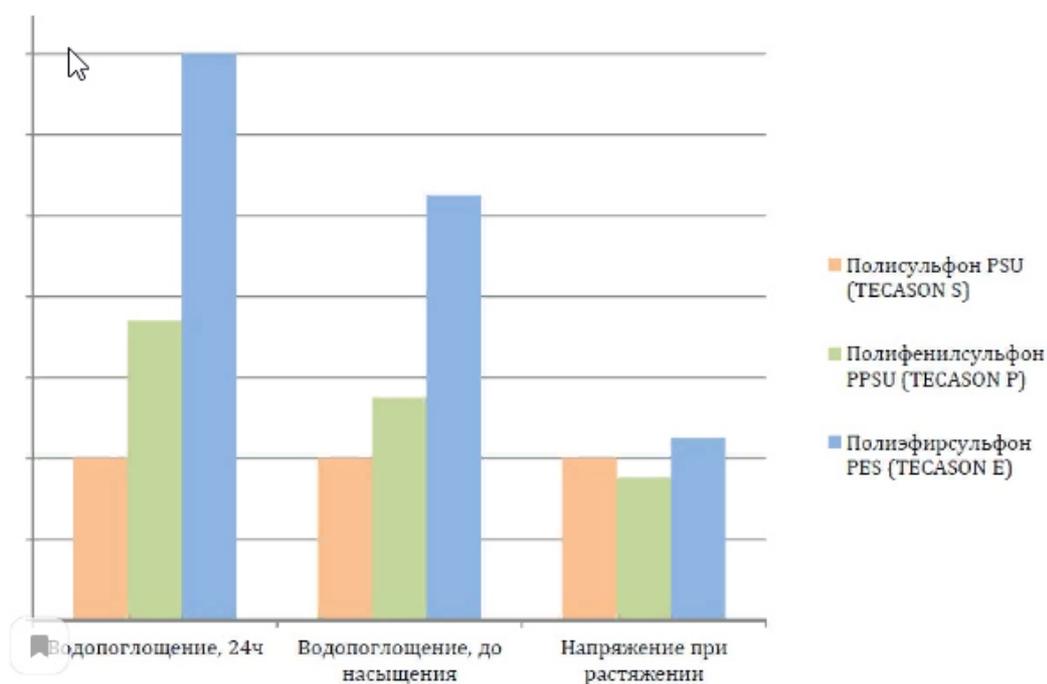


Диаграмма 1 – Сравнение водопоглощения и напряжения при растяжении полимеров сульфона

ПЭС чаще всего применяются в электротехнике, электронике и приборостроении. В этих отраслях они используются для создания различных компонентов и устройств, таких как контрольно-измерительные приборы, индикаторы уровня нефти, высокочастотные изоляторы, крышки

распределительных коробок, прозрачные панели, фланцы, изоляторы, детали переключателей, корпуса вентилях, корпуса датчиков, гнезда, части индикаторов и многое другое. ПЭС обладают высокой термостойкостью, механической прочностью и отличными электрическими свойствами, что делает их идеальным материалом для таких приложений.

В медицинской промышленности ПЭС также находят применение. Они используются для создания различных деталей и компонентов медицинского оборудования, включая детали диализных систем, хирургические инструменты, стерилизационные лотки, корпуса вентилях, посуду для микроволновых печей, мембраны для фильтрации и другие части, которые подвергаются стерилизации и дезинфекции. ПЭС обладают химической стойкостью и способностью выдерживать процессы стерилизации, что делает полимер надежным и безопасным материалом для использования в медицинских условиях.

Изделия из ПЭС обычно изготавливаются методами литья под давлением или механической обработки, такой как стружечная обработка или сварка, в зависимости от конкретных требований и характеристик конечного изделия.

*Параметры переработки ПЭС:*

- температура расплава: 340–380 °С;
- температура формы: 90–160 °С;
- ПТР при 360 °С и нагрузке 2,16 кг в пределах 4,5–4,7 г/10 мин;
- вязкость 1050 Па·с.

### **1.1.3 Применение полиэфирсульфонов**

Полиэфирсульфоны используются при производстве элементов устройств, которые подвергаются высоким температурам и термическим нагрузкам. Они применяются для изготовления компонентов фенов, корпусов утюгов, корпусов ламп, ручек кухонной посуды и других термически нагруженных элементов. В электротехнике ПЭС используются для создания

элементов телевизоров, конденсаторных пленок, опорных пластин для печатных выключателей, корпусов катушек и пробок для автомобильных свечей. В медицине применяются при изготовлении аппаратов для диализа, искусственного дыхания и других медицинских устройств, которые требуют стерилизации. В химической промышленности ПЭС используются для производства элементов клапанов топливных баков, корпусов насосов, смотровых стекол и других химически стойких компонентов.

Учитывая уникальные свойства ПЭС и специфичность их применения в различных отраслях, перспективным является также использование в аддитивных технологиях. Создание нитей, соответствующих требованиям аддитивных установок, является ключевым аспектом в этом направлении. Применение ПЭС в аддитивном производстве может открыть новые возможности для создания сложных и прочных деталей с высокой термостойкостью и химической стойкостью. Это может иметь значительное влияние на различные отрасли и способствовать развитию инновационных решений.

## **1.2. Методы переработки полиэфирсульфонов**

Все полиэфирсульфоны можно перерабатывать прессованием, литьем под давлением и экструзией [9].

### **1.2.1 Прессование в формах**

При процессе прессования полимерных материалов происходит термическая и механическая обработка материала с целью формирования изделий определенной формы и размера. Прессование проводится в специальных пресс-формах, которые имеют конфигурацию, соответствующую требуемому изделию. Во время прессования, материал подвергается высокому давлению и нагреванию, что позволяет ему пластически деформироваться и затем зафиксировать полученную форму после охлаждения [10].

Прессование позволяет получать изделия с высокой точностью размеров и формы, а также обеспечивает хорошую поверхностную отделку. Технология прессования может использоваться для изготовления разнообразных компонентов и деталей, таких как корпуса, панели, элементы крепежа и многое другое. Прессование полимерных материалов является эффективным способом производства изделий с повышенной прочностью, устойчивостью к воздействию окружающей среды и специфическими характеристиками, соответствующими требованиям конкретного применения.

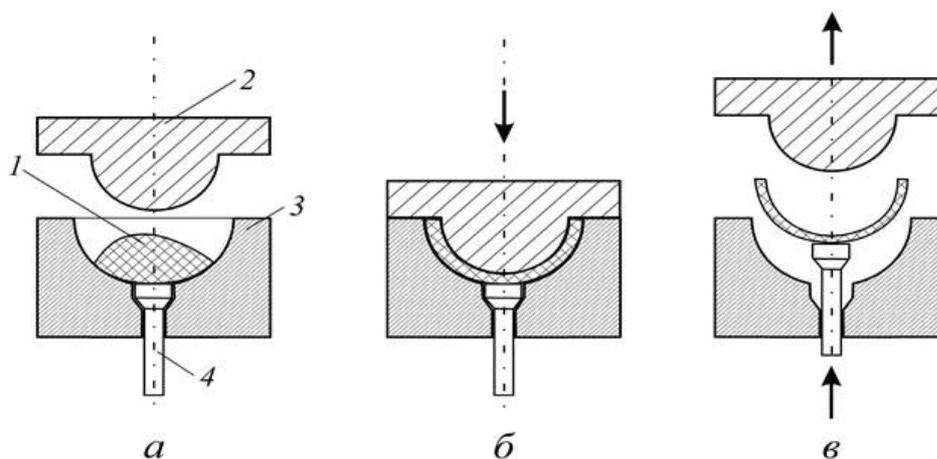


Рисунок 1 – Схема процесса прессования полимерных материалов:

а – загрузка полимера, б – смыкание пресс-формы, в – размыкание пресс-формы;

1 – полимер, 2 – пуансон, 3 – матрица, 4 – выталкиватель

Пресс-формы используются в сочетании с прессами, которые предназначены для создания необходимого давления во время процесса прессования. Пресс-форма представляет собой специально созданную полость, которая соответствует требуемой форме и размеру изделия. В эту пресс-форму помещается холодный или предварительно подогретый материал. Во время прессования, материал разогревается до определенной температуры, соответствующей процессу прессования, и подвергается давлению, что позволяет ему деформироваться и заполнять полость формы. В то же время материал уплотняется под воздействием давления, обеспечивая получение точной формы изделия. Фиксация формы происходит путем

охлаждения материаланиже температуры стеклования полимеров (для термопластов).

*Параметры процесса прессования полимерных материалов:*

- начальная температура полимерного композиционного материала и пресс-формы;
- удельное давление и скорость его приложения;
- время выдержки в пресс-форме;
- температура извлечения изделия из пресс-формы;
- давление прессования 0,01–250 МПа.

При прессовании термопластов решающее влияние на режимы оказывает скорость охлаждения сформованного изделия.

### **1.2.2 Литьё под давлением**

Литьё под давлением является методом формования изделий из полимерных материалов, который включает несколько этапов. Сначала материал нагревается до состояния плавления или вязкотекучести. Затем он передавливается в закрытую литьевую форму, где заполняет полость формы и затвердевает, приобретая конечную конфигурацию.

Этот метод позволяет получать изделия с различными размерами и весом, обычно от нескольких граммов до нескольких килограммов, с толщиной стенок в диапазоне от 1 до 20 мм, чаще всего в пределах 3–6 мм. Для осуществления процесса литья под давлением используются плунжерные или шнековые литьевые машины [11].

Плунжерные литьевые машины представляют собой устройства, в которых материал подается в литьевую форму с помощью горизонтального или вертикального плунжера, который передвигается вперед-назад, обеспечивая наполнение формы. Шнековые литьевые машины используют винтовой шнек для транспортировки и передачи плавленого материала в литьевую форму.

Литье под давлением обладает рядом преимуществ, таких как высокая точность размеров, отличная поверхностная отделка изделий, возможность использования широкого спектра полимерных материалов и производство сложных геометрических форм.

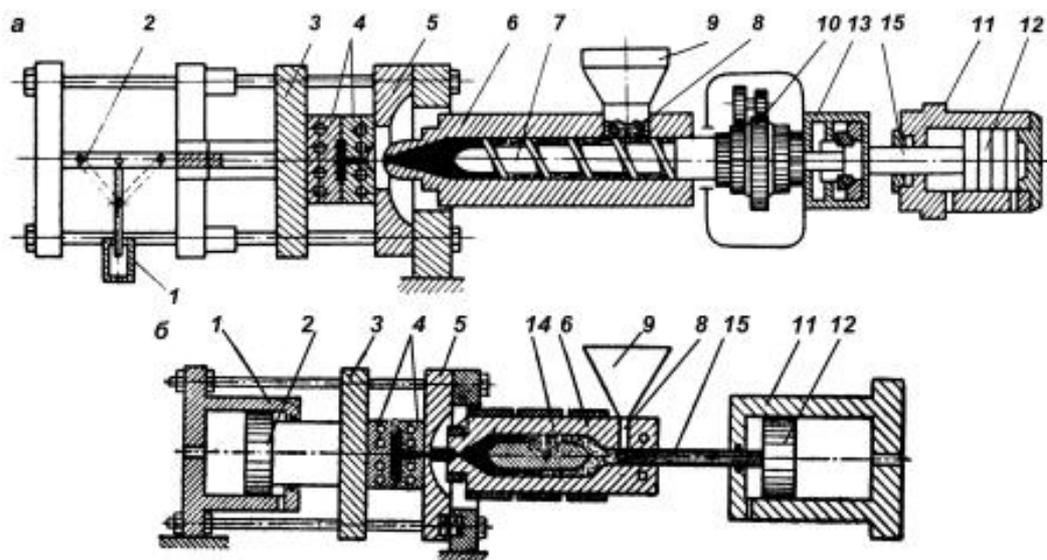


Рисунок 2 – Схема литьевой машины со шнековой (а) и плунжерной (б) пластикацией расплава: 1 – гидроцилиндр механизма смыкания; 2 – поршень гидроцилиндра механизма смыкания; 3 – подвижная плита; 4 – полуформы; 5 – неподвижная плита; 6 – пластикационный цилиндр; 7 – шнек; 8 – загрузочное окно цилиндра пластикации; 9 – бункер; 10 – привод шнека; 11 – корпус гидроцилиндра механизма впрыска; 12 – поршень гидроцилиндра впрыска; 13 – гидроцилиндр шнека; 14 – торпеда – рассекатель потока расплава; 15 – плунжер.

Технологические параметры, критические для процесса литья под давлением, включают ряд ключевых характеристик:

- Температура расплава ( $T_p$ ), определяющая пластичность материала и его способность быть литым. Оптимальная  $T_p$  зависит от конкретного материала, а также от требуемых свойств и геометрии изделия.
- Температура формы ( $T_f$ ) также играет важную роль в процессе литья под давлением. Она может быть настроена в зависимости от материала и процесса, и обеспечивает необходимое охлаждение и отверждение материала после его заливки в форму.

- Давление литья ( $P_L$ ) определяет силу, применяемую для заполнения формы расплавленным материалом. Оптимальное давление зависит от материала и конфигурации формы, и влияет на полноту заполнения формы и качество изделия.
- Давление в форме ( $P_F$ ) поддерживается после заполнения для компактации и уплотнения материала. Это давление помогает улучшить плотность и структуру изделия.
- Время выдержки под давлением ( $t_{ВПД}$ ) определяет продолжительность поддержания формы под давлением после ее заполнения. Это время позволяет материалу полностью заполнить форму и обеспечивает его уплотнение перед охлаждением.
- Время охлаждения ( $t_{охл}$ ) или время отверждения в форме ( $t_{отв}$ ) для термореактивных материалов является временем, необходимым для охлаждения и отверждения материала в форме до того, как изделие может быть извлечено. Это время зависит от материала, толщины стенок и конфигурации изделия.

Каждый из этих параметров влияет на процесс литья под давлением и может быть оптимизирован для достижения требуемых свойств и качества изделия. Анализ процесса литья под давлением может быть проведен по следующим составляющим [12]:

- перевод материала в вязкопластичное состояние;
- подача его в зону дозирования;
- накопление расплава;
- течение расплава в системе «сопло – форма»;
- течение расплава в каналах формы и формирующей полости.

### 1.2.3 Экструзионная обработка

Экструзия – это процесс производства изделий из полимерного сырья, основанный на прессовании или продавливании расплавленного материала

через формующие отверстия, такие как кольцевые или щелевые фильеры. Это позволяет придавать материалу заданную форму или профиль [13].

Производство экструдеров предлагает широкий спектр электромеханических устройств, которые различаются по конструкции, производительности, применению, типу обрабатываемого сырья, техническим характеристикам и другим важным параметрам. Процесс экструзии применяется как на промышленных предприятиях для производства гранул, так и у потребителей для изготовления конечных продуктов.

Все экструдеры, независимо от области применения, состоят из основных рабочих механизмов:

1. Асинхронного электродвигателя.
2. Бункера загрузки.
3. Шнека.
4. Нагревательного элемента.
5. Экструдерной головки.

Конструктивно машина разделена на три отсека:

- зону загрузки;
- зону плавления;
- зону дозирования.

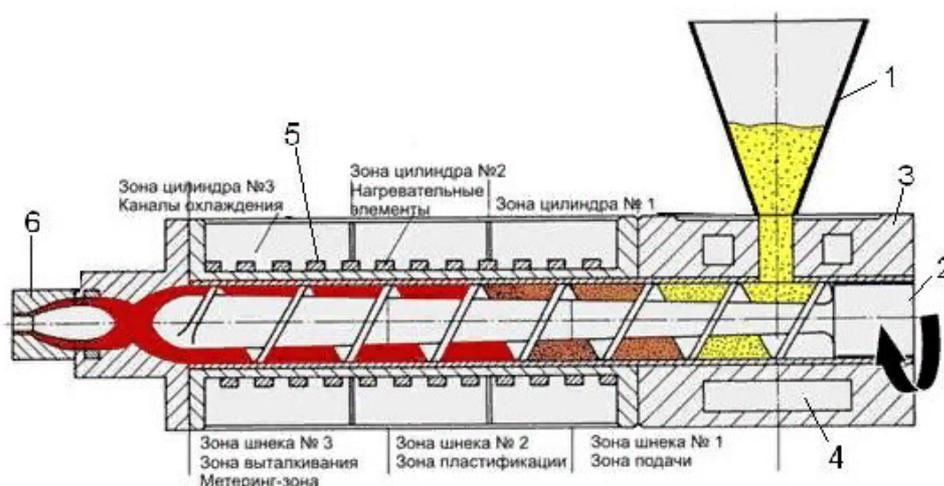


Рисунок 3 – Схема устройства экструдера

В начальном отсеке экструдера, известном как зона питания, гранулированное сырье, полимерный порошок или вторичные материалы

подаются в бункер и передаются на лопасти шнека, который вращается благодаря электроприводу. Загрузка гранул может происходить самотеком или с использованием сжатого воздуха от компрессора. По мере продвижения, полимерные материалы перемещаются в горячие секции экструдера и попадают в зону плавления. В этой области глубина нарезки шнека и расстояния между его витками значительно уменьшаются по сравнению с другими участками. Под действием повышенного давления полимерная масса прижимается к горячим стенкам и сильно уплотняется.

Затем, в зоне дозирования экструдера, расплавленная масса прокачивается через сетчатые фильтры с мелкими и крупными отверстиями, расположенные перед головкой. Основная задача сетчатых фильтров - улучшение гомогенизации расплава и удаление мельчайших загрязняющих частиц. Это особенно важно при производстве тонких прозрачных пленок, так как наличие инородных частиц может привести к разрушению структуры и образованию дефектов в пленке.

На последнем этапе экструзии материал выходит через формирующее сопло с отверстием определенного сечения, которое зависит от конфигурации конечного изделия. Расплавление полимерных гранул происходит в основном за счет интенсивной деформации и сдвига плотного сырья. Нагревательные элементы экструдера лишь ускоряют процесс плавления. Если в результате внутреннего трения в материале выделяется достаточно тепла для стабильного расплавления полимера, то электронагреватели автоматически отключаются, и система переходит в термодинамический адиабатный режим.

### **1.3 Применение полиэфирсульфонов в аддитивных технологиях**

3D-печать, известная также как аддитивное производство, представляет собой инновационный процесс, при котором 3D-принтер пошагово создает уникальные трехмерные объекты, добавляя материал слоями в соответствии с цифровой 3D-моделью. Эта передовая технология основывается на постепенном наращивании материала на платформу или

каркас, что делает ее непревзойденной. В отличие от традиционных методов, которые требуют использования шаблонов и удаления излишков, аддитивное производство позволяет создавать изделия прямо из расходных материалов.

Применение аддитивных технологий охватывает широкий спектр отраслей. Например, в медицине, строительстве, промышленности, авиа-, автомобиле- и судостроении широко используется 3D-печать.

На сегодняшний день доступно множество технологий 3D-печати, позволяющих решать различные задачи. Одной из наиболее распространенных является fuseddepositionmodeling (FDM). В процессе FDM трехмерная модель в формате STL загружается в программное обеспечение 3D-принтера, после чего модель размещается в виртуальном пространстве рабочей камеры. Затем создаются опорные элементы, определяется количество материала и время печати. В самом процессе 3D-печати экструдер перемещается по заданной траектории, расплавляя и нанося на платформу тонкую пластиковую нить в соответствии с математической 3D-моделью.

Также широко применяются другие технологии 3D-печати, включая selectivelasersintering (SLS) и selectivelasermelting (SLM). SLS основывается на спекании пластикового порошка слоями с помощью лазера и применяется для создания прочных пластиковых деталей сложной геометрии. Технология SLM позволяет лазерным плавлением металлического порошка создавать точные металлические детали для узлов, агрегатов и неразборных конструкций.

Автоматизация аддитивного производства снижает роль человека, повышает точность изготовления и экономическую эффективность. Это позволяет сократить количество необходимых работников. В некоторых случаях для производства деталей достаточно иметь только 3D-конструктор, который готовит математическую 3D-модель, и оператора печати.

Аддитивное производство имеет ряд преимуществ, таких как экономия исходного сырья и сокращение отходов. Это не только способствует улучшению экологической ситуации, но и существенно снижает затраты на производство. С использованием 3D-печати можно использовать только

необходимое количество материала для создания конкретной детали, тогда как при традиционных методах до 85% сырья может быть потеряно.

В некоторых случаях аддитивные технологии позволяют производителям изготавливать детали по мере необходимости. Это исключает необходимость в хранении запасных частей на складах и их транспортировке к месту производства. Кроме того, сокращается время простоя производства, ожидая поставку необходимых деталей.

С помощью 3D-печати открываются новые возможности для создания уникальных продуктов, недостижимых с использованием классических методов. В будущем развитие и совершенствование 3D-печати может привести к постепенной замене традиционного производства аддитивными технологиями [14].

Вопрос разнообразия материалов в аддитивном производстве остается актуальным, хотя его влияние на рынок не так сильно, как это было десять лет назад. Использование эксклюзивных материалов может помочь компаниям сохранить свою монополию, но при этом оно может замедлить разработку новых материалов. Когда клиенты лишены выбора и вынуждены приобретать материалы только у одного поставщика, им не важно, предлагает ли конкурент материал с лучшими характеристиками, поскольку стоимость приобретения нового 3D-принтера оказывается слишком высокой преградой для перехода.

Такая сегментация рынка также не способствует стимулированию инноваций среди поставщиков материалов. Например, для компании DuPont будет выгоднее разрабатывать материалы для 3D-печати на основе нейлона, которые могут быть использованы с различными принтерами, чем создавать индивидуальные формулы для каждого бренда [15].

В 3D-печати полимеры и металлы являются основными материалами. Выбор конкретного материала зависит от требуемых свойств конечного изделия. Например, полиэфирсульфон (ПЭС) может использоваться для производства изделий, которым требуется высокая прочность, термостабильность и устойчивость к экстремальным перепадам температур.

Так как современные 3D принтеры направлены на изготовление небольших по размеру деталей, можно выделить следующие области применения ПЭС:

- Биопротезирование;
- Электроника и электротехника;
- Печать лабораторного оборудования.

### 1.3.1 Биопротезирование

Комплекс эксплуатационных свойств полисульфонов, такие как:

- бинертность,
- прочность,
- износостойкость,

позволяют допускать применение ПЭС в качестве эндопротезов, таких как биопротезы тазобедренных суставов, которые как часть опорно-двигательного аппарата человека подвергаются постоянным высоким напряжениям.



Рисунок 4 – Биопротез тазобедренного сустава

Успех операции по эндопротезированию суставов зависит не только от навыков и опыта хирурга, но и от материалов, используемых для изготовления протезов. Важно, чтобы эти материалы были износостойкими, обеспечивая стабильную работу сустава в течение 15–20 лет. Кроме того, они должны быть

минимально аллергенными и не вызывать токсических реакций в организме, чтобы уменьшить риски воспаления тканей.

Эндопротезы тазобедренного сустава состоят из чашки (тазовой части), вкладыша, головки и ножки (бедренной части). Бедренные и тазовые части протеза обычно изготавливаются из металлов, таких как титан, нержавеющая сталь или сплав хрома с кобальтом. Вкладыш и головка протеза могут быть изготовлены из металла, полиэтилена, керамики или их комбинации [16].

Рассмотрим недостатки наиболее распространенных комбинаций материалов пары трения (головки и вкладыша):

- **Металл–металл:** это обычно сплав хрома и кобальта, обладающий долговечностью и пластичностью. Однако при длительном трении вкладыша и головки выделяются ионы и продукты износа хрома и кобальта, которые могут проникать в ткани и кровь человека. Это может вызывать осложнения, такие как расшатывание протеза, образование псевдо-опухолей, аллергические реакции и даже повреждения внутренних органов пациента.

- **Керамика–керамика:** керамический материал является износостойким и обладает гладкой, скользящей структурой, не подверженной окислению и ржавлению. Однако у керамики есть недостатки. Она может трескаться в процессе использования, и небольшая трещина со временем может превратиться в разлом. Кроме того, во время движения может возникать скрип, что создает бытовые неудобства.

- **Керамика–полиэтилен или металл–полиэтилен:** полиэтилен является пластичным материалом. Продукты его износа не впитываются в кровь и не вызывают токсических реакций. Однако у полиэтиленового вкладыша есть недостатки. Он быстрее изнашивается, и при стирании выделяет частицы, которые могут вызвать воспаление сустава. Эти частицы также повышают риск разрушения кости и расшатывания чашки протеза.

Важным аспектом является биоинертность материалов, то есть их способность не вызывать нежелательных реакций в биологической среде, где

они используются. Биоинертные материалы не взаимодействуют химически с окружающей средой и не вызывают иммунных ответов организма.

Для достижения успеха в операции по эндопротезированию суставов критически важно выбирать материалы протеза, которые обеспечат долговечность, минимальный износ, биоинертность и сниженный риск аллергических и токсических реакций в организме пациента. Это поможет обеспечить стабильную работу сустава на протяжении многих лет и снизить возможность осложнений и воспалений.

ПЭС обладают высокой биоинертностью благодаря тому, что они не содержат реакционных групп, которые могут привести к токсичности или иммуногенности. Кроме того, ПЭС не содержат добавок, которые могут вызвать реакцию организма [17].

В исследованиях было показано, что ПЭС обладают хорошей биоинертностью, и используются в различных медицинских приложениях, таких как фильтры для крови и инфузионные системы [18]. Однако, как и в случае с любым другим материалом, может быть некоторая степень индивидуальной чувствительности или реакции на ПЭС у некоторых пациентов.

### **1.3.2 Изготовление лабораторного оборудования**

Использование полиэфирэфиркетона (PEEK) в 3D-печати для изготовления лабораторного химического оборудования исследовалось группой ученых из Института органической химии Тюбингенского университета в Германии [19]. PEEK обладает высокой термической стойкостью, прочностью и химической стойкостью к кислотам, щелочам, маслам, жирам, алифатическим углеводородам и спиртам. Эти свойства делают его потенциально подходящим для использования в лабораторном оборудовании, особенно при работе с агрессивными химическими веществами и при повышенных температурах.

В исследовании были изготовлены и протестированы различные компоненты проточной системы, такие как сепаратор, регулятор противодавления и шприцевой насос непрерывного действия. Большинство деталей было напечатано из РЕЕК на высокотемпературном 3D-принтере. Они были оценены с точки зрения их пригодности для проточных реакций при повышенных температурах и способности выдерживать химические воздействия.

Использование 3D-печати с высокотемпературными и химически стойкими полимерами, такими как РЕЕК, для изготовления лабораторного оборудования предоставляет новые возможности в области их проектирования и изготовления. Это позволяет создавать более сложные и функциональные детали, а также адаптировать оборудование под конкретные потребности и условия эксплуатации. Однако перед применением таких деталей в реальных условиях необходимо проводить дополнительные испытания и проверки, чтобы убедиться в их надежности и соответствии требованиям лабораторных процессов и безопасности.

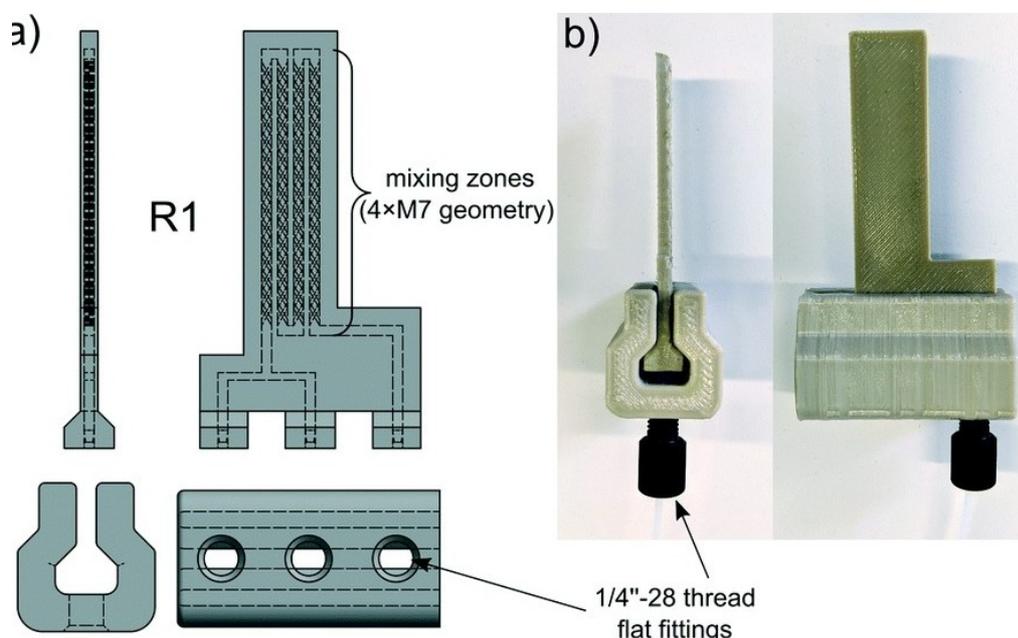


Рисунок 5 – Части устройства, изготовленные из РЕЕК

В ходе экспериментов проводились тесты на влияние различных геометрических форм смешивания, которые были напечатаны на 3D-принтере, на процесс фторирования производного рибозы. Оценивалась эффективность

смешивания и его влияние на реакцию. Оказалось, что стоимость изготовления реактора с использованием 3D-печати составила значительно меньшую часть стоимости коммерчески доступного проточного оборудования.

ПЭС обладают превосходной прочностью и стабильностью размеров, что делает их привлекательным материалом для производства различных инструментов и оборудования.

Например, ПЭС широко используются для создания крышек петри, фильтров, пипеток, колб и других лабораторных приспособлений. Они также находят применение при производстве посуды для хранения и переноски химических реагентов, таких как пробирки, бутылки и контейнеры.

Полиэфирсульфоны обладают высокой химической стойкостью, что позволяет полимерам сопротивляться воздействию многих органических и неорганических растворителей, а также кислот и щелочей. Это делает ПЭС удобным материалом для хранения и использования химических реагентов. Кроме того, ПЭС обладает отличной термостойкостью и способен выдерживать высокие температуры, что позволяет его применять в различных термических приложениях.

### **1.3.3 Электроника и электротехника**

ПЭС, с высокой прочностью и термической стойкостью, отлично подходят для изготовления элементов, подвергающихся значительным термическим нагрузкам. Например, они могут использоваться для создания фенов, корпусов утюгов, корпусов ламп и ручек кухонной посуды. Использование ПЭС в этих приложениях может снизить вес и стоимость бытовых электрических приборов.

В области электротехники ПЭС применяются для создания различных компонентов. Они используются для элементов телевизоров, конденсаторных пленок, опорных пластин для печатных выключателей, корпусов катушек и пробок для автомобильных свечей. Также ПЭС потенциально могут

использоваться в качестве материала для изготовления изоляторов, коннекторов, базовых плат, корпусов электронных приборов и штепселей или разъемов.

### 1.3.4 Потенциальные 3D-принтеры для использования полиэфирсульфонов

При условии переработки ПЭС в нить толщиной 1,75 мм, могут использоваться любые высокотемпературные аддитивные установки. Примеры и характеристики таких устройств приведены в таблице ниже [20].

Таблица 1 – Характеристики высокотемпературных 3D принтеров

Название	Страна	Область печати (Д,Ш,В)	Темп. сопла (макс.), С°.	Темп. стола (макс.), С°.	Тем. камеры (макс.), С°.	Кол-во сопел	Прямой отлив (наличие), С°.	Цена (примерно), р.
Creatbot F160 (PEEK version)	Китай	160x160x200 покрытие: стекло	420	160	70	1	нет	160 000
CreatBot F430 (PEEK version)	Китай	400x300x300 покрытие: стекло	420	110	70	2	нет	345 000
CreatBot D600 PRO (D600pro)	Китай	600x600x600 покрытие: стекло	420	100	65	2	нет	865 000
CreatBot PEEK-300 (PEEK 300)	Китай	300x300x400 покрытие: стекло	500	200	120	2	400	1 090 000
Intamsys FUNMAT PRO 610 HT	Китай	610x508x508 покрытие: стекло	500	300	300	2	нет	
Intamsys FUNMAT PRO 410	Китай	305x305x406 покрытие: стекло	450	160	90	2	нет	
Intamsys FUNMAT HT Intamsys FUNMAT HT Enhanced	Китай	260x260x260 покрытие: стекло	450	160	90	1	нет	
Zortrax Endureal	Польша	300x300x400 покрытие: композит	480	220	200	2	нет	
3DGence INDUSTRY F340	Польша	260x300x340 покрытие: стекло	от 275 до 500	от 140 до 160	85	2	нет	
Total Z Anyform 450-PRO HOT+	Россия	450x450x450 вакуумный стол покрытие: стекло, нержавеющая сталь	от 310 до 500	300	от 100 до 300	2	нет	от 4 000 000 до 6 000 000
Ларец	Россия	300x300x300 покрытие: стекло	500	180	130	2	нет	1 500 000
VOLGOBOT A4 PRO	Россия	297x210x210 покрытие: стекло	450	200	120	1 или 2	возможно будет	от 311 000 до 400 000



Рисунок 6 – Аддитивная установка «Ларец» российского производства

Таким образом, использование полиэфирсульфонов в области аддитивных способов является перспективным направлением. Для получения нитей для 3D печати необходимо сконструировать экструдер, способный перерабатывать полимеры с высокотемпературными характеристиками.

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Исходные вещества и растворители

В качестве прототипа использовали полиэфирсульфон, полученный методом высокотемпературной нуклеофильной поликонденсации с использованием следующих реагентов:

- 4,4'-дихлордифенилсульфон (ДХДФС) – это органическое соединение с формулой  $(\text{ClC}_6\text{H}_4)_2\text{SO}_2$ . ДХДФС относится к классу сульфонов и представляет собой твердое вещество белого цвета. ДХДФС широко используется в качестве мономера для жестких и термостойких полимеров, включая ПЭС [21].

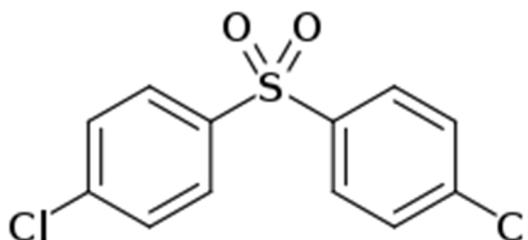


Рисунок 7 – Структурная формула ДХДФС

Синтез ДХДФС осуществляется путем сульфирования хлорбензола серной кислотой. Часто при этом используются различные добавки, чтобы оптимизировать образование 4,4'-изомера:



Он также может быть получен хлорированием дифенилсульфона [22].

Таблица 2– Физические свойства ДХДФС

Химическая формула	$(\text{ClC}_6\text{H}_4)_2\text{SO}_2$
Молекулярная масса	287,15 г/моль
Температура плавления	148 °С
Внешний вид	Твердое вещество белого цвета

- 4,4'-бифенол представляет собой органическое соединение, которое является фенольным производным бифенила. Это бесцветное твердое вещество.

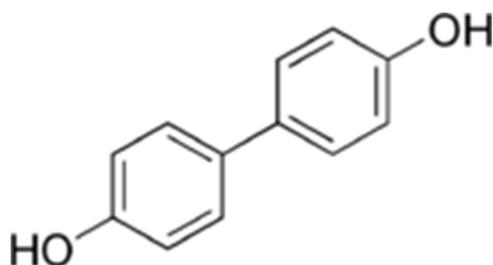


Рисунок 8 – Структурная формула бифенола

4,4'-бифенол может быть получен путем деалкилирования тетра-*t*-бутильного производного, который образуется в результате окислительного соединения 2,6-ди-*t*-бутилфенола. Обычно окислительное соединение фенола приводит к образованию смеси изомеров [23], например, реакция фенолов с  $VCl_4$  может привести к образованию 4,4'-, 2,4'- и 2,2'-бифенолов.



Так же, в качестве мономера для ПЭС распространено применение бисфенола А.

Бисфенол А (2,2-бис(4-гидроксифенил)пропан, дифенилолпропан технический, диан,ДФП) – химическое вещество, обычно имеющее вид гранул белого цвета (1–2 мм). Впервые получен русским химиком Александром Дианиным в 1891 году [24].

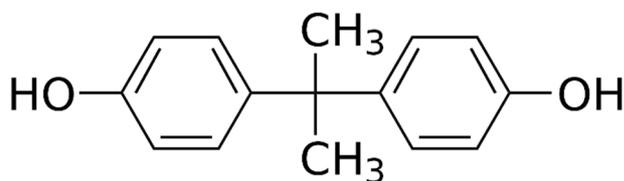


Рисунок 9 – Структурная формула бисфенола А

В промышленности получают методом конденсации фенола с ацетоном в присутствии различных катализаторов, в частности, соляной кислоты:

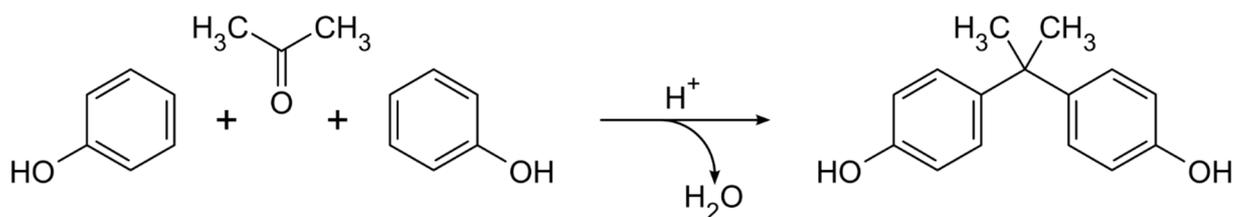


Таблица 3 – Физико-химические свойства бисфенола А

Химическая формула	$C_{15}H_{16}O_2$
Молекулярная масса	228,29 г/моль
Плотность	1,20 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления	152 °С
Внешний вид	Белые кристаллы

- Карбонат калия ( $K_2CO_3$ ) – средняя соль калия и угольной кислоты. Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Малотоксичен, относится к III классу опасности [25].

Таблица 4 – Физико-химические свойства карбоната калия

Химическая формула	$K_2CO_3$
Молекулярная масса	138,205 г/моль
Плотность	2,44 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления	891 °С
Внешний вид	Белые кристаллы

- Щавелевая кислота ( $HOOC-COOH$ ) – сильная органическая кислота, которая относится к классу предельных карбоновых кислот. Принадлежит к группе простейшихдвухосновых карбоновых кислот [26].

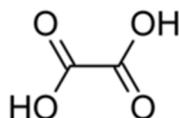


Рисунок 10 – Структурная формула щавелевой кислоты

При стандартных условиях, щавелевая представляет собой кристаллическое вещество белого цвета.

Таблица 5 – Физико-химические свойства щавелевой кислоты

Химическая формула	HOOC—COOH
Молекулярная масса	126,0625 (дигидрат) г/моль
Плотность	1,36 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления	189,5 °С
Внешний вид	Белые кристаллы

• Диметилсульфоксид (ДМСО) представляет собой химическое соединение с формулой (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO. Это бесцветная жидкость без запаха, хотя недостаточно чистый продукт может иметь характерный запах диметилсульфида. ДМСО является важным биполярным апротонным растворителем, который находит широкое применение в различных областях химии. Он обладает высокой растворяющей способностью и хорошей способностью проникать через клеточные мембраны, что делает его полезным для растворения и транспортировки различных веществ. Кроме того, ДМСО также используется в медицине в качестве лекарственного средства [27].

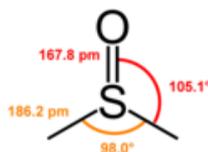


Рисунок 11 – Структурная формула диметилсульфооксида

ДМСО получают, в основном, окислением диметилсульфида. В промышленности этот процесс протекает в присутствии азотной кислоты. ДМСО является побочным продуктом целлюлозно-бумажной промышленности.

Таблица 6 – Физико-химические свойства диметилсульфооксида

Химическая формула	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OS
Молекулярная масса	78,13 г/моль
Плотность	1,1 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления	18,5°С
Внешний вид	Белые кристаллы

• Хлороформ (CHCl<sub>3</sub>) – органическое химическое соединение с бесцветной летучей жидкостью, обладающей эфирным запахом и сладким вкусом [28]. Он практически нерастворим в воде и формирует растворы с массовой долей до 0,23 %. Хлороформ хорошо смешивается с большинством органических растворителей и не горюч. Однако при работе с хлороформом следует быть осторожным из-за возможности образования фосгена, особенно если хлороформ длительное время хранился на свету в теплом месте. Фосген является токсичным веществом и может вызывать отравление. Поэтому необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности при обращении с хлороформом [29].

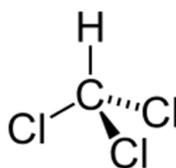


Рисунок 12 – Структурная формула хлороформа

В промышленности хлороформ получают хлорированием метана или хлорметана. Реакция проводится при достижении температуры 400–500 °С. При этом происходит серия химических реакций. Подобное происходит также при освещении смеси ультрафиолетом. Общая реакция:

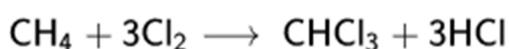


Таблица 7 – Физико-химические свойства хлороформа

Химическая формула	CHCl <sub>3</sub>
Молекулярная масса	119,38 г/моль
Плотность	1,5 г/см <sup>3</sup>
Температура кипения	61,2°С
Внешний вид	Бесцветная жидкость

- Тoluол – бесцветная подвижная летучая жидкость с характерным запахом, проявляет слабое наркотическое действие. Смешивается в неограниченных количествах с углеводородами, многими спиртами, простыми и сложными эфирами, плохо растворяется в воде.

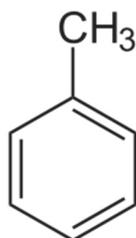


Рисунок 13 – Структурная формула толуола

Толуол образует с водой азеотропную смесь [30]. Толуол можно получить из бензола по реакции Фриделя–Крафтса с использованием трибромид железа в качестве катализатора:

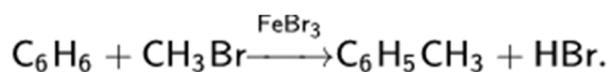


Таблица 8 – Физико-химические свойства толуола

Химическая формула	CHCl <sub>3</sub>
Молекулярная масса	119,38 г/моль
Плотность	1,5 г/см <sup>3</sup>
Температура кипения	61,2°С
Внешний вид	Бесцветная жидкость

## 2.2 Синтез полиэфирсульфонов в диметилсульфооксиде

Получение прототипа полиэфирсульфона осуществляли с использованием следующей методик: в четырехгорлый реакционный сосуд объемом 250 мл, снабженный механической мешалкой, термопарой, капилляром для подачи инертного га- за, ловушкой Дина-Старка и обратным холодильником, загружают 55,8 г (0,3 моль) ДГДФ, 86,1 г (0,3 моль) ДХДФС, 69,1 г (0,45 моль) карбоната калия, 270 мл ДМСО и 100 мл толуола. Реакционную массу нагревают до 135 °С при непрерывном перемешивании в токе инертного газа. После отгонки воды и азеотропообразователя поднимают температуру до 138 °С и проводят синтез до достижения требуемой вязкости. Затем раствор полимера фильтруют от образовавшихся в ходе синтеза солей и высаживают методом распыления в дистиллированную воду. Промывают полимер многократно горячей дистиллированной водой и сушат при температуре 170 °С в вакуумно-сушильном шкафу.

## 2.3 Методы исследования PES

### 2.3.1 ИК спектроскопия

ИК-спектры полученного полимера регистрировали с помощью ИК-Фурье спектрометров Thermo SCIENTIFIC Nicolet 5700 и СИМЕКС ФТ-801 в области 600–4000 см<sup>-1</sup> с помощью Multiple reflection Diamond ATR:

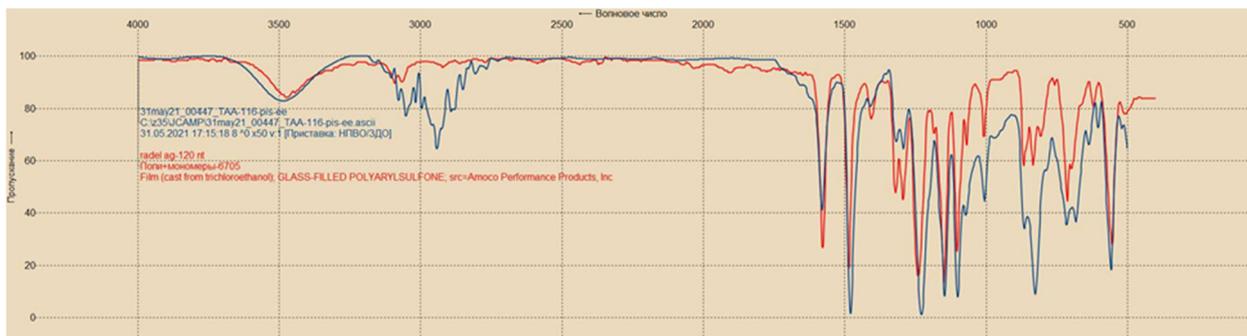


Рисунок 14 - .ИК – спектр ПЭС

С целью подтверждения структуры полученного полимера были получены ИК–спектры.

В ИК–спектре присутствуют скелетные колебания ароматических углерод-углеродных связей с максимумами при 1584 и 1486  $\text{см}^{-1}$ , асимметричные и симметричные колебания группы  $\text{SO}_2$  соответствуют полосы поглощения 1322 и 1294  $\text{см}^{-1}$ , и 1165 и 1148  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Интенсивная полоса 1235  $\text{см}^{-1}$  соответствует асимметричному растяжению колебания группы C–O.

Характеристичные пики синтезированного в лаборатории ПЭС совпадают, с пиками эталонного спектра.

### **2.3.2 Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика:**

В сфере производства и применения термопластов значительную роль играет такой параметр, как температура размягчения по Вика. Задача метода состоит в том, чтобы определить температуру, при которой в постоянно нагреваемый образец индентор проникает на 1 мм в глубину материала. Метод Фрейда Вики не распространяется на ячеистые пластмассы. Метод Лавровой Вики позволяет испытывать термопласты в жидкой среде (реже в воздушной), кроме того, метод Вика требует тщательного отбора образцов и регулируется ГОСТ 15088-83.

Теплостойкость синтезированных полимеров на лабораторной установке измерялось согласно ГОСТ 15088-83.

На латунном блоке полимер начал переходить в вязко-текучее состояние при температуре в 235 °С. Однако в вязко-текучее состояние он переходит при температуре свыше 270 °С. Что позволяет принимать верными справочные значения о термомеханической кривой PES:  $t_{\text{стекл}} = 230^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{расплава}} = 340 \dots 380^\circ\text{C}$ .

### **2.3.3 Показатель текучести расплава (ПТР)**

Величина ПТР является параметром, определяющим выбор способа переработки термопласта. Метод оценки ПТР стандартизован ГОСТом 11645-73, которому соответствует европейский стандарт ИСО 1133-76, американский АСТМВ 1238-73 и стандарт Германии ВШ 53735. Для определения значения ПТР используют прибор ИИРТ, на котором реализуется стандартная методика. Действие прибора основано на принципе капиллярного вискозиметра.

Исследование показателя текучести расплава (ПТР) на приборе ИИРТ-5 не удалось, так как полученный полимер сгорает при температуре 350 °С, что не соответствует известным в литературе характеристикам PES. Возможны ошибки при подготовке образца. По этой причине был принят справочный ПТР, 4,6 г/10 мин.

### **2.3.4 Определение молекулярной массы**

Молекулярную массу определяли методом вискозиметрии. Для определения вязкости раствора полимера измеряли время истечения  $t_0$  и  $t$  равных объемов растворителя и раствора через капилляр вискозиметра при заданной постоянной температуре. Концентрация раствора обычно выражают в г/100 мл. Полученное данным методом значение ММ равно 30 278 г/моль.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Эффективное ресурсопотребление и ресурсосбережение природных ресурсов являются достаточно актуальной проблемой. В последнее время коммерческая ценность разработки определяет перспективность научного исследования, что является неотъемлемым условием при выполнении поиска источников финансирования для реализации научного исследования и коммерциализации его результатов.

Суть работы заключается в получении нити ПЭС для аддитивных установок и его дальнейшее применение.

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Для этого приведена карта сегментирования рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид ниши для применения (рисунок 1).

		Ниши для применения		
		Биопротезы	Лабораторное оборудование	Термоэлектроприборы
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рисунок 19 – Карта сегментирования рынка ниш для применения нитей ПЭС

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

В процессе выполнения и развития научных исследований, а также внедрения в производство, необходимо учитывать конкурентоспособность продукта. Систематический мониторинг и анализ рынка дает более полное представление об ресурсоэффективности, преимуществах и недостатках продукта по сравнению с его конкурентами.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценка производится по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная позиция. Вес критериев, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В таблице 10 приведена оценка конкурентов, где  $\Phi$  – разрабатываемый проект на основе нитей ПЭС,  $K1$  – проект на основе нитей РЕЕК,  $K2$  – проект на основе нитей из поликарбоната.

Таблица 10 – Оценочная карта сравнения технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_\Phi$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_\Phi$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Термостойкость	0,15	4	4	4	0,60	0,60	0,60
2. Прочность	0,17	5	5	4	0,85	0,85	0,68
3. Биоинертность	0,17	5	4	5	0,85	0,68	0,85

4. Химическая инертность	0,16	4	3	3	0,64	0,48	0,48
5. Устойчивость к агрессивным средам	0,15	4	4	4	0,60	0,60	0,60
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Доступность исходного сырья	0,20	4	4	3	0,80	0,80	0,60
Итого	1	26	24	23	4,34	4,01	4,00

Анализируя полученные данные таблицы 1, можно сделать вывод о эффективности разрабатываемого проекта. Преимущество данного проекта заключается в химической инертности продукта, а также имеет высокие показатели по другим критериям.

#### **4.1.3 Диаграмма Исикава**

С целью установления причинно-следственных связей, возникающих в ходе выполнения разработки нити ПЭС для аддитивных установок и изучение ее методов переработки сформирована диаграмма Исикава. Основными факторами, влияющими на объект исследования, являются методы, персонал, оборудование и материалы.



Рисунок 20 – Причинно-следственная диаграмма

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

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

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

Таблица 11 – Оценка степени готовности 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	2	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
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	2	2

13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	Итого баллов	46	45

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (2)$$

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

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге выходит, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования, для дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынка сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки, проработать вопросы международного сотрудничества и выход на зарубежный рынок.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности, преследует

вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации.

Из всех существующих методов коммерциализации научной разработки самым подходящим для нашего случая является инжиниринг.

Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции. Такой выбор связан с тем, что расчет экструдера для нитей ПЭС разрабатывается на основе экспериментальных данных, взятых непосредственно с цеха предприятия. Поэтому разработка является актуальной для одного определенного предприятия, что связано с различными условиями проведения процесса. Предприятие и исполнители научного проекта заранее договариваются о предоставлении последними услуг по повышению эффективности процесса, а производитель в свою очередь предоставляет данные для НИИ.

## **4.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

В таблице 3 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 3 – Цели и результат проекта

Цель проекта:	Получение нити ПЭС для аддитивных установок и его дальнейшее применение
Ожидаемые результаты:	Конструкционный расчет экструдера с использованием исходных данных
Критерии приемки результата проекта:	Получить нить ПЭС, которая будет соответствовать заданным механическим характеристикам
Требование к результату проекта:	Требование:
	Провести анализ методов получения нити ПЭС и выбрать наиболее оптимальный
	Провести анализ рынка и определить области применения продукта
	Провести исследования физико-механических свойств нити
	Выявить факторы, влияющие на внешние механические характеристики нити

### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы: иерархическая структура работ проекта, план проекта и бюджет научного проекта.

### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 3 представлена ИСР по проекту.



Рисунок 21 – Иерархическая структура работ

### 4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта. Календарный план представлен в виде диаграммы Ганта в таблице 2.

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

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



– Руководитель (Троян А.А.)



– Инженер (Сыдык Ж.)





### 4.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям:

1. Основная заработная плата.
2. Дополнительная заработная плата.
3. Отчисления на социальные нужды.
4. Накладные расходы.

#### Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5)$$

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

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

при отпуске в 28 раб. дней  $M = 11,1$  месяца, 6-дневная неделя;

при отпуске в 56 раб. дней  $M = 10,1$  месяца, 6-дневная неделя.

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (6)$$

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

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

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат;

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

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	0	0

Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275
--	-----	-----

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_M = Z_B \cdot k_p, \quad (7)$$

На данный момент должностной оклад доцента (кандидата наук) в 2023 году без учета РК составляет 39 300 руб. Оклад инженера-химика составляет 26 100 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_B$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	39 300	–	–	1,3	51 090	2 055,8	152	312 484
Инженер	26 100	–	–	1,3	33 930	1 369,5	402	550 539

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (8)$$

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

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 15 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 15 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	312 484	550 539
Дополнительная зарплата (12 %)	37 498	66 065
Итого по статье	349 982	616 604

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (9)$$

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

На 2014 г в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 № 212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 349\,982 = 104\,995 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 616\,604 = 184\,981 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды составляют 289 976 руб.

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, равный 0,8.

Расчет накладных расходов составляет:

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (863\,023 + 103\,563) = 773\,268 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты проекта и его себестоимость представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты проекта по статьям

Статьи	Сумма, руб
1. Основная заработная плата	863 023
2. Дополнительная заработная плата	103 563
3. Отчисления на социальные нужды	289 976
4. Накладные расходы	773 268
5. Итого плановая себестоимость	2 029 829

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

### 4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

Где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля). Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (12)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы, которая представлена ниже (таблица 17).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Безопасность	0,20	5	4
2. Простота и доступность	0,15	4	4
3. Надежность	0,20	5	4
4. Энергосбережение	0,22	5	4
5. Температура эксплуатации	0,23	5	5
Итого	1	24	21

$$I_m^p = 0,20 * 5 + 0,15 * 4 + 0,20 * 5 + 0,22 * 5 + 0,23 * 5 = 4,85$$

$$I_m^a = 0,20 * 4 + 0,15 * 4 + 0,20 * 4 + 0,22 * 4 + 0,23 * 5 = 4,23$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{4,85}{4,23} = 1,15$$

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

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