

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
Термомеханическая переработка вторичного полиэтилентерефталата и получение композиционных материалов на его основе

УДК 678.674'524'420:621.763

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович		

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	Криницина 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		

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действия
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая 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
Общепрофессиональные компетенции	
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
Профессиональные компетенции	
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

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

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

Обучающийся

Группа	ФИО
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович

Тема работы

Термомеханическая переработка вторичного полиэтилентерефталата и получение композиционных материалов на его основе
--

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	Проведение экспериментальных исследований	45
01.02.2023- 01.03.2023	Обсуждение полученных экспериментальных результатов. Написание тезисов докладов по материалам работы	15
22.05.2023	Написание разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность»	20
01.06.2023	Сдача готовой работы	

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

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	Елисеев Алексей Александрович		

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.

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы магистранта

Обучающийся

Группа	ФИО
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович

Тема работы:

Термомеханическая переработка вторичного полиэтилентерефталата и получение композиционных материалов на его основе	
Утверждена приказом директора (номер, дата)	№ 32-59/с от 01.02.2023

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:	1. Объект исследования: композиционные материалы на основе вторичного ПЭТФ; 2. Исходное сырье / целевой продукт: вторичный ПЭТФ, зола, стекловолокно, углеволокно / композиты на основе вторичного ПЭТФ; 3. Требования к продукту: получение жесткого конструкционного материала;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный и патентный обзор по тематике исследования. 2. Экспериментальная часть (проведение лабораторных исследований). 3. Результаты исследования и их обсуждение. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

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

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницина З.В.
Социальная ответственность	Сечин А.А.
Раздел на иностранном языке	Сыскина А. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
На русском языке: введение, литературный обзор, экспериментальная часть, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение На английском языке Thermomechanical processing of recycled polyethylene terephthalate and production of composite materials based on it	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	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	Елисеев Алексей Александрович		01.10.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Диаграмма Исикавы
3. График проведения проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович

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

Тема ВКР:

Термомеханическая переработка вторичного полиэтилентерефталата и получение композиционных материалов на его основе	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/ при эксплуатации 	<p>Объект исследования: вторичный полиэтилентерефталат</p> <p>Методика: разработка композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ;</p> <p>Рабочая зона: лаборатория ОХИ ТПУ. Научный парк ТПУ;</p> <p>Область применения: Волокно, упаковочная лента, различные преформы.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>- «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 01.04.2019).</p> <p>- ГОСТ 12.0.004-90. «Организация обучения безопасности труда».</p> <p>– - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</p>
<p>2. Производственная безопасность:</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"> - отклонение показателей микроклимата; - превышение уровня шума; - недостаточная освещенность рабочей

	<p>зоны;</p> <p>- химические вещества.</p> <p>Опасные факторы: неисправность электрооборудования.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Гидросфера: попадание пластика и армирующих элементов в воду</p> <p>Литосфера: загрязнение почвы пластиком (полиэтилентерефталат).</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - внезапное отключение электроэнергии; - выход оборудования из строя; - возгорание оборудования; - резкое ухудшение состояния сотрудника. <p>– Наиболее вероятная ЧС: пожар.</p>

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.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ11	Елисеев Алексей Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 129 страниц, 23 рисунка, 39 таблиц, 56 источников.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, зольный концентрат, углеродное волокно, стекловолокно.

Объектом исследования является вторичный полиэтилентерефталат и композиционные материалы на его основе.

Цель работы заключается в создании композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ.

В результате проведенных исследований отработана методика создания композиционных материалов на основе вторичного полиэтилентерефталата.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ударная вязкость, прочность при растяжении, прочность на изгиб.

Степень внедрения: результаты работы могут быть взяты за основу промышленного получения композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ и их дальнейшее применение.

Область применения композитов на основе вторичного ПЭТФ заключается в использовании его в качестве волокон, упаковочной ленты, преформ, строительных материалов.

Экономическая эффективность работы: низкая стоимость побочного продукта.

В будущем планируется провести дополнительные исследования и отработать технологию получения композитов на основе ПЭТФ в промышленных масштабах.

Оглавление

1 Теоретическая часть	12
1.1 Химизм процесса	14
1.2 Характеристики ПЭТ	16
1.3 Производство ПЭТ	18
1.4 Применение ПЭТ	20
1.5 Способы переработки отходов ПЭТ	28
1.6 Проблемы при переработке ПЭТ	39
1.7 Компаундирование с другими компонентами для получения композиционных материалов	40
2 Объекты и методы исследования	44
2.1 Материалы и реактивы	44
2.1 Методика определения показателя текучести расплава	48
2.2 Методика получения регранулята	51
2.2 Методика получения композиционных материалов в виде плиток	51
2.2 Методика измерения прочности при растяжении	52
2.3 Методика определения прочности при изгибе	55
2.4 Методика определения ударной вязкости	57
3 Обсуждение результатов	60
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	69
4.1 Предпроектный анализ	69
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	70
4.1.3 SWOT-анализ	72
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	75
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	78
4.2 Инициация проекта	78
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	81
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта	81
4.3.2 План проекта	82
4.4 Бюджет научного исследования	83
4.4.1 Организационная структура проекта	89
4.4.2 План управления коммуникациями проекта	89
4.4.3 Реестр рисков проекта	89
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	90

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	90
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	96
5 Социальная ответственность	100
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
5.2 Производственная безопасность	104
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	110
5.2.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.....	110
5.3 Экологическая безопасность.....	112
5.3.1 Влияние объекта исследования на гидросферу	112
5.3.2 Влияние объекта исследования на литосферу.....	112
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	112
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	113
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	113
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследования	113
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	113
Список литературы	116

1 Теоретическая часть

Полиэтилентерефталат (полиэтиленгликольтерефталат, ПЭТФ, ПЭТ, ПЭТГ, лавсан, майлар) – термопластик, наиболее встречающийся представитель класса полиэфиров, известен под разными фирменными названиями. Является продуктом поликонденсации терефталевой кислоты (или её диметиловым эфиром) с этиленгликолем; в аморфном состоянии представляет собой прозрачное, достаточно твёрдое и бесцветное вещество, а в кристаллическом состоянии наоборот является непрозрачным. Процесс перехода в прозрачное состояние осуществляется при нагревании до температуры стеклования, и вещество остаётся в нём при мгновенном охлаждении и быстром переходе через так называемую «зону кристаллизации». Длина молекулы полимера определяет если не самый, то один из важнейших параметров ПЭТ, которым является характеристическая вязкость. При увеличении вышеупомянутой вязкости начинает снижаться скорость кристаллизации вещества. Полиэтилентерефталат достаточно хороший диэлектрик, устойчив к износу, а также прочен [1].

В 1935 г. в Великобритании Уинфилдом и Диксоном, в фирме Calico Printers Association Ltd были начаты первые исследования полиэтилентерефталата. А уже 29 июля 1941 года были поданы заявки на патенты по синтезу ПЭТФ, а уже в середине 1943 года 23 августа они были зарегистрированы. Публикация их произошла уже в 1946 году.

В Советском Союзе первый ПЭТФ получили в 1949 году в Лабораториях Института Высокомолекулярных соединений Академии наук СССР (поэтому назвали лавсан).

В 1973 году была запатентована известная всем ПЭТ-бутылка. Уже к 1977 году использованную ПЭТ-тару начали промышленно перерабатывать. Бутылки из ПЭТФ были дешевые и практичные, поэтому они быстро распространялись и становились популярны в мире. Во многих уголках мира

переработке ПЭТ-тары уделяют особое внимание, например, ее собирают отдельно от всего остального бытового мусора [1].

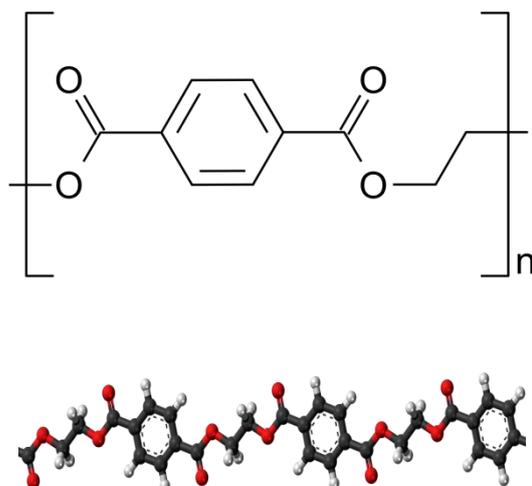


Рисунок 1 – Структурные формулы полиэтилентерефталата [1]

В настоящее время темпы роста производства, переработки и потребления полимерных материалов в России ежегодно увеличиваются. Вместе со спросом на полиэтилентерефталат (ПЭТФ) увеличивается и количество отходов, которое уже достигает 30 % от всех отходов пластмассы в мире. Поэтому формирование рынка вторичного ПЭТФ и изделий на его основе, тесно связано как с экологическими, так и с экономическими аспектами [1].

Процесс переработки отходов ПЭТФ является довольно сложным с технологической точки зрения, и включает различные способы (химический, энергетический, механический). Переработка предварительно очищенных отходов ПЭТФ термомеханическим способом является наиболее предпочтительным способом, так как позволяет перерабатывать значительное количество отходов, с получением гранулята, а применение разнообразных добавок, делает его качество выше и увеличивает область применения. Данный способ представляет собой технологическую цепочку, в соответствии с которой измельченные отходы ПЭТФ последовательно расплавляются, гомогенизируются и фильтруются в экструдере [2].

1.1 Химизм процесса

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – это полимер терефталевой кислоты и этиленгликоля. Существует три метода получения полиэтилентерефталата:

- 1) из хлоргидрида терефталевой кислоты и гликоля, в среде инертного растворителя, в присутствии щелочного катализатора;
- 2) полиэтерификация терефталевой кислоты и гликоля, взятых в избытке, в присутствии катализатора этерификации; и
- 3) трансэтерификация диметилтерефталата этиленгликолем и поликонденсация полученного дигликольтерефталата.

Первые два метода не получили широкого распространения из-за ограниченных ресурсов используемого сырья (хлоргидрида терефталевой кислоты), того факта, что терефталевая кислота не плавится (растворяется при 300°C) и не растворяется в этиленгликоле, что делает процесс проблематичным для реализации. Из трех методов первый наиболее широко используется в промышленности.

ПЭТ синтезируется путем поликонденсации кристаллической терефталевой кислоты (также может использоваться ее диметиловый эфир) с жидким этиленгликолем. Синтез может осуществляться в периодическом или непрерывном режиме и включает две стадии: этерификацию терефталевой и изофталевой кислот этиленгликолем и поликонденсацию в присутствии катализатора триоксида сурьмы [2].

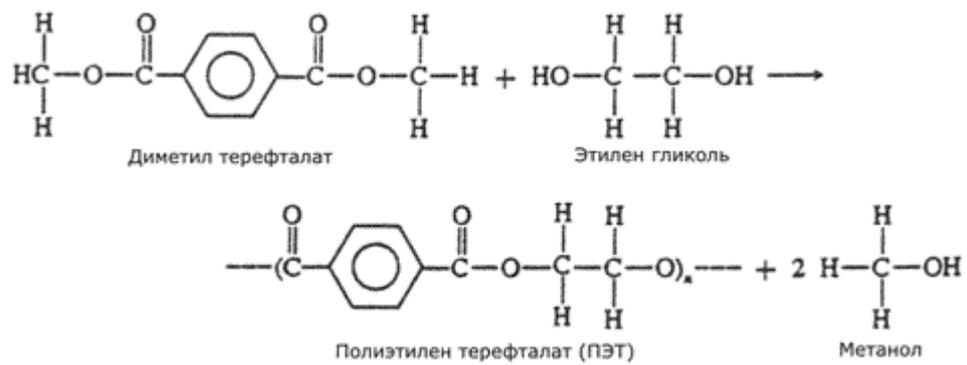
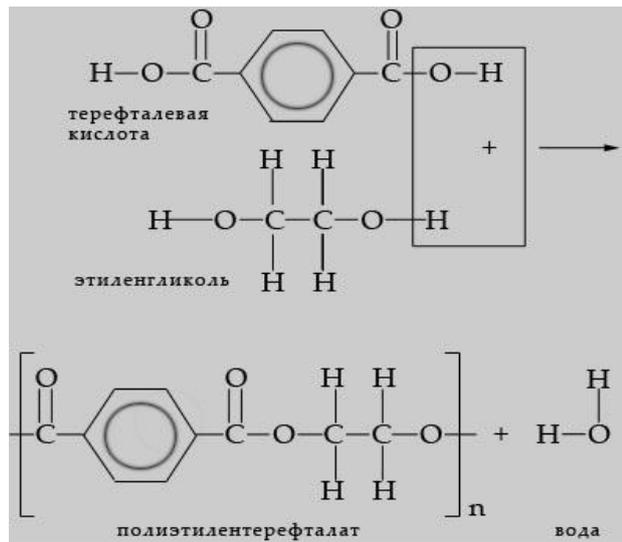


Рисунок 2 – Реакции получения полиэтилентерефталата [2]

1.2 Характеристики ПЭТ

Полиэтилентерефталат химически устойчив к жирам, спиртам, бензину, маслам, эфирам, щелочам и разбавленным кислотам. ПЭТ нерастворим в воде и органических растворителях, кроме фенолов и их алкильных групп и хлорированных аналогов, бензилового спирта, хлороформа, анилина, ПЭТ растворим в дихлоруксусной кислоте, хлорсульфоновой кислоте и пиридине при температуре от 40 до 150 °С. ПЭТ не устойчив к сильным кислотам, кетонам и щелочам. Напротив, он обладает повышенной устойчивостью к водяному пару.

Аморфный ПЭТ твердый, серо-желтый и прозрачный, а кристаллический ПЭТ твердый, непрозрачный и бесцветный; ПЭТ имеет низкий коэффициент трения (как и марки, содержащие стекловолокно); ПЭТ подвергается термической деструкции, которая происходит статистически вдоль полимерной цепи в диапазоне температур 290-310°С. Образуются летучие продукты реакции, такие как уксусный альдегид, монооксид углерода и терефталевая кислота; при температуре до 900°С выделяется ряд различных углеводородов, большинство из которых являются летучими продуктами, включающими диоксид углерода, метан и монооксид углерода.

Чтобы предотвратить окисление ПЭТ используется обширный ряд антиоксидантов, которые используются при переработке [3].

Таблица 1 – Характеристики полиэтилентерефталата [3]

Коэффициент теплового расширения (расплав)	$6,55 \cdot 10^{-4}$
Сжимаемость (расплав), Мпа	$6,99 \cdot 10^6$
Плотность, г/см ³ : аморфный, кристаллический	1,335; 1,420
Диэлектрическая постоянная (23 °С, 1 кГц)	3,25
Относительное удлинение при разрыве, %	12–55
Температура стеклования, аморфный, кристаллический	67, 81
Температура плавления, °С	250–265
Температура разложения	350 °С
Показатель преломления (линия Na): аморфный, кристаллический	1,576; 1,640
Модуль упругости при растяжении, МПа	$1,41 \cdot 10^4$
Влагопоглощение	0,3 %
Допустимая остаточная влага	0,02 %
Морозостойкость, до	-50 °С

Вторичный ПЭТ уступает по своим свойствам первичному полимеру, он обладает худшими термическими свойствами, менее устойчив к растяжению и изгибу. Но, тем не менее, к преимуществам, которыми обладает гранулят вторичного ПЭТ, можно отнести достаточно высокую стойкость материала к износу, воздействиям химического и механического характера.

1.3 Производство ПЭТ

Технологический процесс получения полиэтилентерефталата из диметилтерефталата и этиленгликоля состоит из стадий:

- подготовки сырья;
- переэтерификации диметилтерефталата этиленгликолем;
- поликонденсации дигликольтерефталата;
- охлаждения и измельчения полимера.

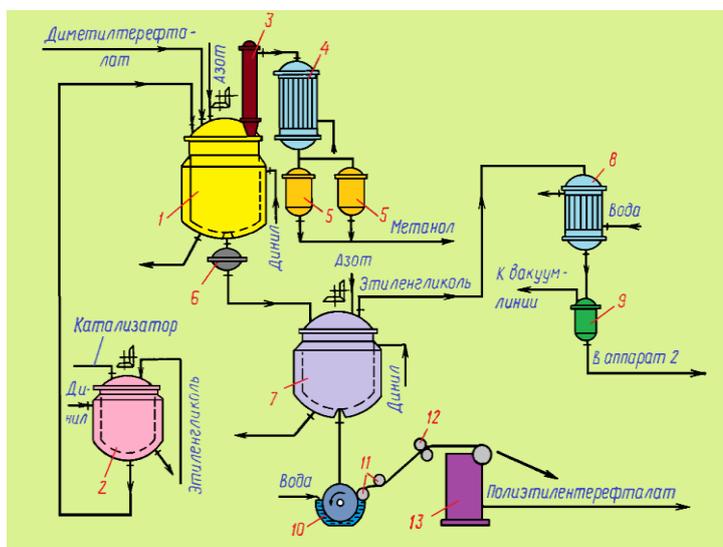


Рисунок 3 – Схема производства полиэтилентерефталата:

1 – реактор переэтерификации; 2 – аппарат для растворения катализатора; 3 – насадочная колонна; 4, 8 – холодильники кожухотрубные; 5 – приемник метанола; 6 – фильтр сетчатый; 7 – реактор поликонденсации; 9 – вакуум-приемник этиленгликоля; 10 – охлаждающий барабан; 11 – направляющие валки; 12 – тянущие валки; 13 – рубильный станок [4]

Диметилтерефталат загружается в реактор 1, предварительно нагретый до 140°C. Одновременно готовится раствор катализатора в этиленгликоле. Осуществляется это в аппарате 2. Этиленгликоль нагревается до 125 °С и тщательно перемешивается, при этом в этот момент в него вводят ацетат цинка, являющийся катализатором. Далее полученный раствор из аппарата 2 подают в реактор 1. Нормы, используемые при загрузке, следующие:

- Этиленгликоль – 100
- Диметилтерефталат – 80
- Ацетат цинка – 0,01

В течение 4–6 часов, при температуре 200–300 °С, в токе азота или же диоксида углерода проводят переэтерификацию. Насадочная колонна 3, которой снабжен автоклав, служит для разделения паров гликоля и метанола. В холодильнике 4 пары, выделившегося метанола охлаждаются и далее собираются в приемниках 5. При этом диметилтерефталат, который возгоняется, гликолем смывается с колец Рашига и возвращается назад в реактор 1. После того как отогнали метанола, реактор и всё содержимое в нем нагревают до 260–280 °С. Далее избыточный этиленгликоль отгоняют, а расплавленный продукт через металлический сетчатый фильтр 6 продавливают в реактор 7, где проходит поликонденсация. После того как загрузили реактор 7 в течение получаса-часа при полном вакууме отгоняют остатки этиленгликоля. Процесс поликонденсации проводят в течение 3–5 часов при температуре 280 °С до того, пока не получится расплав нужной вязкости. Расплавленный ПЭТФ давят сжатым азотом через щель в виде плёнки и подают на барабан 10, который находится в ванне с холодной водой. Лента, получившегося полиэфира идёт на рубильный станок 13, далее на подсушку, а затем уже на упаковку. Молекулярная масса получившегося ПЭТ примерно составляет от 15000 до 30000 [3].

Чтобы утилизировать отходы производства, ПЭТ разлагают деструктурирующими агентами, такими как щелочь, метанол или гидразин. Проводя метанолиз ПЭТ под давлением 27 атмосфер, 280 °С и времени равном 3- 6 часов образуется диметилтерефталат с выходом равным 80%. Расщепление отходов ПЭТ при нагревании его с этиленгликолем до олигомеров или ди(β -оксиэтил)терефталата возможно успешно сделать за 30-40 мин, если процесс проводить с катализатором [например, 0,5% (масс.) карбоната или ацетата цинка]. Мономеры, которые получились при этом, можно снова использовать при синтезе полимера.

При добавлении к ПЭТ фосфорной кислоты, *n*-изобаронилфенола или скажем эфиров фосфорной кислоты материал становится термостабильней [4].

1.4 Применение ПЭТ

Переработка ПЭТФ осуществляется экструзией, литьём под давлением или формованием. Если производить экструзию с охлаждением при 20–25 °С, то можно получить волокна и тонкие плёнки.

Преформы для ПЭТ-бутылок в большинстве случаев производят литьём под давлением. Редко, когда для таких целей используют, уже ставшую традиционной схему литья пластмасс, а именно термопластавтомат + литьевая форма. В наше время наиболее распространены спец. комплексы для производства преформ, в которые входят скоростной ТПА, холодильники, система роботов и сложная пресс форма, то есть всё необходимое для интенсивного производства изделий.

Из-за достаточно широкого спектра свойств и возможности изменять кристалличность, полиэтилентерефталат находит различные области применения. Основу составляет ПЭТ-тара, в том числе бутылок для газированных напитков, из-за прекрасных барьерных свойств, присущих материалу. Для этого дела полиэтилентерефталат в аморфном состоянии подвергается двуосному растяжению при температуре выше температуре стеклования, дабы создать кристалличность.

Существуют и другие области применения, такие как электроизоляция, текстильные волокна, а также изделия, которые получают раздувным формованием. Здесь лидируют сополимеры ПЭТФ.

Примером изделий из ПЭТ могут служить: детали кузова автомобиля; корпуса швейных машин; ручки электрических и газовых плит; детали двигателей, насосов, компрессоров; детали электротехнического назначения; различные разъемы; изделия медицинского назначения; упаковка из ПЭТ; ПЭТ-преформы и многое другое. Бутылки для газированных напитков делают из смеси ПЭТ и ПЭН (полиэтиленнафталат). Полиэтиленнафталат материал более дорогостоящий, но при этом кристаллизуется медленнее ПЭТ, а также медленнее стареет [3].

Возможные области применения вторичного ПЭТ:

Волокно. Более половины вторичного ПЭТ применяется для изготовления волокон, находящихся самое различное использование. Из данных волокон делают геотекстильные полотна, автокомпоненты (ковры, обивка), ковровые покрытия для жилых и офисных помещений и др. Волокна, имеющие большой диаметр применяются в производстве утеплителей спортивной одежды и спальных мешков, а также используются как наполнитель мягких игрушек. Сегодня всё чаще мы видим применение вторичного ПЭТФ в качестве щетины с диаметром волокна 0,1-0,2 мм. Эта щетина служит материалом для щеток различного назначения. Объемы этого рынка производств, а также потенциал развития внушительны, но в данной области находят применение и полипропилен и полиамид, но значительно реже. Если диаметр волокон меньше, то они используются в качестве материала для производства искусственной шерсти (флиса) при изготовлении шарфов, трикотажных рубашек и свитеров. Скажем для производства одного теплого свитера из флиса потребуется переработать 25 ПЭТ бутылок. Данные ткани могут состоять полностью из вторичного материала. ПЭТ-волокно наряду с другими синтетическими волокнами более предпочтительно, так как ПЭТ-волокна легче окрашиваются, чем ПА-волокна, а ковры, сделанные из флиса, сохраняют цвет и не требуют специальной химической обработки, необходимой коврам на основе ПА-волокон.

Нетканые полотна, произведенные на основе ПЭТ-волокон по технологии melt-blown, используются для производства звукопоглощающих материалов, геотекстиля, фильтрующих и абсорбирующих элементов, синтепона. Это стало возможным благодаря низкой вязкости вторичного ПЭТ, которое обеспечивает легкость раздува при минимальной толщине волокон в 15 мкм при производстве нетканого материала.

Вопрос развития производства волокон и нитей из ПЭТ в России стоит довольно остро, так как на фоне мирового производства мы считаемся отстающими. Еще недавно в нашей стране производилось 25 тысяч тонн

шпательного ПЭТ-волокна, при этом нами закупалось 100 тысяч тонн продукции, половина из которых шла из Белоруссии. Сейчас в России реализуются (или предпринимаются попытки реализации) ряд проектов по производству полиэфирных волокон (главным сырьем которых является ПЭТ). Например, компания Сибур в 2009 году осуществила инвестиционный проект по созданию производства кордных тканей и высокопрочных технических нитей с мощностями в 12 тысяч тонн в год, дабы удовлетворить полностью потребности всех шинных заводов холдинга в корде. Был налажен выпуск из очищенных ПЭТ-хлопьев от использованных бутылок шпательного волокна компанией ООО «СеленаХимволокно». Мощность нового производства составила 5 тысяч тонн в год, а линейная плотность волокна колеблется от 33 до 87 текс. Также шпательное волокно начало производится в Ивановской области по программе расширения производства хим.волокон, базирующихся на новых заводах.

Сейчас ООО Елабужский завод армирующих полимерных тканей «КРЕЗ» разработал инвест. проект «Производство полиэфирных нитей и технических тканей на их основе». Мощности этого проетка достигают 12 тысяч тонн в год. Это прежде всего высокомодульные малоусадочные кордные нити и высокопрочные тех. нити, являющиеся сырьём при производстве тканей для шинного корда, конвейерных лент, тентов и баннеров и геотекстиля. ОАО «Комитекс» (Республика Коми), ЗАО «РБ-Групп» (г. ГусьХрустальный, Владимирская обл.), ООО «Детская одежда» (на базе ООО «Камешковская прядильноткацкая фабрика», Владимирская обл.) – это компании, которые являются наиболее известными представителями переработки вторичного ПЭТ в волокно.

Упаковочная лента. Рынок упаковочной ленты продолжает динамично расти, и это неудивительно. Упаковочная лента широко используется в различных отраслях по всему миру для упаковки, транспортировки и закрепления грузов разных видов. Она обеспечивает сохранность товарного вида груза и его безопасность во время перевозки. Большинство упаковочных

ПЭТ-лент производится из вторичного ПЭТ, что делает их более экологичными.

В России спрос на упаковочную ленту превышал предложение еще несколько лет назад. Несмотря на создание новых производственных мощностей, дефицит сохранялся. Финансовый кризис временно сбалансировал спрос и предложение, однако после его окончания может возникнуть новый дисбаланс. Для того чтобы удовлетворить все потребности рынка, необходимо создание дополнительных производственных мощностей.

Рынок упаковочной ленты ПЭТ растет благодаря ее более высоким техническим характеристикам по сравнению с лентами из других материалов: прочность ленты ПЭТ сопоставима со стальной лентой при ширине от 450 до 600 Н/мм.

- Прочность ПЭТ-лент сравнима со стальными лентами, ширина которых составляет 450-600 Н/мм (прессованные стальные ленты имеют прочность 450-750 Н/мм).
- Стоимость упаковки товаров с помощью ПЭТ-лент на 20-30% ниже, чем с помощью стальных лент;
- ПЭТ-лента устойчива к атмосферным осадкам и не загрязняет груз (стальная лента корродирует);
- ПЭТ-лента в семь раз легче стальных лент и не имеет острых краев, что снижает риск получения травм на производстве;
- ПЭТ лента эластична, что означает, что груз не повреждает ПЭТ ленту и нет необходимости использовать прокладки между упакованным товаром и лентой;
- ПЭТ-лента имеет высокое упругое удлинение (8-12%), что позволяет ей растягиваться во время погрузки (если упаковка деформирована) и после снятия груза возвращаться в исходное положение при разрыве стальных полос (хотя этого можно избежать, используя более прочные стальные полосы, (что значительно увеличивает стоимость упаковки).

- ПЭТ-лента может выдерживать значительно более высокие температуры. Поэтому при сушке древесины в сушильной камере упаковочные ленты с низкой эластичностью склонны к провисанию, что требует повторного затягивания ленты и переупаковки всей упаковки. В этом отношении ПЭТ-лента продолжает прочно держаться по периметру пакета, экономя время и упаковочные материалы;
- ПЭТ-лента чувствительна к УФ-излучению (в отличие, например, от ПП-ленты);
- По сравнению с полипропиленом, ПЭТ лента морозостойчива и выдерживает температуру до минус 45°C, что позволяет использовать ее в условиях низких температур и северных регионах; Основными игроками в данном секторе вторичного рынка ПЭТ являются ОАО «Косулинский абразивный завод» (Свердловская область), ООО CANNET (Тверь) и ООО «Максипласт» (Голицыно, Московская область).

Преформы используется частично переработанный ПЭТ, но его качество относительно низкое, и выдув больших емкостей невозможен. Кроме того, использование таких заготовок приводит к высокому уровню дефектов при выдуве. Однако ряд компаний успешно производят техническую тару для жидкостей из переработанного ПЭТ. Таким образом, рынок технических преформ может хорошо обслуживаться переработанным ПЭТ. Технология химической переработки из бутылки в бутылку, разработанная компанией Bühler в Германии, сочетает в себе различные методы для получения материала, который может быть снова использован для производства пищевой упаковки и бутылок для напитков, так как при этом получается высококачественный вторичный ПЭТ с практически идентичными свойствами первичного ПЭТ. Так называемая технология многослойной переработки, при которой переработанный ПЭТ помещается между двумя слоями первичного полимера, широко используется за рубежом. Многослойные бутылки содержат до 50% масс.% переработанного ПЭТ, в то время как отдельные контейнеры содержат больше переработанного материала (преформы, произведенные по

традиционной технологии, содержат только 5-8% масс.% переработанного ПЭТ). ООО «Плалус» – единственная компания в России, освоившая эту технологию.

Строительная продукция. В 2007 году специалисты Московского государственного института стали и сплавов и Научно-исследовательского инновационного центра «Технология новых экологически чистых композиционных материалов» разработали технологию производства плитки, труб, тротуарной плитки и электроизоляторов из переработанных ПЭТ-бутылок, одноразовых стаканчиков, битого кирпича и золы ПЭТ не гниет, не ржавеет и почти не окисляется, что оказалось важным фактором в данной разработке. Эта технология также отличается от других технологий с точки зрения экономической эффективности.

В то время как переработка использованных изделий из ПЭТ в другие продукты требует дробления, промывки и обезжиривания вторичных материалов, ПЭТ-бутылку необходимо измельчить и сразу же пустить в производство для использования в качестве строительного материала.

Свойства и области применения будущих композитных материалов будут во многом зависеть от наполнителя. Битый кирпич можно использовать для изготовления кровельной черепицы, а из опилок можно сделать материал, похожий на ДСП, но в отличие от них совершенно безопасный для здоровья. Зола, остающаяся в качестве побочного продукта теплоэлектростанций, может использоваться в качестве наполнителя для изготовления теплоизоляции, свойства которой не уступают свойствам обычных материалов, но дешевле. Песок, битое стекло и мраморная крошка также могут быть использованы в качестве наполнителя. Для получения готового продукта сырье (переработанный ПЭТ с наполнителями и минеральными красителями, где это необходимо) тщательно перемешивается и нагревается до размягчения ПЭТ, но не до плавления. Затем полученная масса прессуется в готовый продукт, обладающий прочностью, твердостью, долговечностью, гигроскопичностью, тепло- и электропроводностью.

Свойства готового компонента зависят от состава, температуры и давления прессования исходной смеси. В качестве связующих при производстве полимербетона используются отходы ПЭТ и минеральные наполнители (зола, песок). Полимербетон долговечен, легок, быстро затвердевает и образует прочное сцепление с поверхностью бетона. Он используется в качестве защитного слоя для промышленных полов, так как его можно наносить и сразу же ремонтировать. Полимерный бетон также используется для ремонта портландцементного бетона. Поверхностный слой полимербетона толщиной 10–25 мм защищает основной слой бетона от истирания и погодных условий. Полимербетонные покрытия на железобетонных строительных конструкциях значительно улучшают их внешний вид. Высокоэффективно применение полимербетона в кислотных дренажах, подвалах и соединительных коробках канализационных труб. Стоимость рециклированного полимербетона сравнима с портландцементным бетоном, тогда как обычный полимербетон на основе термореактивных пластмасс в 10–20 раз дороже.

Другие продукты. Интересным применением вторичного ПЭТФ является производство стекловолоконнаполненных композитов (СМ), единственным производителем которых в России является ООО «ИТОС-Компаунд» (Курская область) ПЭТФ-СМ производится на том же оборудовании, что и гранулированный ПЭТ, который производится из хлопьев.

ПЭТ подходит в качестве связующего КМ для общепромышленного и машиностроительного применения благодаря своим высоким механическим свойствам, хорошим диэлектрическим свойствам, низкому коэффициенту трения (даже в стеклопластиковых композициях) и высокой химической стойкости ко многим реагентам. При производстве стеклонаполненного ПЭТ в качестве наполнителя используются измельченные стеклянные волокна, обработанные специальными добавками. Для улучшения свойств СМ в него также вводят различные добавки, а для получения негорючих композитов используют различные классы антипиренов. Разработанные композиты

планируется применять в электротехнике, автомобильной промышленности и других отраслях, где требуются инженерные полимеры с высокими физико-механическими и электрическими свойствами. Стеклонаполненный ПЭТ из ПЭТ-бутылок сертифицирован ОАО "Корневский завод низковольтной аппаратуры". стеклонаполненный ПЭТ из ПЭТ-бутылок сертифицирован ОАО "Корневский завод низковольтной аппаратуры" для производства компонентов электротехники.

Среди других продуктов вторичной переработки – литьевые изделия из смеси ПЭТ (40 весовых процентов) и ПЭНД (60 весовых процентов), автомобильные детали, электротехнические изделия, различные фитинги, изготовленные методом литья под давлением, шлифовальные и полировальные круги (ПЭТ с добавлением стекловолокна) и порошки для нанесения покрытий [5].

1.5 Способы переработки отходов ПЭТ

Сегодня затраты на утилизацию пластиковых отходов по-прежнему высоки. Большая часть этих средств тратится на сбор и извлечение отходов.

Переработка пластиковых ресурсов не увеличивается из-за ряда факторов. Основной процесс переработки включает в себя отделение пластика от других видов отходов и его очистку по типам. Это увеличивает стоимость производства, которая может составлять до половины общей стоимости переработки. Промышленные пластиковые отходы гораздо легче перерабатывать, чем отходы, которые оказываются в мусорном ведре - полиэтиленовая пленка, корпуса бутылок и сами бутылки могут быть достаточно легко отделены от промышленных отходов.

Наиболее продвинутая переработка – это использование материалов, пригодных для вторичной переработки. Больше всего это затрагивает ПЭТ-отходы, где цена за тонну может превышать 1200 долларов США. Решения этой проблемы и поиск устойчивых методов обсуждаются ниже [3].

Энергетические способы переработки отходов ПЭТ

Сжигание – наиболее распространенный метод утилизации пластиковых отходов потребления: при сжигании 2 тонн пластиковых отходов выделяется столько же тепла, сколько при сжигании 1 тонны нефти, т.е. 46000 кДж/кг. В некоторых странах существуют небольшие теплоэлектростанции, которые сжигают бытовые отходы, половину которых составляют отходы пластиковой упаковки. Во многих странах отходы упаковки используются в качестве источника тепловой энергии. Отходы сжигаются в специальных мусоросжигательных печах, оснащенных фильтрами для удаления вредных газов, которые различаются по конструкции. Недостатки заключаются в том, что фильтры сложны в производстве и использовании, а степень очистки не всегда соответствует ожидаемой. Пластмассы содержат различные стабилизирующие добавки и пигменты, содержащие соли тяжелых металлов. Когда они достигают высокой температуры 700 °С, они переходят в

газообразное состояние, и в этот момент их улавливание становится невыполнимой задачей. Если для этой цели используется вода. Они немедленно загрязняются и нуждаются в очистке. Стоимость сжигания не компенсируется тепловой энергией. Кроме того, для сжигания требуется огромное количество кислорода.

В настоящее время около 40 % всех отходов сжигается с образованием терпенов. В США с этой целью сжигается 17 % твердых отходов, в Европе – 30 %, в Японии – 75%, в Швейцарии – 80 %. Тепло, выделяемое при сжигании пластмасс, является самым большим по сравнению с другими бытовыми отходами.

За исключением ПВХ, наиболее перспективное использование пластиковых отходов – в доменной промышленности. Хотя пластиковые отходы являются восстановительными, они не производят диоксинов. Смешанные пластиковые отходы используются в сталеплавильном производстве путем их задувки в доменную печь. Этот метод хорошо зарекомендовал себя в Германии на заводах в Бремене и Эйзенхюттенштадте [2].

Химические способы переработки ПЭТ

Переждем к следующему распространенному способу переработки отходов как химический рециклинг. Но для этого метода необходим огромный товарооборот, чтобы обеспечить рентабельность и перекрыть непомерные затраты на оборудование.

В качестве сырья для химической переработки используются обычно пластиковые отходы, которые утратили свои первичные свойства, а также которые сложно переработать механическими методами.

Данное направление охватывает самый экономически выгодный, выполняющийся по непрерывной схеме, экологически безопасный способ переработки отходов, а именно деполимеризация, в результате которой получают продукты для реполимеризации до первичного ПЭТ (если используется нейтральный гидролиз то образуется терефталевая кислота и

этиленгликоль, которые снова направляются на синтез ПЭТ), а также получают и новые продукты, которые могут быть использованы в разных областях хим. промышленности. До сегодняшнего дня деполимеризация – это очень дорогой способ переработки. Это связано в основном с большими затратами энергии при использовании дорогостоящих химических продуктов.

Распространен также способ переработки, такой как получение недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы. Также распространен способ переработки отходов ПЭТФ – получение сравнительно недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы. Дабы это осуществить отходы ПЭТ. Которые содержат 0,1–10 % влаги, подвергают гликолизу и поликонденсации, добавляя к ним для этого отходы ПЭТФ, с содержанием влаги 0,1–10 %, подвергаются гликолизу и поликонденсации с добавлением α - или β - ненасыщенных многоосновных кислот или их ангидридов. Продуктом реакции выступает ненасыщенная полиэфирная смола.

Двух стадийный алколиз смеси низшими спиртами используют, чтобы переработать текстильные отходы из полиэстра. В ходе реакции образуются ацетат целлюлозы и диалкилэфир терефталевой кислоты [3].

Пиролиз отходов ПЭТ

Пиролиз – это разложение органических материалов при высоких температурах и в полном отсутствии кислорода с получением полезных продуктов: жидкие продукты образуются при температуре ниже 600 °С, а газообразные – при более высоких температурах. Твердые остатки реакции представляют собой сажу и различные соединения металлов.

Пиролизом обрабатываются смешанные и загрязненные отходы.

Пиролиз имеет много недостатков, но главное преимущество заключается в том, что, в отличие от сжигания, он может производить пригодную для вторичной переработки промышленную продукцию.

Британские ученые продемонстрировали, что пиролиз при температуре 550 °С позволяет получить так называемый «химический суп», который может быть использован в качестве сырья для нефтехимической промышленности.

Пиролиз менее затратен, чем сжигание, но пиролиз все еще считается нерентабельным [4].

Сольволиз отходов ПЭТ

Сольволиз – это сборное название, включающее такие методы как, метанолиз, ацидолиз, гликолиз, алкоголиз и гидролиз.

Чтобы выбрать как именно метод использовать нужно обратить внимание на качество материала на входе. К примеру, метанолиз и гликолиз не в силах удалить красители, которые были добавлены к ПЭТ.

Фирма «United Recovery» разработала технологию по которой ПЭТ утилизируют химическим путём. На начальной стадии полимер, заранее измельченный, обрабатывается гидроксидами металлов, при этом получают этиленгликоль и соли металлов терефталевой кислоты. Полученную массу нагревают до 200–300 °С, а затем испаряют этиленгликоль. Соли металлов терефталевой кислоты выделяют, и производят очистку при температуре 105 °С. Достоинством этого метода служит получение термостабильных не загрязненных солей и ценного мономера с меньшей стоимостью и высокой чистотой.

В Германии разработан способ бутанолиза ПЭТ-отходов. Его суть в том, что сначала производится переэтерификация диализата с дальнейшей поликонденсацией. Диализ проводится в течение 1–5 минут при давлении от 3 до 20 атмосфер в экструдере. По итогу получают полибутилентерефталат, содержащий 0,16 % этиленгликоля, имеющий характеристическую вязкость 1,1 мл/г.

Объединенная корпорация «Resource Recovery» по упрощенной схеме осуществляют недорогой процесс переработки ПЭТ с получением мономеров. Процесс носит название Un-PET. Больших денежных вложений не требуется в сравнении с иными методами, при этом он позволяет удалять загрязнения даже казалось бы с полностью испорченных изделий, удалять серебро с рентгеновских пленок, изготовленных из ПЭТ [4].

Метанолиз отходов ПЭТ

Под давлением и температуре в 200 °С ПЭТ обрабатывают метанолом, используя катализатор. Происходит процесс деполимеризация с получением диметилтерефталата и этиленгликоля. Очистка диметилтерефталата осуществляется дистилляцией, получая высококачественный полуфабрикат, который вновь может использоваться для синтеза ПЭТ. Очищенный этиленгликоль может быть использован по разным направлениям, например, изготовление антифриза или же производство ПЭТ.

Фирмой «Du Pont» была разработана технология метанолиза отходов ПЭТ при температуре 400 °С и давлении 28 атмосфер, при этом образуется диметилфталат и этиленгликоль для дальнейшего синтеза ПЭТ. По этой технологии, названной Petretec, на установке мощностью 30 тысяч тонн в год перерабатываются отходы металлизированной плёнки.

Фирма «Hoechst» занимается метанолизом отходов ПЭТ до превращения его в оригинальный и новый химический продукт, добавляя который в первичный ПЭТ будет способствовать и улучшать процессу раздува при изготовлении бутылок под напитки. Стоимость такой тары значительно снижается. К примеру, выпуск приправы для салатов в бутылочках изготавливают из ПЭТ тары с добавлением химически восстановленного ПЭТ с 25 % по массе [4].

Гидролиз отходов ПЭТ

Обработка ПЭТ при гидролизе осуществляется в кислой или же в щелочной среде, дабы получить терефталевую кислоту и этиленгликоль. Но перед повторным использованием их в синтезе их нужно очистить. Гидролиз получил меньшее распространение, чем те же гликолиз или метанолиз. В больших масштабах данный метод не применяется [3].

Механические способы вторичной переработки ПЭТ

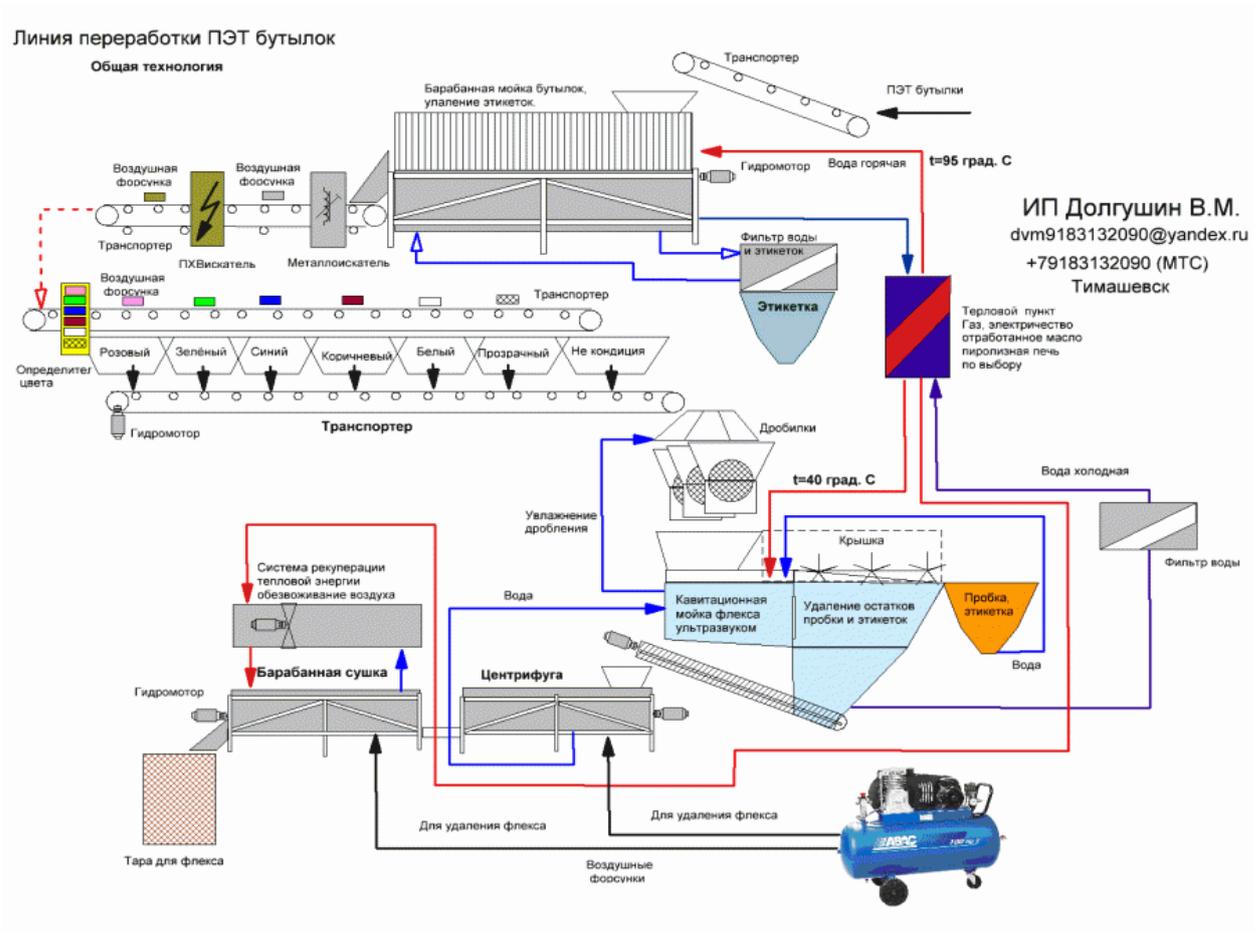


Рисунок 4 – Общая технология переработки ПЭТ бутылок [7]

Самым важным критерием для процесса механической переработки является степень чистоты вторичного полиэтилентерефталата. Если в материале будет даже незначительное количество поливинилхлорида, то нас ожидает существенная потеря качества вторичного полиэтилентерефталата, а в худшем случае мы можем получить поломку оборудования. Самое большое содержание ПВХ в ПЭТ это четверть процента.

В наши дни имеется превосходное автоматизированное оптическое сортирующее оборудование, которое позволяет разделять ПЭТ от других пластмасс.

Под механическим и тепловым воздействием на материал, отходы переходят из твёрдого состояния в вязкотекучее. Из гранулятора выходит расплав, который через калибровочные отверстия продавливают и режут на гранулы, которые после охлаждают.

Производство гранулята из отсортированного сырья, используя различные добавки, которые повышают качество (красители, модификаторы, стабилизаторы), который в дальнейшем будет переработан в изделия, является перспективнейшим направлением в данной области [7].



Рисунок 5 – Схема вторичной переработки полимерных отходов [7]

Очистка отходов ПЭТ от примесей

Существует три типа загрязнения: физическое (макроуровень), физическое (микроуровень) и химическое.

Макроскопическое физическое загрязнение партий ПЭТ включает легко удаляемые загрязнения, такие как осколки стекла, камни, песок, почва, бумага, клей и пластмассы, такие как поливинилхлорид и полиэтилен. Более стойкие загрязнения, вызванные трением и дроблением (во время упаковки в мешки,

транспортировки и первичной обработки), также трудно удалить обычной очисткой. Поэтому требуются специальные методы очистки.

Физические загрязнения на микроскопическом уровне трудно удалить, особенно если они липкие, например, клей, или если они были втерты в поверхность. Такое загрязнение создает "слабые места" и может привести к проблемам обработки, например, к чрезмерному разрыву при производстве текстиля. Это приводит к снижению качества и производительности.

Химическое загрязнение возникает в результате адсорбции веществ в содержимом бутылки. Химическое загрязнение может также происходить в пустых бутылках, которые неоднократно использовались для различных целей. Пестициды, бытовая химия и моторное масло, хранящиеся в питьевых бутылках, могут привести к химическому загрязнению. Для полного удаления требуется десорбция, но она используется редко, поскольку десорбция занимает много времени и снижает производительность. В случае переработанного технического текстиля такое загрязнение игнорируется.

Загрязнения могут быть обработаны несколькими методами, включая обработку водой, растворами моющих средств, неводными растворами и гравитационное разделение.

Самым простым и экономически эффективным методом является промывка отходов ПЭТ в водной или неводной среде в машинах непрерывного или периодического действия.

Отходы упаковки перерабатываются в мокром шредере (дробилке), оснащенном шнековой мойкой.

Отходы подаются в шредер. Одновременно в измельчитель подается вода. В результате сильного ударного воздействия загрязнения удаляются с поверхности продукта и переходят в моющий раствор. Соотношение отходов и воды составляет от 1:10 до 1:15. Полученная суспензия подается в трехсекционную моечную машину. Продукт, подлежащий мойке, последовательно проходит через все три секции. Вода для мойки направляется в оборудование.

В качестве моющей среды может использоваться горячая вода, холодная вода и горячие водные растворы, например, моющие средства.

Отходы промываются водным раствором моющего средства «Прогресс» и тринатрийфосфата, в соотношении 1:2. Концентрация моющего средства в моющем растворе обеспечивает эффективную очистку отходов от загрязнений и возможность биологической очистки стоков. (Содержание моющего средства в воде не превышает 20 г/л).

Сильно загрязненные отходы предварительно обрабатываются использованными моющими растворами в течение 10–15 минут. Для удаления клеящих веществ используется горячий раствор NaOH (каустической соды).

После очистки измельченные отходы сушат в сушилках, работающих по принципу плавающих кроватей (модели BC-800 и SP-60), лент (модель SL-10) и полок.

Технология этих процессов постоянно совершенствуется, так как очистка и мойка отходов способна значительно улучшить свойства изделий, изготовленных из них. Как правило, процесс очистки осуществляется в два или три отдельных этапа. После очистки продукт высушивается до остаточного содержания влаги 0,5 %.

Компания Recovery Processes International разработала эффективный процесс флотационного разделения смешанных хлопьев ПВХ и ПЭТ с одинаковой плотностью. Пузырьки притягиваются к гидрофобным хлопьям ПВХ и обволакивают их, увлекая вверх в аэрационной ванне, в то время как ПЭТ движется вниз.

Чтобы очистить магнитные пленки, их измельчают и подвергают воздействию растворителей, таких как диоксан, ксилол и иногда в присутствии 0,05 % NaOH (каустической соды) или бутилтитаната. Порошок магнитного слоя опускается на дно, а взвешенная пленка собирается, сушится и используется в последующих процессах [5].

Измельчение отходов ПЭТ

Отходы полиэтилентерефталата измельчаются в ножевых роторных дробилках различных конструкций. Основное требование к процессу дробления – обеспечить, чтобы материал не нагревался выше температуры стеклования (70 °С). Для достижения этого используются различные воздушные системы, выполняющие роль воздушных охладителей, для удаления измельченного материала из дробилки. Использование «мокрых дробилок» обеспечивает, помимо вышеперечисленных задач, еще и очистку материала. Насыпная плотность хлопьев ПЭТ с размерами 5–10 мм составляет 200–300 кг/м³ [7].

Агломерация отходов ПЭТ

Агломерация ПЭТ требует меньше энергии и является более производительной, чем повторная агломерация, что позволяет снизить затраты на подготовку материала к дальнейшей переработке. Для обработки ПЭТ наиболее подходят дисковые агломераторы непрерывного действия [6].

Регрануляция ПЭТ

Одним из наиболее распространенных способов переработки измельченных отходов полиэтилена является экструзия. Для этого используются одношнековые и двухшнековые экструдеры.

В Австрии небольшие экструдеры EREMA производительностью 80–380 кг/ч используются для переработки незагрязненных ПЭТ-отходов в однородные, хорошо текучие регрануляты, такие как пленки, ленты, волокна и полые изделия. Отходы транспортируются из приемного бункера конвейерными лентами к машине, где они измельчаются, смешиваются, нагреваются (с использованием отработанного тепла завода), сушатся и подаются в экструдер с системой дегазации. В экструдере расплав фильтруется через сито под необходимым давлением, охлаждается, сушится, гранулируется и упаковывается. Также могут быть добавлены наполнители и добавки [7].

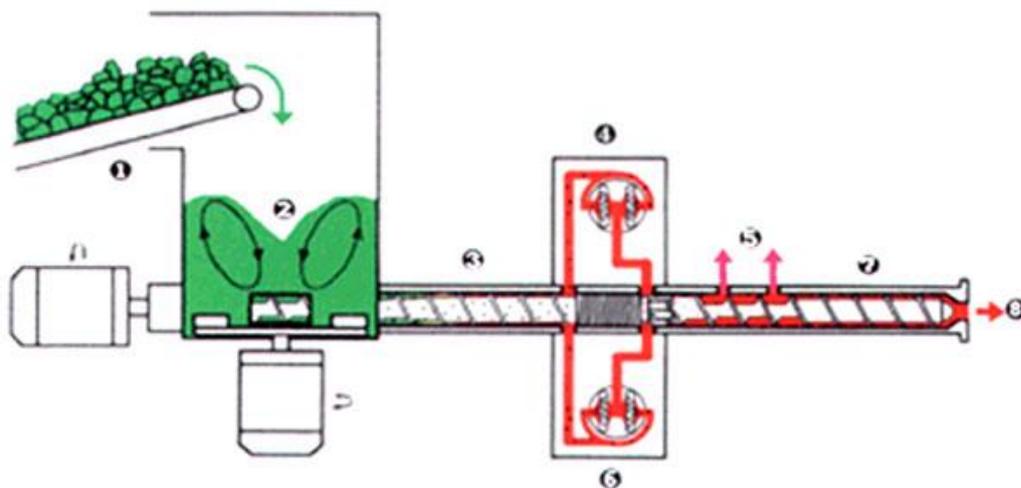


Рисунок 6 – Технологическая схема установки переработки ПЭТФ [7]

На рисунке 6 показана схема работы данного типа оборудования. Отходы подаются по конвейеру 1 в термический измельчитель 2. В термическом измельчителе материал подвергается различным процессам, таким как резка, смешивание, нагрев, сушка и сжатие. Вращающийся режущий блок создает усилие, достаточное для непрерывного заполнения одноосного экструдера 3. Поскольку масса из термического измельчителя поступает в экструдер в нагретом состоянии, шнеку требуется значительно меньше энергии для придания массе необходимой пластичности, что позволяет использовать более короткие экструдеры. Затем пульпа проходит через фильтры 4 и 6, газоотвод, шнековые зоны 5 и 7 и подается на дальнейшую переработку 8.

Водопоглощение ПЭТ при 100 % влажности составляет до 1,2 %. Чтобы исключить возможность гидролизного распада (гидролиза) полимера, ПЭТ перед переработкой должен быть высушен при температуре 120–130°C в течение 5–6 часов. Содержание остаточной влаги не должно превышать 0,02–0,03 % [7].

1.6 Проблемы при переработке ПЭТ

Вторичные ПЭТ-полимеры имеют те же проблемы с переработкой, что и исходный ПЭТ-основа, а именно: низкий порог неньютоновского поведения (скорость сдвига влияет на изменение вязкости полимера), чувствительность к нагреву и, наконец, необходимость сушки.

Кроме того, вязкость вторичных материалов снижается в процессе сушки и обработки, что может быть вызвано присутствием загрязнений (например, влаги, клея, красителей), а также влиянием температуры и деформации в процессе пластификации полимера. Эти факторы приводят к снижению молекулярной массы полимера.

Недостаточная сушка может значительно снизить свойства как первичных, так и переработанных материалов.

Еще одной проблемой при переработке ПЭТ-отходов является вероятное присутствие ПВХ. Даже тщательное разделение ПЭТ-бутылок может привести к присутствию примесей ПВХ и ПЭ в переработанном материале. ПВХ разрушается при переработке ПЭТ, выделяя соляную кислоту, что приводит к тому, что полимер сильно разлагая его. Поэтому количество ПВХ в отходах ПЭТ должно быть сведено к минимуму. Допустимое содержание ПВХ составляет менее 50 частей на миллион [12].

1.7 Компаундирование с другими компонентами для получения композиционных материалов

Термопласты и реактопласты

ПЭТ можно смешивать с другими термопластами и термореактивными материалами для получения экономичных новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Такие смеси могут быть предпочтительными для некоторых областей применения. Смешивание материалов может создать новые области применения полимеров и привлечь дополнительные инвестиции в разработку и совершенствование определенных материалов.

Среди термопластичных материалов полиэтилен, полипропилен, поликарбонат, полистирол, сополимеры этилена/винилацетата и АБС (акрилонитрил-бутадиен-стирол) могут быть смешаны с ПЭТ. Реактивные смолы, которые могут быть смешаны с ПЭТ, включают эпоксидную смолу, полиэфир смолы, фенолформальдегидные смолы и эластомеры, такие как бутадиен-нитрильный каучук и стирол-бутадиеновый каучук.

ПЭТ, модифицированный полиолефинами и армированный стекловолокном, часто используется для литья под давлением автомобильных и технических компонентов.

Смеси ПЭТ-ПК используются в тех случаях, когда требуется высокая прочность, химическая стойкость, термостойкость, ударная вязкость, прочность на растяжение и изгиб.

Теплофизические и механические свойства, ударопрочность и огнестойкость материалов могут быть значительно улучшены путем смешивания ПЭТ с термореактивными пластмассами. Такие смеси в основном используются при производстве автомобильных компонентов, компонентов для авиа- и ракетостроения и электронных компонентов [8].

Композиты с добавлением древесных опилок, золы, песка и др.

В России разработаны и запатентованы промышленные технологии производства различных композиционных материалов на основе вторичного полиэтилентерефталата с различными наполнителями (опилки, обрезки гравия, осколки стекла, порошок мелкодисперсной золы ТЭС). Эксплуатационные характеристики этих композиционных материалов позволяют производить такие продукты, как кровельная черепица, тротуарная плитка и листовые материалы. Кроме того, отходы ПЭТФ и минеральные наполнители (зола и песок) используются для получения полимерного бетона с превосходной прочностью и долговечностью, который может применяться в различных областях. Оптимальное соотношение наполнителя и смолы составляет 9:1. Переработанный ПЭТ также может использоваться в качестве добавки в твердое топливо для промышленного применения благодаря своей высокой теплотворной способности [8].

Нанокompозиты

Технологии вторичной переработки ПЭТ расширяются и совершенствуются. Интересны создание нанокompозитных материалов на основе ПЭТ с использованием различных нанонаполнителей (органически модифицированных алюмосиликатов, нанотрубок, фуллеренов и т.д.) и переэтерификация вторичного ПЭТ с ди- и триэтиленгликолем для получения сополиэфиров с низкой температурой плавления [6].

Нанокompозитные материалы с использованием органо-модифицированных алюмосиликатов

Процесс формирования слоистых силикатных нанокompозитов проходит через ряд промежуточных стадий (рисунок 7). На первом этапе происходит образование тектоидов, где полимер окружает агрегаты органически модифицированных слоистых силикатов. На втором этапе полимер проникает между слоями слоистых силикатов, и силикатные слои разделяются. При дальнейшем увеличении межслоевого расстояния (стадия 3) силикатные слои частично разделяются, и ориентация нарушается. Последняя стадия - отшелушивание.

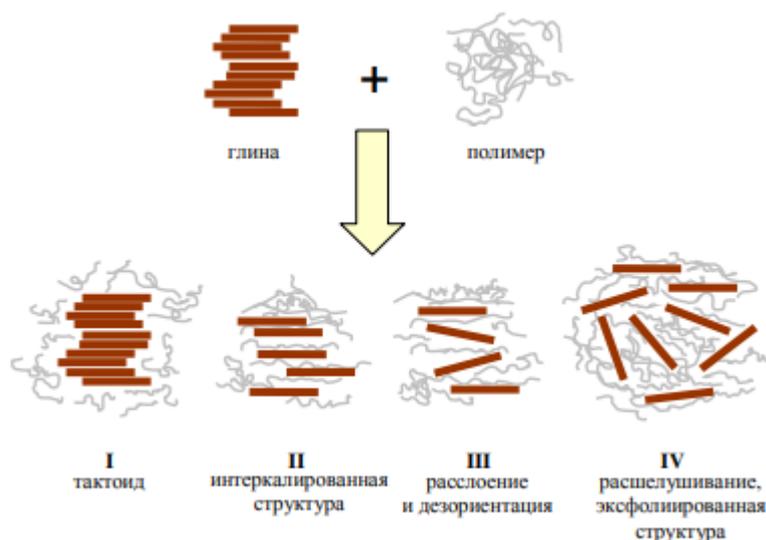


Рисунок 7 – Стадии формирования слоистосиликатного нанокompозита [8]

В случае композитов на основе тектоидов основные свойства находятся в том же диапазоне, что и для обычных микрокомпозитов. Кроме этого случая, можно выделить два типа композитных структур. Первый (II на рисунке 7) представляет собой структуру, в которой полимерные цепи интерполированы в межслоевое пространство слоистого силиката, образуя упорядоченную многослойную систему с чередующимися полимерными и силикатными слоями. В композитах со вторым типом структуры (рисунок 7, IV) силикатные слои полностью и однородно диспергированы в полимерной матрице, образуя эксфолированную структуру. Структура слоистых силикатных нанокompозитов определена с помощью рентгеновского дифракционного анализа. Характерные пики слоистых силикатов смещены в область малых углов, что подтверждает возможность получения интеркалированных нанокompозитов с хорошо сохранившимися повторяющимися многослойными структурами. Отсутствие характерных пиков слоистых силикатов подтверждает образование эксфолированных нанокompозитов, возможно, из-за большого расстояния между слоями или дезорганизации силикатных пластин. Для подтверждения данных, полученных в результате рентгеноструктурного анализа, использовались рентгеновская микроскопия и просвечивающая

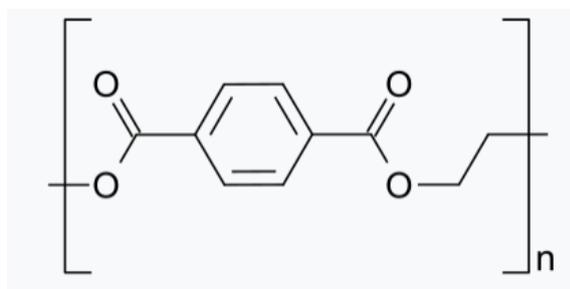
микроскопия. Действительно, в слоистых силикатных нанокompозитах могут одновременно сосуществовать все вышеперечисленные структуры, что зависит от степени распределения слоистых силикатов в полимерной матрице. Предварительные исследования показали, что нанокompозитные материалы на основе вторичного ПЭТФ и слоистых алюмосиликатов обладают рядом характеристик, которые могут применяться в различных отраслях промышленности. Эти нанокompозиты характеризуются повышенной огнестойкостью и самым высоким барьером для кислорода и углекислого газа по сравнению с чистым ПЭТ [8].

2 Объекты 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.

Полиэтилентерефталат – продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой или ее диметиловым эфиром; представляет собой твердое бесцветное прозрачное вещество в аморфном состоянии и белое непрозрачное – в кристаллическом состоянии. Является термопластиком, считается наиболее распространенным представителем класса полиэфиров. Имеет молекулярную формулу $(C_{10}H_8O_4)_n$ [1].



Согласно CAS RN ПЭТФ имеет следующие физические свойства:

Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Температура размягчения, °С	Температура стеклования, °С	Температура разложения, °С	Плотность, г/см ³
240	>170	245	70	350	1,37

Основное применение связано с производством ПЭТ-тары, особенно бутылок для газированных напитков, поскольку ПЭТ обладает превосходными барьерными свойствами. В этом случае аморфный ПЭТ можно сделать кристаллическим, подвергнув его двухосному растяжению при температуре выше T_c .

Другие области применения ПЭТ включают волокна, электроизоляцию и выдувные изделия, например, такие изделия из ПЭТ, как детали кузова автомобиля, корпуса швейных машин, ручки электрических и газовых плит,

двигатели, насосы, детали компрессоров, электрические компоненты, различные разъемы, медицинские изделия, ПЭТ-упаковка, ПЭТ-преформы и др. преформы и т.д. [1].

ПЭТ-флекс. В результате вторичной переработки полиэтилентерефталата механическим способом получают ПЭТ-хлопья (флексы). Требования к флексам определяются потребителем и формируются в зависимости от производимого из них продукта – волокна, пленки или преформ [4].

Как правило, нормируются:

- влажность;
- насыпная плотность;
- характеристическая влажность.

В данной работе использовали флексы со следующими характеристиками:

- ✓ Внешний вид – частицы неправильной формы;
- ✓ Цвет – прозрачный, голубой;
- ✓ Размер частиц (фракция) для 95 % массы – 6–12 мм;
- ✓ Температура плавления – 248 ± 2 °С;
- ✓ Характеристическая вязкость – не менее 70 мг/л;
- ✓ Содержание прочих пластиков, кроме ПВХ – 0 %;
- ✓ Содержание ПВХ – 0 %;
- ✓ Содержание клея – 0 %;
- ✓ Содержание бумаги – 0 %;
- ✓ Содержание металла, в том числе цветного – 0 %;
- ✓ Насыпная плотность – 260–280 г/л;
- ✓ Влажность – до 1 % массы.

Стекловолокно – это волокна или композитные нити, сформированные из стекла. В таком виде стекло не бьется и не ломается и обладает необычным свойством – легко гнуться, не ломаясь [4]. По этой причине из стеклянных волокон можно ткать. Свойства стеклянных волокон приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стекловолокон [4]

Волокно	Плотность, $10^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Модуль растяжения, ГПа	Предел прочности при растяжении, ГПа
Е-стекло	2,5	73	2,5
S-стекло	2,5	86	4,6
Кремнезем	2,5	74	5,9

Основное применение стекловолокна и стеклоткани – в качестве армирующего материала для стекловолокнистых пластиков и композитов. Стекловолокно также может использоваться само по себе в качестве конструкционного или отделочного материала.

Углеродные волокна – это материалы, состоящие из длинных, тонких волокон диаметром 3–15 микрон, которые в основном состоят из атомов углерода. Атомы углерода соединены в микроскопические кристаллы, расположенные параллельно друг другу. Параллельное расположение кристаллов придает волокнам высокую прочность на разрыв. Углеродные волокна – это органические волокна, прошедшие термическую обработку при температуре от 1000 до 3000 °С и содержащие 92–99,99% углерода.

Углеродные волокна обладают очень высокой термостойкостью, их механические свойства остаются неизменными в отсутствии кислорода до 1600–2000°С. Углеродные волокна устойчивы к агрессивным химическим средам, но окисляются при нагревании в присутствии кислорода. Максимальная температура эксплуатации на воздухе составляет 300–370°С. Углеродные волокна обычно имеют прочность около 0,5–1 ГПа и модуль упругости 20–70 ГПа, в то время как прочность ориентированно вытянутых углеродных волокон составляет 2,5–3,5 ГПа, а модуль упругости – 200–450 ГПа.

Углеродные волокна обладают свойствами, которые определяют их потенциал для применения в качестве теплозащитных и изоляционных материалов в высокотемпературных технологиях. Благодаря высокой

химической стойкости углеродные волокна используются для фильтрации агрессивных сред, очистки газов и изготовления защитной одежды. Электропроводность углеродных волокон позволяет им бороться со статическим электричеством. При введении всего 0,02–1% углеродных волокон в материал (ткань, бумага), электричество "улетучивается" из этого материала после обработки антистатическим средством. Углеродные материалы с высокой адсорбционной активностью успешно применяются в качестве повязок для лечения ран и ожогов (в том числе химических), тампонов, дренажей, очистки крови и других биологических жидкостей, лекарств при отравлениях (благодаря высокой способности поглощать яды), а также в качестве носителей лекарственных и биологически активных веществ. Углеродные волокна используются в качестве арматуры в композитных материалах, для повышения термо- и химической стойкости, а также в качестве наполнителя в различных углепластиках [6].

Концентрат зольного остатка, выделенный из золы золоотвала Северской ТЭЦ. Характеристики концентрата представлены ниже:

Насыпная плотность, кг/м ³	500–1200
Средняя плотность зерен, кг/м ³	2000–2200
Влажность не более, %	20
Зерновой состав, мкм	1–60
Потери при прокаливании, %	до 10
Массовая доля общей серы, не более %	0,8

Удельная эффективная активность радионуклидов, Бк/кг не более 370

Химический состав концентрата, %: SiO₂ – 47,06, TiO₂ – 1,17, Al₂O₃ – 22,67, Fe₂O₃ – 12,44, CaO – 4,34, MgO – 1,49, Mn – 0,3, Na₂O – 0,94, K₂O – 0,61, SO₃ – 1,25, C – 6,5.

2.1 Методика определения показателя текучести расплава

Экструзионный пластомер – прибор для определения показателя текучести расплава, состоящий из экструзионной камеры, поршня, капилляра и грузов [13].

На экструзионном пластомере выставляется определённая температура и ждут пока прибор нагреется до выбранной температуры. Далее в экструзионную камеру погружается поршень и выдерживается при данной температуре не менее 15 минут. Вытаскивается поршень и загружается в камеру исследуемый полимер, уплотняя его. Поршень вставляется в камеру, а на втулку помещают добавочные грузы. После выдержки под давлением в течение времени, указанного в соответствующих стандартах и технических условиях на испытуемый материал, вынимают из капилляра развёртку и дают полимеру течь. Время предварительного прогрева материала не должно быть менее 4 минут.

При низких скоростях течения материала допускается продавливание поршня вручную до тех пор, пока нижняя кольцевая метка штока поршня не будет выше на 5-10 мм верхней кромки экструзионной камеры. Время от момента освобождения капилляра до начала измерений не должно превышать 1 мин.

Как только нижняя кольцевая метка штока поршня опустится до верхней кромки экструзионной камеры, весь экструдированный материал срезают и в расчет его не принимают. Измерение показателя текучести расплава производят до тех пор, пока верхняя метка на поршне не опустится до верхней кромки экструзионной камеры. Когда показатель текучести расплава меньше, чем 3 г/10 мин, измерения производят, когда верхняя кромка камеры находится между двумя средними метками.

Для измерения показателя текучести расплава отбирают отрезки экструдированного материала, последовательно отсекаемые через определенные интервалы времени, соответствующие указанным в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для определения ПТР:

Показатель текучести расплава, г/10 мин	Масса образца, г	Интервалы времени между двумя отсечениями экструдированного материала, с
До 0,5	От 4 до 5	240
От 0,5 до 1,0	От 4 до 5	120
Свыше 1,0 до 3,5	От 4 до 5	60
Свыше 3,5 до 10,0	Свыше 6 до 8	30
Свыше 10,0 до 25,0	Свыше 6 до 8	От 10 до 15
Свыше 25,0	Свыше 6 до 8	Свыше 5 до 15

Длина отдельных отрезков может быть 10–20 мм.

Отрезки, имеющие пузырьки воздуха, отбрасывают.

После охлаждения полученные отрезки взвешивают каждый в отдельности с погрешностью не более 0,001 г. Число их должно быть не менее трех. Масса отрезка определяется как среднее арифметическое результатов взвешивания всех отрезков.

После окончания измерений освобождают капилляр и удаляют из прибора остатки полимера.

После каждого испытания экструзионную камеру следует прочищать в горячем состоянии ветошью до зеркального блеска.

Поршень вынимают и чистят в горячем состоянии тканью, смоченной в растворителе.

Капилляр прочищают плотно входящим медным стержнем и при необходимости погружают в кипящий растворитель. Допускается пиролизическая очистка в среде инертного газа при 823 К (550 °С).

При удалении остатков полимера или очистке какой-либо детали прибора запрещается применять абразивные или другие подобные им материалы.

Показатель текучести расплава термопластов $\text{ПТР}_{(T,P)}$ в г/10 мин вычисляют с точностью до двух значащих цифр по формуле:

$$\text{ПТР}_{(T,P)} = \frac{t \cdot m}{\tau}$$

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух определений на трёх отрезках материала, допускаемые расхождения по массе между которыми не должны превышать 5%.



Рисунок 8 – Экструзионный пластомер

2.2 Методика получения регранулята

Для получения регранулята термомеханическим способом осуществляли следующие стадии:

- измельчение ПЭТ-флексов;
- сушка измельченных ПЭТ-флексов (120 °С, 1,5 ч);
- экструзия (значения температур по зонам экструдера 230–250 °С, скорость вращения шнека – 60 об/мин;
- грануляция.

Получение гранул (для изготовления плиток) на основе ПЭТ-флексов осуществляли с использованием двухшнекового лабораторного экструдера Rondo1 и гранулятора (рис. 9).



Рисунок 9 – Лабораторная установка гранулирования ПЭТ-флексов

2.2 Методика получения композиционных материалов в виде плиток

Для получения композиционных материалов в виде плиток использовали лабораторный пресс, предназначенный для сжатия и прессования материала под давлением и температурой.

- Температура: 240–260 °С
- Давление: 0,5 т (5 кгс/см²)
- Время выдержки: 12 мин.



Рисунок 10 – Гидравлический пресс

2.2 Методика измерения прочности при растяжении

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.

Для проведения испытания на растяжение рекомендуется использовать образец с формой согласно рисунку 11.

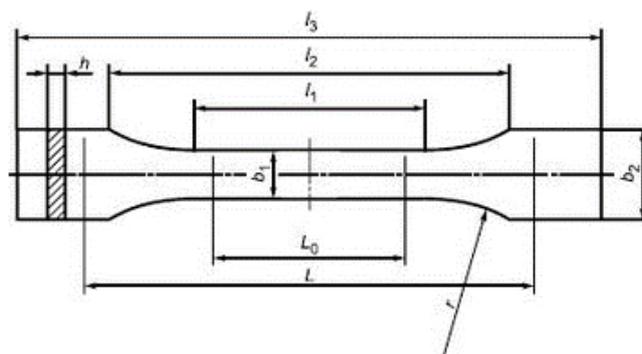


Рисунок 11 – Форма образца для испытания на растяжение
Характеристические размеры образцов представлены в таблице 4.

Таблица 4– Размеры образцов для испытания на растяжение

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

Прочность при растяжении вычисляют следующим образом:

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0};$$

Предел текучести при растяжении вычисляют следующим образом:

$$\sigma_{рт} = \frac{F_{рт}}{A_0};$$

Условный предел текучести при растяжении вычисляется следующим выражением:

$$\sigma_{рту} = \frac{F_{рту}}{A_0};$$

Где $F_{рм}$ – максимальная растягивающая нагрузка, Н;

$F_{рт}$ – растягивающая нагрузка при достижении предела текучести, Н;

$F_{рту}$ – растягивающая нагрузка при достижении условного предела текучести, Н;

Относительное удлинение выражается следующей формулой:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ \%}.$$



Рисунок 12 – Прибор для определения прочности при растяжении

2.3 Методика определения прочности при изгибе

Прочность на изгиб – это мера определения жесткости материала и значения сопротивления при изгибе. Образец кладут таким образом, что он находится в середине пролета, таким образом создается трех направленное нагружение, а силы действуют в одном направлении. Для вычисления модуля упругости при изгибе строится кривая зависимости прогиба от нагрузки. Значения модуля упругости и напряжений при изгибе измеряются в МПа [54].

Суть метода заключается в том, что образец прямоугольной формы, лежащий на опорах, подвергается изгибу с постоянной скоростью в середине между опорами, пока не разрушится 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 13.

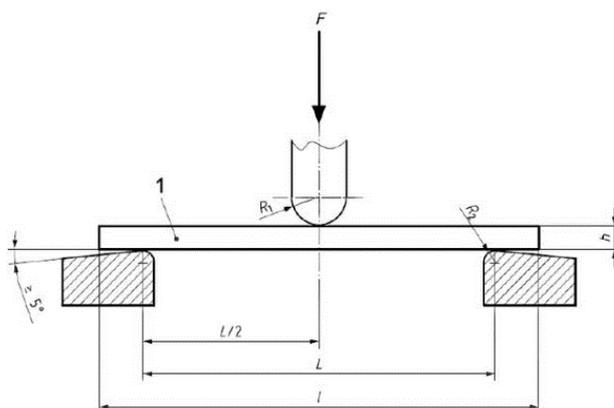


Рисунок 13 – Положение образца при испытании на изгиб: 1 – образец для испытания; F – прилагаемая нагрузка; R_1 – радиус нагружающего наконечника; R_2 – радиус опор; h – толщина образца; l – длина образца; L – расстояние между опорами

Размер образцов для проведения испытания на изгиб представлен в таблице 5.

Таблица 5 – 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 [54].

Изгибающее напряжение вычисляют по формуле:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2};$$

Где F – прилагаемая нагрузка, Н;

L – расстояние между опорами, мм;

b – ширина образца, мм;

h – толщина образца, мм.

Относительную деформацию при изгибе (%) вычисляют следующим образом:

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2};$$

Где s – прогиб, мм;

h – толщина образца, мм;

L – расстояние между опорами, мм;



Рисунок 14 – Прибор для определения прочности на изгиб

2.4 Методика определения ударной вязкости

Методика и условия определения ударной вязкости пластмасс с учетом общих принципов должны соответствовать ГОСТ 4647-80.

Форма и размеры образца приведены на рисунке 15 и в таблице 6 соответственно.

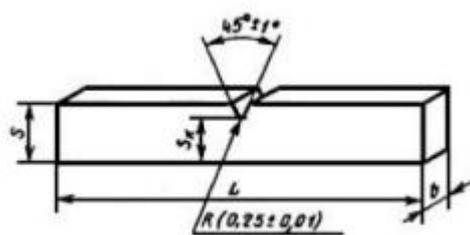


Рисунок 15 – Типа образца для определения ударной вязкости

Таблица 6 – Основные размеры образца для определения ударной вязкости

Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Расстояние между опорами, мм	Толщина под надрезом s_k , мм
80	10,0	4,0	60	3,2

Устанавливают указатель шкалы энергии так, чтобы он касался ведущего кулачка, когда маятник находится в положении, при котором нож маятника касается образца. Образец помещают на опоры маятникового копра так, чтобы удар ножа маятника приходился на ненадрезанной плоскости образца, напротив надреза. Поднимают и закрепляют маятник и устанавливают указатель на шкале энергии согласно и осторожно (без рывка) отпускают маятник. Отсчитывают по шкале значение энергии, затраченной на разрушение образца. В расчет принимают результаты, полученные на образцах, разрушившихся полностью или с разделением на части, удерживающиеся на тонкой пленке (нитке).



Рисунок 16 – Прибор для определения ударной вязкости

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На современном этапе перспективность научного исследования обуславливается оцениванием коммерческого потенциала разработки вследствие того, что на ранних стадиях жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта оценить масштаб открытия бывает затруднительно.

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

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукты (результат НИР) – композиционные материалы на основе вторичного ПЭТФ, потребителями которых могут выступать химические предприятия и строительные компании. В особенности композиты на основе вторичного ПЭТФ используются в качестве строительных материалов, таких как черепица, трубы, дорожное покрытие и т.д. В результате исследования была разработана технология получения композитов на основе вторичного ПЭТФ, в которых зола, стекловолокно и углеродное волокно улучшают свойства вторичного ПЭТФ.

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

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

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (таблица 11).

Таблица 11 – Карта сегментирования рынка

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

Фирма А	Фирма Б	Фирма В
---------	---------	---------

--	--	--

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 10 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (таблица 12).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

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

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать, что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с ценой, производительностью, а также скоростью разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Первый этап SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность технологии</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Использование отходов производства в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)</p> <p>С4. Использование современного оборудования</p> <p>С5. Финансовая помощь государства</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл2. Наличие на рынке зарекомендовавших себя конкурентов</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p> <p>Сл4. Нехватка высококвалифицированных кадров</p> <p>Сл5. Малая известность среди потребителей</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстро развивающийся рынок сбыта</p> <p>В2. Госзаказ</p> <p>В3. Неспособность конкурентов удовлетворить потребителя по ряду показателей</p> <p>В4. Привлечение инвесторов</p> <p>В5. Расположение производства в непосредственной близости от поставщика сырья</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У4. Отсутствие возможности иметь иностранных поставщиков</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 14-17. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие).

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

	Сильные стороны проекта					
		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
Возможности проекта	В1	-	+	-	+	+
	В2	-	+	-	-	+
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+	-
	В5	-	-	+	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

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

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

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

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

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

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 18).

Таблица 18 –SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность технологии</p> <p>С2. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С3. Использование отходов производства в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)</p> <p>С4. Современное оборудование</p> <p>С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Малая известность среди потребителей</p> <p>Сл2. Наличие на рынке зарекомендовавших себя конкурентов</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл5. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В2. Привлечение инвесторов</p> <p>В3. Расположение производства в непосредственной близости от поставщика сырья</p> <p>В4. Наличие преимущества перед конкурентами по ряду показателей</p> <p>В5. Снижение таможенных пошлин на</p>	<p>Использование современных и экологичных технологий позволит выпускать не уступающий конкурентам продукт.</p>	<p>Из-за малой известности на рынке есть вероятность отставания от конкурентов на начальных этапах производства. Решением проблемы такого рода может послужить рекламная компания, которая повысит известность.</p>

сырье и материалы		
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологий производства У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение со стороны государства У5. Увеличение цен на сырье	Экологичность выбранной технологии, а также использование отходов в качестве сырья вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.	При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает. Для предотвращения такого расклада оптимальным решением будет иметь дополнительные запасы сырья, которые можно будет использовать при перерывах в поставках.

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.

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

При проведении анализа по каждому показателю ставят оценку по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у

разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Полученные данные по оценке степени готовности проекта к выходу на рынок приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Бланк оценки степени готовности научного проекта коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективы направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной	2	2

собственности		
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
Проработаны вопросы между народного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	2
Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
Итого баллов	46	40

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

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

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

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

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

- получение средств для продолжения научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и пр.);
- одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей (в качестве гранта);
- обеспечение постоянного притока финансовых средств. Допускаются и различные сочетания перечисленных возможностей.

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

4.2 Инициация проекта

Заинтересованные стороны проекта – лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 20.

Таблица 20–заинтересованные стороны проекта

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

В таблице 21 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 21 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получение и исследование свойств композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ
Ожидаемые результаты проекта:	Выбор оптимальных условий синтеза композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ для получения материалов с высокими техническими характеристиками; Возможность использования полученных материалов.
Критерии приемки результата проекта:	Определение прочностных характеристик Полученных материалов путем испытания их на прочность при ударе, прочность на изгиб, прочностии при растяжении.
Требования к результату проекта:	Требования:
	Целевой продукт соответствует требованиям потребителя
	Композиционные материалы на основе вторичного ПЭТФ с набором удовлетворительных физико-химических свойств
	Композиты на основе вторичного ПЭТФ, обладают высокими прочностными характеристиками

В таблице 22 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 22 – Рабочая группа проекта

ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, ч.
Троян А.А., НИ ТПУ ИШПР, доцент ОХИ, к.х.н.	Руководитель	Координация деятельности проекта	100
Рыжакина Т.Г., НИ ТПУ ШБИП, доцент ОСГН, к.э.н.	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	4
Пашков Е.Н., НИ ТПУ ШБИП, доцент ООД, к.т.н.	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела «Социальная ответственность»	4
Швагрукова Е.В., НИ ТПУ ШБИП, доцент ОИЯ, к.ф.н.	Эксперт	Консультирование по выполнению раздела на английском языке	4
Елисеев А.А., НИ ТПУ ИШПР, ОХИ, магистрант	Исполнитель	Выполнение ВКР	750
Итого:			862

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 23).

Таблица 23 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1457000,0
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2019-31.05.2021
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

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;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

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 (рисунок 20).



Рисунок 20 – Иерархическая структура работ

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 24).

Таблица 24 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	Елисеев А.А. Троян А.А.
Согласование плана работ	7	08.09.19	15.09.19	Елисеев А.А. Троян А.А.
Литературный обзор	138	16.09.19	31.01.20	Елисеев А.А.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.20	20.12.20	Елисеев А.А. Троян А.А.
Написание отчета	162	21.12.20	31.05.21	Елисеев А.А.
Итого:	606			

4.4 Бюджет научного исследования

Планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 25. В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы, полуфабрикаты	Оборудование для экспериментальных работ
Получение ПЭТФ композиций	Вторичный ПЭТФ Зола, стекловолокно, углеволокно	Экструдер, пресс-машина, лазер
Испытания покрытий	Композиты на основе вторичного ПЭТФ	Приборы на определении прочности при изгибе, растяжении и ударе

Материальные затраты. В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ и все затраты, связанные с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 26).

Таблица 26 – Материальные затраты

Наименование	Единицы измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Вторичный ПЭТФ	кг	0,5	360	180
Зола	л	0,2	50	10
Стекловолокно	л	0,2	160	32
Углеволокно	л	0,3	140	42
Прибор ИЗГИБ	шт	1	24780,0	24780,0
Лабораторные весы CAS XE-6000	шт	1	15682,0	15682,0
Стекланный стакан на 100 см ³	шт	2	68	136,0

Халат	шт	1	1500	1500,0
Прибор на растяжение	шт	1	35760	35760
Пресс-машина	шт	1	54894	54894
Экструдер	шт	1	74696	74696
Экструзионный пластомер	шт	1	42700	42700
Прибор на удар	шт	1	39865	39865
Перчатки	шт	5	60	300,0
Итого, руб				290577

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью 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 оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дней $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

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

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

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

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

При расчете заработной платы (таблица 28) научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b \cdot K_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

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

Таблица 28 – 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	22412,3	1,3	0,5	0,5	29135,99	1202,44	252	303014,88
Магистрант	2584,4	1,3	0,5	0,5	4135,04	170,65	252	43003,8

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:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп}, \text{ где}$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 29 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 29 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	303014,80	43003,80
Дополнительная зарплата	30301,49	-

Итого по статье С _{зп}	333316,29	43003,80
---------------------------------	-----------	----------

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления 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%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (303014,80 + 30301,49) = 99994,89 \text{ рублей}$$

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (303014,80 + 30301,49) = 301056,07$$

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

Таким образом, затраты проекта составляет 1019471,6 которые приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям								
	Сырье, материалы и специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	242100,5	346018,6	30301,5	99994,9	-	-	-	301056,1	1019471,6
Аналог	302000,0	500000,0	50000,0	165000,0	-	-	-	440000,0	1457000,0

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Проектная структура проекта

4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 31).

Таблица 31 – План управления коммуникациями

Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
Статус проекта	Руководителю проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (четверг)
Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проектов включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица 32).

Таблица 32 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
Потеря актуальности	-	2	5	средний	Подбор лучших условий синтеза продукта (время, температура).	Отказ производства от переработки побочных продуктов
Неточность испытаний	-	4	5	высокий	Строгое соблюдение ГОСТов при проведении испытаний. Использование проверенного оборудования	С течением времени лабораторное оборудование теряет свою точность

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

4.5.1 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:

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

где: ЧДП_{оп t} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

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

n – горизонт расчета;

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

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 33. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, амортизационные отчисления 10 %.

Таблица 33 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

Наименование показателей	Шаг расчета				
	0	1	2	3	4
Выручка от реализации, руб.	0,0	1223365,9	1223365,9	1223365,9	1223365,9
Итого приток, руб.		1223365,9	1223365,9	1223365,9	1223365,9
Инвестиционные издержки, руб.	-1019471,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Операционные затраты, руб.	0,0	407788,6	407788,6	407788,6	407788,6
Налогооблагаемая прибыль	0,0	815577,3	815577,3	815577,3	815577,3
Налоги 20 %, руб.	0,0	163115,5	163115,5	163115,5	163115,5
Чистая прибыль, руб.	0,0	652461,8	652461,8	652461,8	652461,8
Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-1019471,6	676642,1	676642,1	676642,1	676642,1
Коэффициент дисконтирования (КД)	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5
Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-1019471,6	563642,9	469589,6	391099,1	326141,5
Σ ЧДД, руб.		1750473,2			
Итого NPV, руб.		731001,6			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

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:

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

где ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1750473,2}{1019471,6} = 1,7$$

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 34 и на рисунке 21.

Таблица 34 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
Чистые денежные потоки, руб.	-1019471,6	676642,1	676642,1	676642,1	676642,1	
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	0,35	
0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
0,6	1	0,625	0,39	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	0,5	0,25	0,125	0,062	
Дисконтированный денежный поток, руб.						
0,1	-1019471,6	615067,7	558906,4	508158,2	462146,6	1124807,3
0,2	-1019471,6	563642,9	469589,6	391099,1	326141,5	731001,6
0,3	-1019471,6	520337,8	400572,1	307872,2	236824,7	446135,2
0,4	-1019471,6	483122,5	345087,5	246297,7	175927,0	230963,0
0,5	-1019471,6	451320,3	300429,1	199609,4	133975,1	65862,4
0,6	-1019471,6	422901,3	263890,4	165100,7	103526,2	-64052,9
0,7	-1019471,6	397865,6	226675,1	137358,4	75783,9	-181788,7
0,8	-1019471,6	376213,0	209082,4	115705,8	64281,0	-254189,4
0,9	-1019471,6	355913,8	187429,9	98789,8	52101,4	-325236,8
1,0	-1019471,6	338321,1	169160,5	84580,3	41951,8	-385457,9

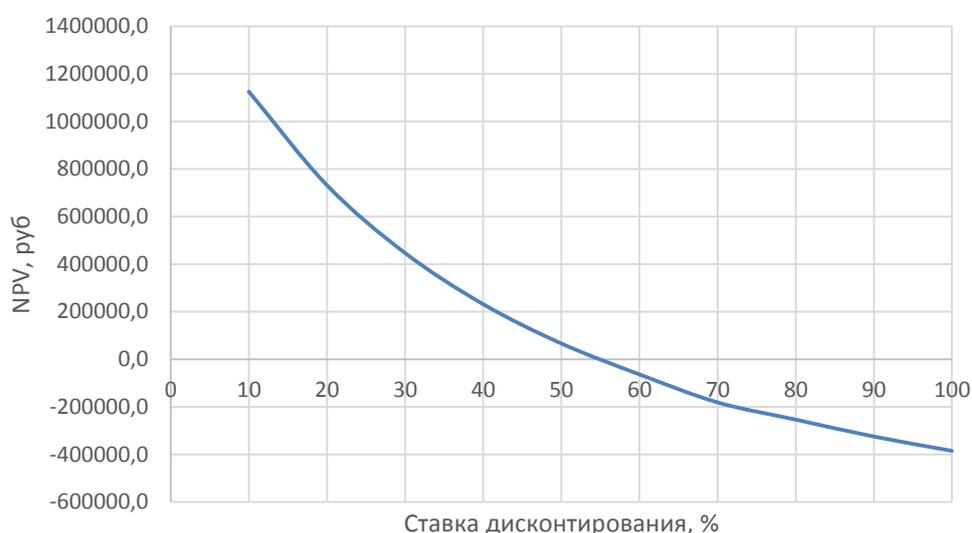


Рисунок 21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

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 0,55.

Запас экономической прочности проекта: $55\% - 20\% = 35\%$

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 35).

Таблица 35 – Дисконтированный срок окупаемости

Наименование показателя	Шаг расчета				
	0	1	2	3	4
Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-1019471,6	563642,9	469589,6	391099,1	326141,5
То же нарастающим итогом, руб.	-1019471,6	-455828,7	13760,9	404860,1	731001,6
Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (455828,7 / 469589,6) = 1,97$ года				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 36) 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 36 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Низкие прочностные характеристики Вторичного ПЭТФ	Повышение прочностных свойств Вторичного ПЭТФ добавлением в него других материалов

4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

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

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

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

Φ_{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 по следующей формуле:

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

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 37).

Таблица 37 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
Критерии			
1. Низкая себестоимость	0,25	3	3
2. Модификация	0,15	5	4
3. Безопасность	0,15	4	4
4. Экологичность	0,20	4	4
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4
6. Возможность автоматизации данных	0,10	3	3
Итого	1,0	24	22

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}$$

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

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

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

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

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

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 38.

Таблица 38 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разработка	Аналог 1
Интегральный финансовый показатель разработки	0,43	0,47
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,95	3,65
Интегральный показатель эффективности	9,19	7,77
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,18	1,03

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской

диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 731001,6 руб.; индекс доходности $PI=1,7$; внутренняя ставка доходности $IRR = 55 \%$, срок окупаемости $PP_{\text{дск}} = 1,97$ года, тем самым инвестиционный проект можно считать выгодным и экономически целесообразным.