

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки: 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
 Отделение материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы <b>Сравнение свойств вторичного полимера при переработке различными технологиями</b>
---

УДК 669.295.5:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ81	Саханов Димитрий Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А.	д.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООТД	Романцов И. И.	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Мартюшев Никита Владимирович	кандидат технических наук, доцент ОМ		

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01*

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Применять глубокие знания в области современного машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Разрабатывать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Проводить теоретические и модельные исследования в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК16). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК11, 12, 13, 14). Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Универсальные компетенции		
P7	Использовать глубокие знания для инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ПК2, ПК3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации Требования	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Н.В. Мартюшев

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ83	Саханов Дмитрий Николаевич

Тема работы:

Сравнение свойств вторичного полимера при переработке различными технологиями	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №58-48/с от 27.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2020
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является лаборатория, в которой установлено следующее оборудование: 2-х шнековый экструдер «RONDOL», лабораторный пресс «RONDOL»</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	

Раздел	Консультант
<i>Литературный обзор и исследовательская часть</i>	Клименов В.А., д.т.н., профессор ОМ
<i>Технологическая часть</i>	Клименов В.А., д.т.н., профессор ОМ
<i>Финансовый менеджмент</i>	Спицына Л.Ю., доцент ОСГН ШБИП ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Романцов И. И., доцент ООТД
<i>Иностранный язык</i>	<i>Зяблова Н.Н., доцент ОИЯ</i>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Аналитическая часть (обзор)</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.09.2018
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОМ	Клименов В.А.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Саханов Дмитрий Николаевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМ83	Саханову Дмитрию Николаевичу

<b>Школа</b>		<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта - не более 3400 тыс. руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности - не менее 3 баллов из 5.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</i>

**Перечень графического материала: –**

1. *«Портрет» потребителя результатов НТИ*
2. *Сегментирование рынка*
3. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
4. *Матрица SWOT*
5. *График проведения и бюджет НТИ*
6. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ*
7. *Потенциальные риски*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Спицына Л. Ю.	К. Э. Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ83	Саханов Дмитрий Николаевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 18 рис., 26 табл., 19 источников, 1 прил.

Ключевые слова: полимер, свойства, традиционные методы, аддитивные методы.

Объектом исследования является полимер марки PLA.

Целью магистерской диссертации является исследование свойств вторичного полимера при переработке различными технологиями и сравнения этих методов.

В процессе исследования рассмотрены и проанализированы способы получения изделий методом аддитивных технологий и традиционных технологий, а также проанализированы и даны характеристики используемого оборудования.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определен коммерческий потенциал и перспективность проведения данного научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, произведен расчет бюджета НИ, определена экономическая эффективность исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на здоровье, самочувствие работающего и безопасность труда, а также разработаны мероприятия по их устранению. Большинство опасных и вредных факторов удалось устранить и значительно снизить их негативное влияние.

## Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы	12
1.1 Полимеры и их свойства	12
1.2 Предварительная обработка полимеров	16
1.3 Полиэтилен	27
1.4 Полипропилен	
1.5 Полистирол	
2 Объект и методы исследований	30
2.1 Объект исследований	30
2.2 Методы исследований	31
3 Расчёты и аналитика	32
3.1 Традиционные технологии получения изделий	34
3.2 Аддитивные технологии получения изделий	36
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	38
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	38
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	38
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	39
4.2 SWOT-анализ	40
4.3 Инициация проекта	43
4.4 Цели и результат проекта	43
4.5 Организационная структура проекта	44
4.6 Ограничения и допущения проекта	45
4.7 План проекта	45

4.8	Бюджет научного исследования	47
4.9	Накладные расходы	49
4.10	Общие итоги финансирования и расходов	49
4.11	Матрица ответственности	50
4.12	Реестр рисков проекта	51
4.13	Оценка абсолютной эффективности исследования	51
4.14	Оценка сравнительной эффективности исследования	57
5	Социальная ответственность	60
5.1	Анализ вредных и опасных производственных факторов	60
5.2	Шум	61
5.3	Вредные вещества	63
5.4	Микроклимат	64
5.5	Освещение на рабочем месте	65
5.6	Электрический ток	69
5.7	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
5.8	Выводы по главе 5	74
	Заключение	75
	Список использованных источников	76
	Приложение А	79

## Введение

На сегодняшний день, не осталось такой сферы промышленности и хозяйства, где не применялись бы полимерные материалы. Между тем все полимеры достаточно сильно различаются между собой и обладают каждый свойствами во многом уникальными. Эта уникальность отчасти объясняется выбранной технологией переработки полимерного сырья. Но перед тем, как мы приступим к описанию каждой технологии, несколько общих моментов. И прежде всего стоит заметить, что процесс переработки состоит из определенной схемы действий.

Целью магистерской диссертации является исследование свойств вторичного полимера при переработке различными технологиями и сравнения этих методов.

В результате выполнения работы решались следующие задачи:

1. Анализ доступных зарубежных и отечественных литературных данных о свойствах вторичного полимера при переработке различными технологиями.
2. Исследование свойств вторичного полимера при применении традиционными методами.
3. Исследование свойств вторичного полимера при применении аддитивными технологиями.
4. Сравнение и оценивание оптимального способа получения вторичного полимера с наилучшими характеристиками.

## 1. Обзор литературы

### 1.1. Полимеры и их свойства

Полимерами принято называть высокомолекулярные соединения, в состав которых входят длинные молекулы, в которых присутствует большое количество одинаковых структурных групп, объединенных химическими связями. Пластмассой называется материал на основе органических синтетических или природных полимеров, формирующихся после нагрева под давлением [1].

В соответствии со степенью упорядоченности структуры, полимер может иметь кристаллическую или аморфную структуру. Если упорядоченность сохраняется только на расстояниях, соизмеримых с размерами звеньев, то такая упорядоченность называется ближним порядком. Если же упорядоченность существует на больших расстояниях, то такая упорядоченность называется дальним порядком. Для кристаллической структуры полимера характерно наличие дальнего порядка, а для аморфной структуры возможен только ближний порядок.

Характерной особенностью кристаллической структуры является анизотропность, в отличие от аморфной структуры, для которой свойственна изотропность.

На практике большое распространение получили полимеры с аморфной структурой, поскольку получение полимеров с кристаллической структурой весьма затруднительно.

Известно [1], что аморфная структура является более устойчивой при высоких температурах, а кристаллическая – при низких температурах. При превышении определенной температуры происходит разрушение кристаллической структуры и превращение в аморфную структуру, такая температура называется температурой плавления. При повторном нагреве до температуры выше температуры плавления в материале с аморфной

структурой инициируется вязкотекучее состояние. Полимерный материал может находиться в двух состояниях: кристаллическом, образующемся до температуры плавления и вязкотекучем, создающемся выше температуры плавления. Вязкотекучее состояние может существовать, как у аморфного, так и у кристаллического полимера. Следует отметить, что вязкость полимера повышается с ростом молекулярной массы, при этом повышается и давление формования деталей.

Согласно литературным данным [2], процесс термодеструкции или разложение полимера начинается с ростом температуры при достижении некоторой величины.

В процессе переработки полимеров имеют значение следующие свойства.

– Реологические свойства, подразделяющиеся на:

– релаксационные, которые определяют релаксацию (уменьшение) касательных и нормальных напряжений, высокоэластичной деформации и ориентированных макромолекулярных цепей;

– вязкостные, которые определяют процесс вязкого течения при пластической деформации;

– высокоэластичные, которые определяют процесс развития и накопления обратимой деформации при формовании.

– Теплофизические свойства, которые определяют изменение объема, нагрев и охлаждение изделия в процессе формования и закрепления формы и размеров.

– Устойчивость к термоокислительной, гидролитической и механической деструкции при формовании под действием температуры, механических напряжений, влаги и кислорода.

– Объемные параметры сыпучих материалов в твердом состоянии, такие как состав, сыпучесть, насыпная масса, гранулометрический состав.

– Влажность, которая определяет текучесть материала в процессе формования и качество материала, поскольку она создает гидролитическую деструкцию при формовании[2].

При переработке полимерных материалов свойства материалов находятся в зависимости от условий, при которых осуществляется данный процесс. Так, на качество материалов влияют условия подготовки, переработки, а также физическая модификация материала. На внешний вид продукции влияют условия переработки, влажность и чистота материала.

В процессе переработки полимерных материалов важное значение имеют механические свойства, такие как жесткость, прочность, деформация, теплостойкость и ударная стойкость, на которые влияет структура материала. Также к механическим свойствам относятся износостойкость, коэффициент трения и стойкость горения, которые обуславливаются модификацией и химической структурой. От этих параметров также зависят диэлектрические свойства и химическая стойкость полимеров[2].

Важно отметить, эксплуатационные свойства, к которым можно отнести постоянство и точность размеров, зависящих от молекулярных характеристик, технологических свойств, химической структуры, а также от технологии переработки.

Следует отметить, что для выбора метода переработки оказывают влияние технологические свойства полимеров. К таким свойствам относятся время отверждения, усадка, текучесть, дисперсность, влажность, объемные характеристики и таблетруемость.

От усадки материала зависит изменение размеров при термообработке и формировании продукции. Аналитически свойство усадки можно выразить следующим образом:

$$y = \frac{L_{\phi} - L_{и}}{L_{\phi}} \cdot 100\%,$$

где  $U$  – усадка после формования и охлаждения;

$L_{\phi}, L_{и}$  – размер формы и размер изделия после охлаждения.

Также существует дополнительная усадка после термообработки:

$$U_{д} = \frac{L - L_{т}}{L_{\phi}} \cdot 100\%,$$

где  $L$  – размер продукта до термообработки;

$L_{т}$  – размер продукта после охлаждения.

На усадку продукции из реактопластов оказывает влияние метод формования и реакция сшивания, которая может протекать как поликонденсация или полимеризация. При поликонденсации происходит выделение воды, испаряющейся при высокой температуре. Стоит отметить, что усадка уменьшается с увеличением времени выдержки, но при достижении некоторого значения времени, усадка становится постоянной. Значения температуры и усадки находятся в прямо пропорциональной зависимости. После термической обработки на усадку оказывают влияние время предварительного нагрева и количество влажности в материале. Так, при повышении времени предварительного нагрева усадка становится меньше, а с повышением влажности усадка растет [2].

При формовании продукции из термопластов следует учитывать, что плотность изделий становится меньше при снижении температуры. Известно, что усадка реактопластов меньше, чем усадка термопластов. Анизотропия полимеров проявляется в том, что их усадка отличается в различных направлениях.

Текучесть обуславливает способность полимера к вязкому течению при его выдавливании через стандартное сопло в течение 10 минут под давлением и при определенной температуре [3].

Дисперсность полимеров обуславливает производительность при подаче исходного материала из бункера в нагревательные зоны, а также

влияет на протекание равномерного нагрева при формировании продукции, что исключает возникновение вздутий и неровной поверхности.

Наиболее приемлемым содержанием влаги для реактопластов является 2,5 – 3,5%, а для термопластов только сотые или тысячные доли процента.

Объемные параметры материала подразделяются на: удельный объем, коэффициент уплотнения и насыпную плотность. Под удельным объемом подразумевается величина, равная отношению объема материала к его массе, а под насыпной плотностью – его обратная величина. При переработке пресс-порошков, имеющих большой удельный объем, снижается производительность по причине низкой теплопроводности.

Таблетированностью называется способность спрессовывания материала под действием внешней нагрузки и сохранения полученной формы после снятия внешней нагрузки [3].

## 1.2. Предварительная обработка полимеров

Переработка полимерных отходов с целью создания новой продукции является наиболее целесообразным путем их использования с экономической точки зрения. Но, стоит заметить, что данная задача является довольно непростой, необходимо учитывать определенные сложности. Во-первых, полимерные отходы представляют собой смеси полимеров, несовместимые друг с другом по термодинамическим свойствам. Во-вторых, довольно многие полимеры – композиционные материалы. К примеру, в состав многослойной пленочной упаковки входят слои бумаги или частицы металла [4].

Вторичная переработка полимеров представляет собой довольно затратный способ утилизации отходов. Для данного процесса требуется

наличие специального оборудования, но при этом качество изделий получается ниже в сравнении с первичным полимером.

Для улучшения качества вторичных полимеров их подвергают предварительной обработке, общая схема которой представлена на рис. 1. Необходимо отметить, что в зависимости от состояния отходов, их состава, степени деструкции и загрязненности они могут перерабатываться как смесь полимеров или разделяться на отдельные компоненты [4].



Рисунок – 1. Схема предварительной обработки полимеров

Измельчение полимерных отходов способствует механизации процесса переработки, повышению качества изделий за счет усреднения

технологических характеристик, а также сокращению длительности других операций и упрощению конструкции оборудования. Для достижения необходимого размера важное значение имеют твердость, эластичность и чувствительность к нагреву.

Фракционирование осуществляется с целью разделения частиц по форме и размеру с помощью проточных, валковых и ситовых экранов.

Промывка предназначена для очищения сырья и отделения грязи, осуществляется в три этапа: вымачивание, зачистка и разделение.

Сушка необходима для уменьшения влаги в материале, различают механическую и термическую сушку. Механическая сушка основывается на удалении влаги за счет сил инерции. Термическая сушка позволяет уменьшить содержание влаги за счет конвекции, теплопроводности и излучения. Чаще всего, термическая сушка происходит после механической для достижения необходимого уровня влаги.

Для упрощения работы с материалом и его транспортировки необходима агломерация, которая объединяет частицы под давлением со сдвиговым усилием. На этом этапе вводятся наполнители, красители и другие добавки.

В процессе грануляции образуется конечный вторичный полимерный материал, пригодный для дальнейшей переработки на специальном оборудовании по переработке пластмасс. Расплавленный в экструдере материал приобретает форму гранул с помощью гранулирующего диска[4].

### 1.3. Полиэтилен

Полиэтилен является наиболее распространенным в мире полимером. Существуют различные структурные типы полиэтилена, которые оказывают значительное влияние на характер их поведения при вторичной переработке [5].

Вторичное производство целесообразно организовывать из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). В качестве примера это могут быть тары автомобильного топлива или емкости других жидкостей, а также упаковочная пленка. Установлено, что деструкция, происходящая с такими материалами весьма незначительна, именно поэтому свойства вторичного материала довольно схожи с первоначальными продуктами. В таблице 1 приведено сравнение свойств полиэтилена высокой плотности, полученного из переработанных бутылок, и исходного материала [6].

Таблица 1 – Механические и молекулярные свойства первоначального и вторичного ПЭВП, полученного из бутылок [6]

Свойство	Первоначальный ПЭВП	Вторичный (переработанный) ПЭВП
Прочность при растяжении, МПа	33,7	34,2
Модуль упругости, МПа	596	640
Ударная прочность, Н	135	120
Относительное удлинение, %	69,7	36,9
Полидисперсность	7,47	7,94
Молекулярная масса	236100	238600

Согласно данным, приведенным в таблице 1, можно заметить, что значения свойств после вторичной переработки ПЭВП незначительно отличаются от исходного материала. Существующие различия являются результатом небольших структурных изменений, к которым можно отнести разрывы цепей и появление разветвленности [6].

Известно, что большинство пластиков перерабатывается несколько раз и свойства таких материалов при многократной переработки постоянно ухудшаются с увеличением циклов переработки. В таблице 2 представлены изменения свойств ПЭВП, полученного из емкостей для топлива, после 15

циклов вторичной переработки методом литья под давлением. Согласно приведенным данным, можно отметить, относительно небольшое изменение механических свойств, за исключением показателя текучести, который претерпел существенные изменения. Такое изменение показателя текучести свидетельствует о достаточно большой зависимости вязкости от молекулярной массы, что также говорит о существенном изменении обрабатываемости материала.

Таблица 2. Изменение свойств ПЭВП после 15 циклов вторичной переработки методом литья под давлением [6]

Свойство	Изменение свойства, %
Предел текучести	-3
Модуль упругости	-8
Ударная прочность	+12
Удлинение	-21
Показатель текучести расплава	-61

Таким образом, можно заметить, что свойства вторичного полиэтилена высокой плотности находятся в зависимости не только от свойств исходного материала, но и от характера и числа циклов переработки.

Установлено, что кроме количества циклов переработки тип оборудования также влияет на свойства получаемой продукции. На рис. 2, 2 представлены изменения модуля упругости и относительного удлинения при разрыве, полученные разных количествах циклов переработки [7].

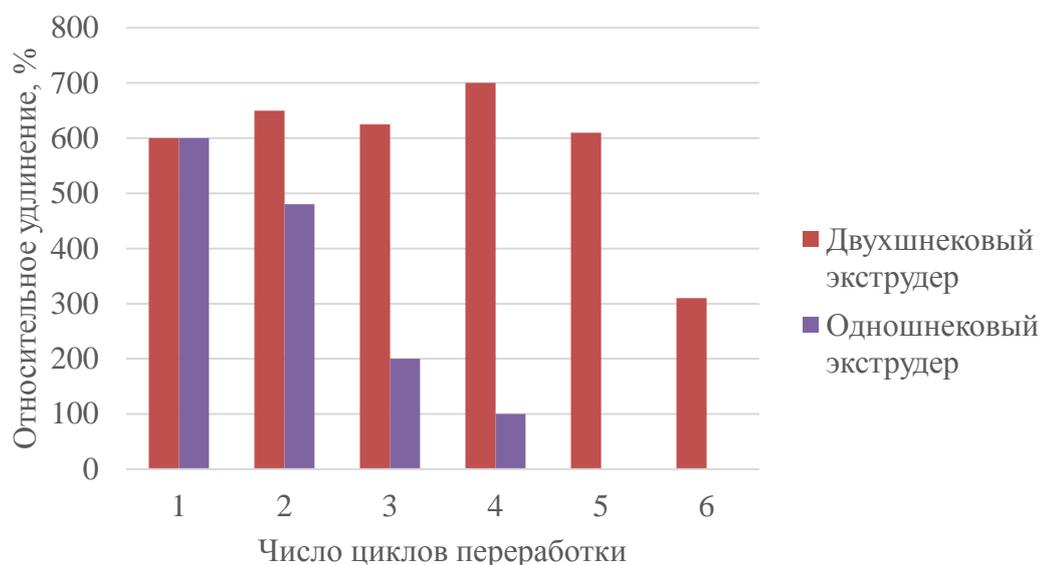


Рисунок 2 – Сравнение зависимости относительного удлинения от количества циклов переработки на различном оборудовании [7]

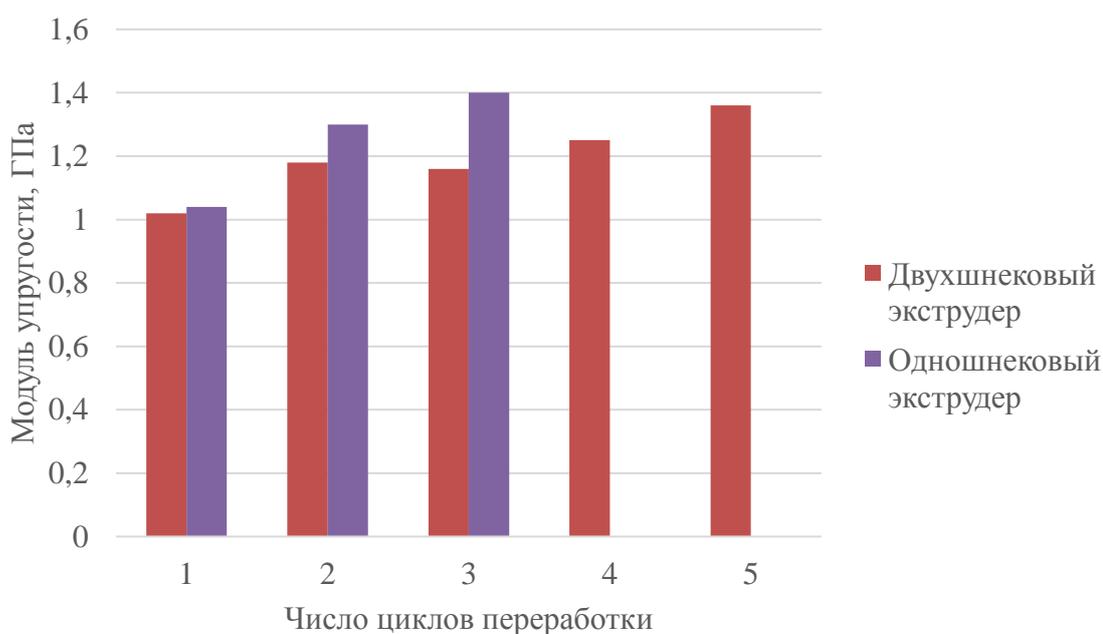


Рисунок 3 – Сравнение зависимости модуля упругости от количества циклов переработки на различном оборудовании [7]

Согласно приведенным зависимостям (рис. 2, 3), можно отметить, что при использовании одношнекового экструдера деструкция расплава значительно выше, чем при переработке с использованием двухшнекового

экструдера. Такое различие может быть объяснено увеличением времени переработки.



Рисунок 4 – Сравнение относительного удлинения материала от содержания в его составе вторичного полиэтилена [7]

Разное процентное содержание вторичного полиэтилена оказывает влияние на свойства материалов. На рис. 4, 5 представлены зависимости изменения свойств материала при увеличении в его составе вторичного материала. Подобные зависимости характерна для большинства видов вторичных материалов, например, для литевых и пленочных отходов или пластиковых бутылок [7].



Рисунок 5 – Сравнение прочности материала от содержания в его составе вторичного полиэтилена [7]

Добавление стабилизаторов в процессе переработки позволяет уменьшить снижение механических свойств и производительности. В таблице 3 приведены данные сравнения механических свойств при добавлении стабилизатора в перерабатываемый материал из полиэтилена высокого давления.

Таблица 3. Сравнение свойств с добавлением стабилизатора при производстве вторичного материала из полиэтилена высокого давления [7]

	Предел прочности при растяжении, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
Без добавления стабилизатора	14,8	250
При добавлении 0,20% стабилизатора	18,1	340

#### 1.4. Полипропилен

Полипропилен представляет собой термопластичный полимер пропилена. В большинстве случаев структура и свойства вторично переработанного полипропилена совпадают со свойствами первичного полимера. Однако изменение этих свойств могут произойти в жестких условиях эксплуатации.

Полипропилен в процессе вторичной переработки подвергается различным типам деструкции благодаря химическому строению, а при дополнительном механическом воздействии деструкция значительно увеличивается, если перед каждой стадией процесса не добавлять стабилизаторы. Зависимость молекулярной массы двух образцов, полученных двумя методами, от числа циклов переработки представлена на рис. 5. Молекулярная масса рассчитана как отношение величины, полученной после переработки, к значению молекулярной массы первоначального полимера [7].

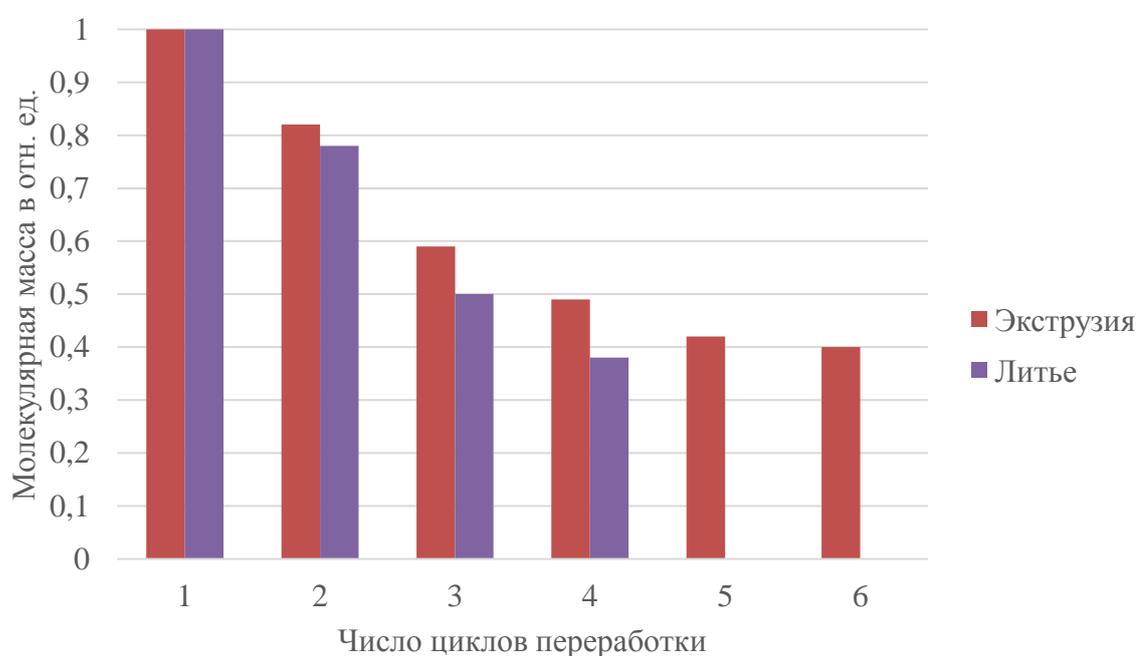


Рисунок 6 – Сравнение зависимости молекулярной массы от количества циклов переработки двух образцов, полученных методом экструзии и литьем под давлением [7]

Согласно представленной диаграмме (рис. 6), можно отметить, что снижение молекулярной массы происходит после первого цикла переработки, в дальнейшем прослеживается тенденция к выравниванию зависимости. Такую тенденцию можно объяснить уменьшением

молекулярной массы, которая привела к снижению вязкости, и как следствие, снижению механического напряжения.

Молекулярная масса полимера оказывает влияние на его механические свойства. Так с уменьшением молекулярной массы снижается относительное удлинение и повышается жесткость вторичного полимера. Сравнение этих свойств представлено на рис. 6, 7 для образцов, полученных методами экструзии и литья под давлением.

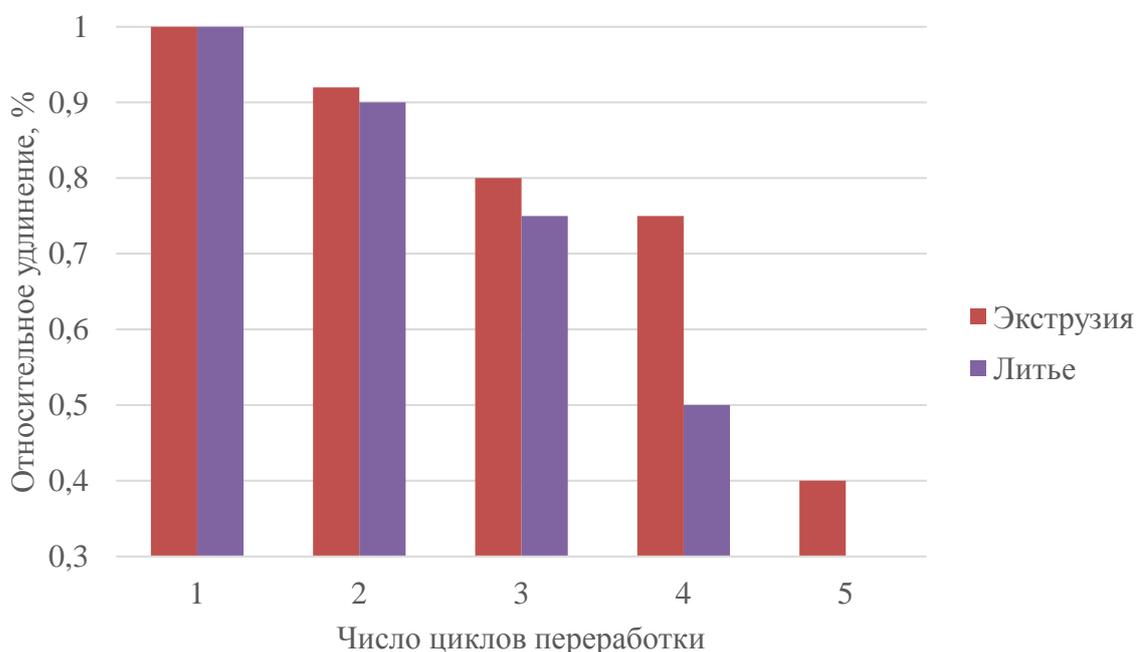


Рисунок 7 – Сравнение зависимости относительного удлинения от количества циклов переработки двух образцов, полученных методом экструзии и литьем под давлением [7]

Согласно данным, представленным на рис. 7, видно, что образец, полученный методом экструзии, проявляет большую стойкость к процессам деструкции по сравнению с образцом, полученным методом литья.

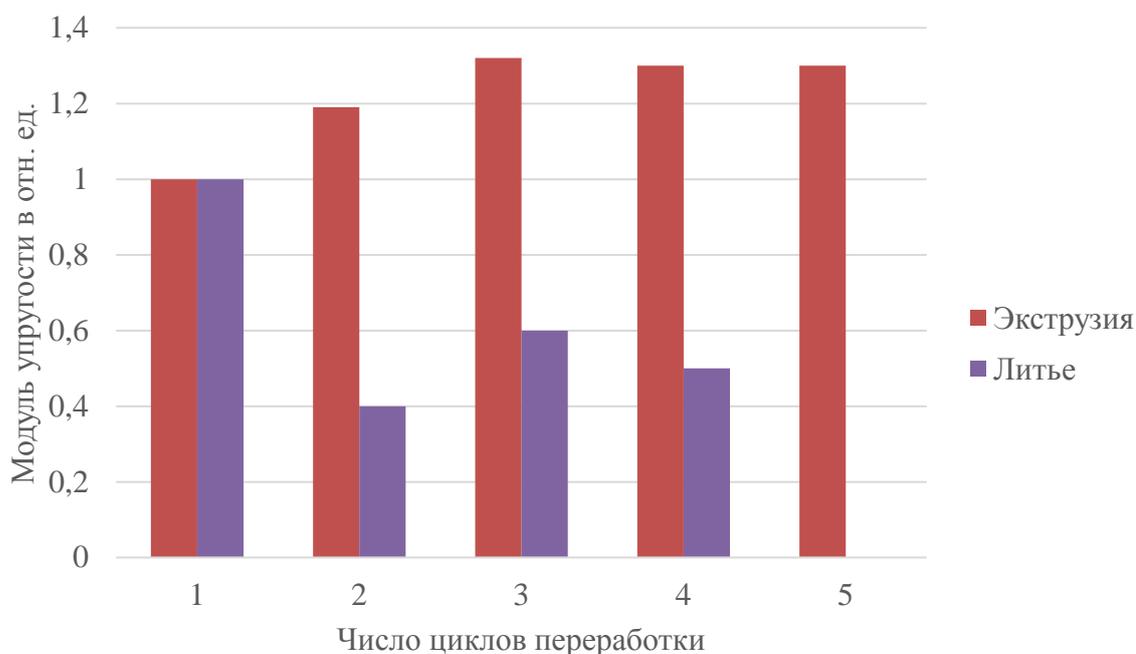


Рисунок 8 – Сравнение зависимости модуля упругости от количества циклов переработки двух образцов, полученных методом экструзии и литьем под давлением

Данные диаграммы (рис. 8), также свидетельствуют о том, что образец, полученный методом экструзии, проявляет большую стойкость к процессам деструкции по сравнению с образцом, полученным методом литья. Модуль упругости образца, полученного методом экструзии, изменяется незначительно при увеличении циклов переработки.

При добавлении стабилизаторов, содержащих стеараты и антиоксидант, при вторичной переработки транспортных ящиков из отходов производства, установлено, что можно избежать деструкции, и тем самым сохранить механические свойства (табл. 4, [7]).

Таблица 4. Сравнение свойств материала, полученного после вторичной переработки транспортных ящиков из отходов производства при добавлении стабилизатора [7]

	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Прочность при растяжении, кДж/м <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
Без добавления	62	365	64
При добавлении стабилизатора	115	430	99

### 1.5. Полистирол

Полистирол представляет собой термопластичный полимер линейной структуры, продукт полимеризации стирола. Как, в случае большинства полимеров, деструкция полистирола происходит при высоких температурах, но в присутствии кислорода этот процесс значительно ускоряется. Довольно сильное снижение молекулярной массы в среде кислорода показано на рис. 9. Безразмерная молекулярная масса рассчитана как отношение значения, полученного после переработки, к значению первоначальной молекулярной массе [7].

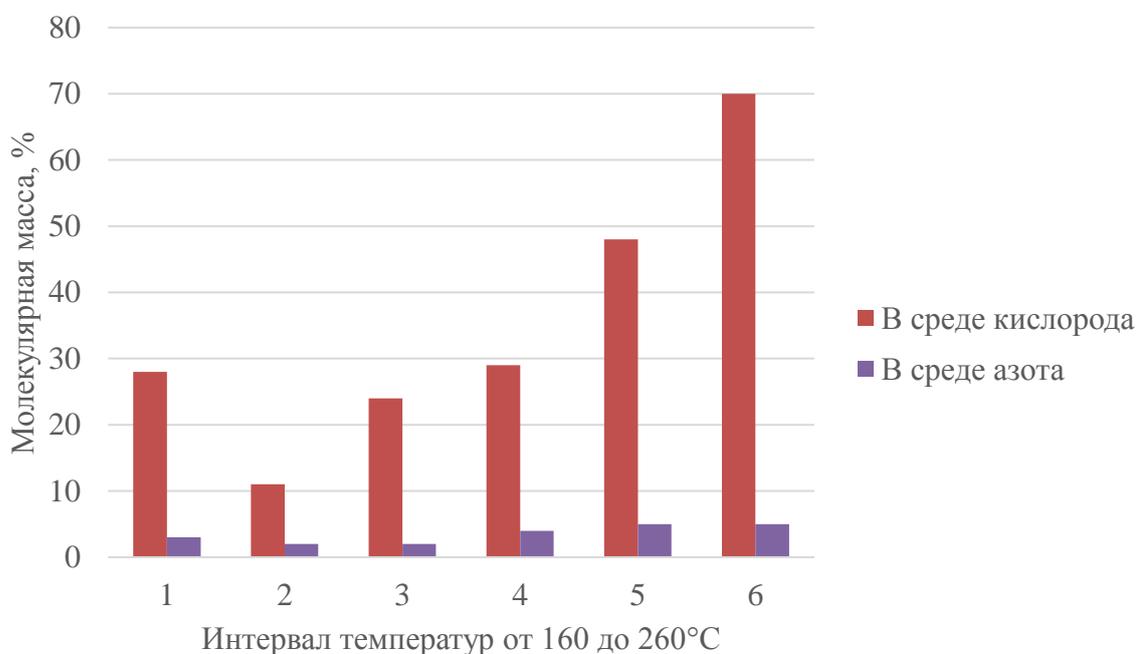


Рисунок 9 – Сравнение молекулярной массы материала от температуры двух образцов полистирола, находящихся в среде кислорода и в среде азота [7]

Проанализировав данные, приведенные на диаграмме (рис. 8), можно отметить, что молекулярная масса образца, находящегося в среде азота остается практически неизменной, в то время как образец, помещенный в среду кислорода проявляет значительное снижение молекулярной массы полистирола. Резкое снижение молекулярной массы сопровождается снижением вязкости расплава полистирола, что приводит к повышению показателя текучести расплава. На рис. 10, 11 представлено уменьшение механических свойств полистирола с увеличением циклов переработки [7].



Рисунок 10 – Зависимость ударной вязкости полистирола от числа циклов переработки [7]

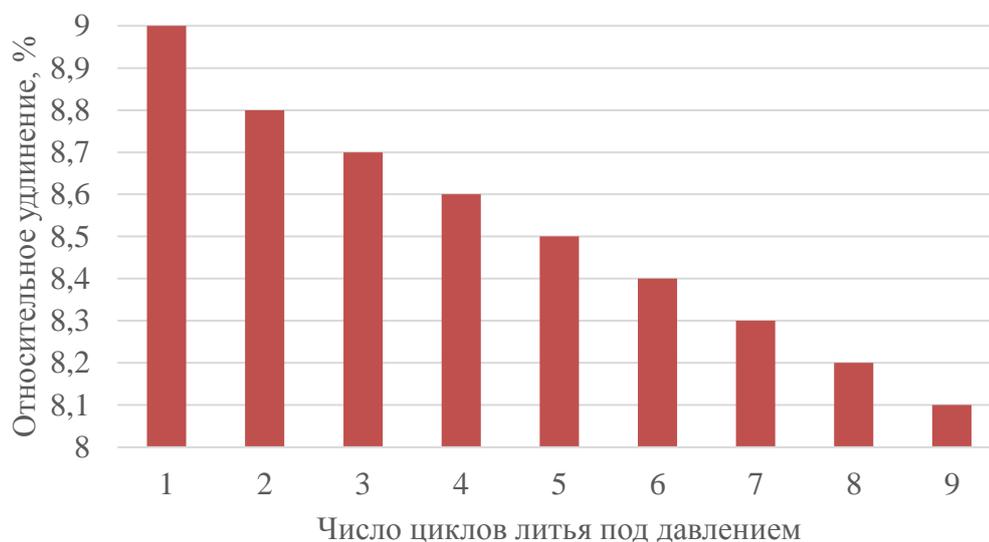


Рисунок 11 – Зависимость относительного удлинения полистирола от числа циклов переработки [7]

Свойства конечной продукции в процессе вторичной переработки полимеров зависят от исходного полимера, метода переработки и числа циклов переработки, а также от наличия кислорода в среде и добавления стабилизаторов.

## 2 Объект и методы исследований

### 2.1 Объект исследований

Объектом исследования является полимер марки PLA. В связи с этим были проведены несколько операций для сравнения свойств переработки при различных технологиях.

Полилактид – биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат ежегодно возобновляемые ресурсы, такие как кукуруза и сахарный тростник. Используется для производства изделий с коротким сроком службы (пищевая упаковка, одноразовая посуда, пакеты, различная тара), а также в медицине, для производства хирургических нитей и штифтов.

Полилактид применяется для производства экологически чистой биоразлагаемой упаковки, одноразовой посуды, средств личной гигиены. Биоразлагаемые пакеты из полилактида используются в таких крупных торговых сетях как Wal-MartStores и Kmart. Ввиду своей биосовместимости, полилактид широко применяется в медицине, для производства хирургических нитей и штифтов, а также в системах доставки лекарств.

Полилактид отвечает концепции устойчивого развития, так как для его синтеза используются ежегодно возобновляемые природные ресурсы. Упаковочные изделия из полилактида – экологически чистая альтернатива традиционной бионеразлагаемой упаковке на основе химически стойких полимеров.

Полилактид также применяется в 3D-принтерах в качестве исходного материала для печати.

Таблица 5 – Физические свойства полимера марки PLA.B

Величина	Значение
Температура плавления	173-178 °С
Температура размягчения	50 °С
Твердость (по Роквеллу)	R70-R90
Относительное удлинение при разрыве	3,8 %
Прочность на изгиб	55,3 МПа
Прочность на разрыв	57,8 МПа
Модуль упругости при растяжении	3,3 ГПа
Модуль упругости при изгибе	2,3 ГПа
Температура стеклования	60-65 °С
Плотность	1,23-1,25 г/см <sup>3</sup>
Минимальная толщина стенок	1 мм
Точность печати	± 0,1 %
Размер мельчайших деталей	0,3 мм
Усадка при изготовлении изделий	нет
Влагопоглощение	0,5-50 %

## 2. Методы исследований

Аддитивные технологии -это технологии наращивания и послойного синтеза объектов.

FDM (Fused deposition modeling) – послойное построение изделия из расплавленной пластиковой нити. Это самый распространенный способ 3D-печати в мире, на основе которого работают миллионы 3D-принтеров – от самых дешевых до промышленных систем трехмерной печати. FDM-принтеры работают с различными типами пластиков, самым популярным и доступным из которых является ABS. Изделия из пластика отличаются высокой прочностью, гибкостью, прекрасно подходят для тестирования продукции, прототипирования, а также для изготовления готовых к эксплуатации объектов.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по сравнению вторичного полимера при переработке различными технологиями.

Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любое химическое предприятие. Поскольку переработкой вторичного полимера используются практически в любой отрасли, где используется изготовление изделий из пластмассы, то любому химическому предприятию - производителю данные результаты исследования будут представлять интерес.

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

### 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основными конкурентами являются изделия из стекла, металла и керамики. Метод такой переработки широко применяется в современном химическом производстве в силу своей простоты и доступности.

Целевой рынок – определённая группа людей, которым будет продаваться в будущем разработка.

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

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Потенциальные отрасли использования переработки вторичного полимера		
		Химическая промыш.	Машиностроение	Космическое машиностроение
Характеристики	Высокий КПД (малые потери)	X	X	
	Материалоёмкость (компактность)	X		X
	Надёжность, долговечность		X	
	Снижение себестоимости	X		X
	Доступность	X	X	X

Как видно из карты сегментирования, основными сегментами данного рынка является химическая промышленность, где требуется высокий КПД и низкая стоимость.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку получения вторичного полимера традиционным методом ( $K_{\phi}$ ) и получение таких же полимеров аддитивным методом ( $K_{\kappa}$ ).

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,20	4	3	0,80	0,60
Простота технологии получения сплава	0,10	3	2	0,30	0,20
Энергоэкономичность	0,20	5	3	0,80	0,60
Надежность	0,05	4	4	0,20	0,30
Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
Экологичность материала	0,10	4	3	0,40	0,30
Область применения	0,10	3	2	0,30	0,20
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,10	4	2	0,40	0,20
Цена	0,05	3	3	0,40	0,45
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	2	0,40	0,10
ИТОГО:	1	37	27	4,15	3,10

Как видно из таблицы, по техническим критериям обе траектории имеют достаточно равные параметры. При этом аддитивный метод выигрывает по производительности труда и незначительно проигрывает надежности. Однако, по экономическим критериям аддитивный метод оказывается лучше конкурента. У него более длительный срок эксплуатации и ниже цена. Из всего этого можно сделать вывод, что аддитивный метод является более доступным и его использование на предприятии экономически более оправдано.

#### 4.2 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
<p>C1. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>C2. Высокая работоспособность изделия;</p> <p>C3. Улучшение антифрикционных свойств поверхности;</p> <p>C4. Снижение себестоимости изделия.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые используются для формирования образцов;</p> <p>Сл3. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
<p>V1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (использование научного оборудования);</p> <p>V2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>V3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия;</p> <p>V4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований;</p> <p>У2. Отсутствие оборудования для массового производства;</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия.</p>

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	V1	0	-	-	0
	V2	+	0	-	+
	V3	0	+	0	-
	V4	-	-	-	0

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	V1	+	0	-	+
	V2	-	0	0	0
	V3	0	+	-	-
	V4	+	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	0	-	0
	У2	0	-	0	-
	У3	-	0	0	+

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	0	0	-
	У2	+	-	-	0
	У3	0	-	-	+

На последнем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>C1. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>C2. Высокая работоспособность изделия;</p> <p>C3. Улучшение антифрикционных свойств поверхности;</p> <p>C4. Снижение себестоимости изделия.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые используются для формирования образцов;</p> <p>Сл3. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
Возможности		
<p>V1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (использование научного оборудования);</p> <p>V2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>V3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия;</p> <p>V4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>C1 V2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава;</p> <p>C4 V2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия);</p> <p>C2 V3. Участие в грантах приводят к улучшению</p>	<p>V1 Сл4. Новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака;</p> <p>V1 Сл1. Возможность изготовления прототипа;</p> <p>V3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;</p>

	высокой работоспособности изделия;	
Угрозы		
<p>У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований;</p> <p>У2. Отсутствие оборудования для массового производства;</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия.</p>	<p>У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке.</p> <p>У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала.</p>	<p>У3 Сл4. Длительный простой производства.</p> <p>У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.</p>

Исходя из проведенного SWOT-анализа можно сделать вывод, что метод получения полимера из вторичного сырья аддитивным технологиям является прогрессивным и экономический целесообразным. Главное преимущество данного метода с экономической точки зрения это – высокая работоспособность изделия, Снижение себестоимости изделия, возможность на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака

#### 4.3 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

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

#### 4.4 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Исполнитель (магистрант)	Магистерская диссертация
Университет	Наличие НИОКР
Потребители	Повышение качества изделия с одновременным снижением ресурсозатрат
Государство	Возможность импорт о замещения

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

Таблица 4.10 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Изучение разных вариантов переработки вторичного полимера и определение самого перспективного
Ожидаемые результаты проекта	Определение более выгодного с позиции экономики метода переработки вторичного полимера
Критерии приемки результата проекта	Законченная научно-исследовательская работа, опробованная на международных конференциях
Требования к результату проекта	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение
	Оформленная магистерская диссертация

#### 4.5 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Саханов Д.Н., магистрант отд. материаловедения	Исполнитель	Выполнение исследований по научной работе	2144
2	Мартюшев Н.В., НИ ТПУ, к.т.н., доцент	Руководитель, эксперт	Консультация по теоретической части проекта.	200
ИТОГО:				2344

#### 4.6 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 4.12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	Бюджет проекта 3400000 руб.
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	10.09.2019-10.06.2020
Дата утверждения плана управления проектом	13.09.2019

#### 4.7 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Календарный график представляется в виде таблицы 4.13.

Таблица 4.13 – Календарный план проекта

№ п/п	Название	Длит., дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Обсуждение плана проекта	3	10.09.19	13.09.19	Мартюшев Н.В. Саханов Д.Н.
2	Обзор литературы	30	13.09.19	12.10.19	Саханов Д.Н.
3	Провести экспериментальное исследование по переработке полимеров способом дробилки	30	12.10.19	10.11.19	Саханов Д.Н.
4	Провести экспериментальное исследование по переработке полимеров способом сушки	40	10.11.19	19.12.19	Саханов Д.Н.
5	Описание результатов	10	19.12.19	29.12.19	Саханов Д.Н.
6	Получения пластины из полимеров способом дробилки	20	11.01.20	31.01.20	Саханов Д.Н.
7	Получения пластины из полимеров способом сушки	25	01.02.20	26.02.20	Саханов Д.Н.
8	Описание результатов	8	26.02.20	04.03.20	Саханов Д.Н.
9	Отчет по исследовательской работе	25	04.03.20	29.03.20	Саханов Д.Н.
10	Оформление пояснительной записки	53	29.03.20	20.05.20	Саханов Д.Н.
11	Подведение итогов	22	20.05.20	10.06.20	Мартюшев Н.В. Саханов Д.Н.
ИТОГО ИСПОЛНИТЕЛЬ:					268
ИТОГО РУКОВОДИТЕЛЬ:					25

На основе таблицы 4.13 построим план-график работ (диаграмма Ганта). Диаграмма Ганта строится по длительности исполнения работ в рамках НИ с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИ

№ раб.	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																				
			ноябрь			декабрь			ян. в.	февраль			март			апрель			май			июнь	
			1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Рук./Исслед.	3	■																				
2	Исслед.	30	■	■	■																		
3	Исслед.	30				■	■	■															
4	Исслед.	40							■	■	■												
5	Исслед.	10										■											
6	Исслед.	20												■	■	■							
7	Исслед.	25														■	■	■					
8	Исслед.	8																			■		
9	Исслед.	25																			■	■	■
10	Исслед.	53																			■	■	■
11	Рук./Исслед.	22																					■

#### 4.8 Бюджет научного исследования

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

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 4.14 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во, ед.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Пластик «PLA»	5 кг	1000	5000
СИЗ	3 шт	250	750
Всего за материалы			5750
Электроэнергия			1140.4
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			230
ИТОГО:			7120.4

Таблица 4.15 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Марка	Кол-во, шт	Цена за ед., руб	Сумма, руб
1	2-х шнековый экструдер	«RONDOL»	1	600000	600000
2	Пресс	«RONDOL»	1	840000	840000
3	Разрывная машина	«XLW»	1	1220000	1220000
4	Вытяжной шкаф	«ШВ-СТЛ.100»	1	75000	75000
	Компьютер	«SAMSUNG»	1	55000	55000
ИТОГО:					2790000

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ было в лаборатории.

Расчет основной и дополнительной заработной платы сведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Основная и дополнительная заработная плата

Испол.	З <sub>б</sub>	К <sub>пр</sub>	К <sub>д</sub>	К <sub>р</sub>	З <sub>м</sub>	З <sub>дн</sub>	Т <sub>раб</sub>	З <sub>осн</sub>	К <sub>д</sub>	З <sub>доп</sub>
	руб.									
Руков.	28000	1	0,1	1,3	40040	1793	25	44825	0,1	4482,5
Испол.	10500	1	0,1	1,3	15015	627	268	168036	0,1	16803,6
Итого, руб.								212861		21286,1

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30,2%.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot 234147,1 = 70712,4 \text{ руб.}$$

#### 4.9 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}});$$

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

Таблица 4.17 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная зар. плата, руб.	Дополнительная зар.плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	44 825	4 482,5	44 307,5
Исполнитель	168 036	16 803,6	166 355,64
Итого, руб.			210663,14

Таблица 4.18 – Полная смета затрат

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы	7120,4
Оборудование	2790000
Основная заработная плата	212861
Дополнительная заработная плата	21286,1
Отчисления на социальные нужды	70712,4
Накладные расходы	210663,14
ИТОГО:	3312643

#### 4.10 Общие итоги финансирования и расходов

Итоговая плановая себестоимость составила 3312643 рубля, финансирование составило 3400000 рублей. Посчитаем разницу:

$$3312643 - 3400000 = -87357 \text{ руб.}$$

Разница составляет 87357рублей, расходы не превышают поступления.

#### 4.11 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности. Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

- Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта;
- Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Таблица 4.19 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Магистрант	Руководитель проекта	Инженер
Обсуждение плана проекта	И	О	У
Обзор литературы	И	О	У
Провести экспериментальное исследование по переработке полимеров способом дробилки	И	О	И
Провести экспериментальное исследование по переработке полимеров способом сушки	И	О	О
Описание результатов	И	О	О
Получения пластины из полимеров способом дробилки	И	О	И
Получения пластины из полимеров способом сушки	И	О	О
Описание результатов	И	О	О
Отчет по исследовательской работе	И	У	О
Оформление пояснительной записки	И	У	О
Подведение итогов	И	О	О

#### 4.12 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 4.20 –Реестр риска проектов

№ п/п	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1	Поставка материалов	Срыв поставок	2	2	Низкий	Найти надёжного поставщика	Истечение срока договора
2	Экономический	Снижение фин-ния	3	3	Средний	Найти материалы по низкой цене	Кризис

#### 4.13 Оценка абсолютной эффективности исследования

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

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём

дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

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

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

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

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

$n$  – горизонт расчета;

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

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 1.21. При расчете, рентабельность проекта составляла 20%, норма амортизации - 10%. Бюджет проекта – 3400000 руб. (Операционные затраты) = Сырье + Амортизация + ФОТ (Осн. ЗП + доп. ЗП. + соц. отч.)  $V_{реал.} = \text{Бюджет (себестоимость)} \times 1,2; Ц = C \times (1 + P/100)$

Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	4080000	4080000	4080000	4080000
2	Итого приток, руб.	0	4080000	4080000	4080000	4080000
3	Инвестиционные издержки, руб.	-3400000	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	583859,5	583859,5	583859,5	583859,5
5	Налогооблагаемая прибыль	0	3496140,5	3496140,5	3496140,5	3496140,5
6	Налоги 20 %, руб.	0	699228,1	699228,1	699228,1	699228,1
7	Итого отток, руб.	-3400000	1283087,6	1283087,6	1283087,6	1283087,6
8	Чистая прибыль, руб.	0	2796912,4	2796912,4	2796912,4	2796912,4
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-3400000	3075912,4	3075912,4	3075912,4	3075912,4
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833333	0,694444	0,578704	0,482253
11	Чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб.	-3400000	2563259,3	2136048,9	1780042,8	1483367,9
12	$\sum \text{ЧДД}$		7962718,9			
12	Итого NPV, руб.		4562718,9			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$\text{КД} = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

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

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 14678924,29 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

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

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

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

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

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

$$PI = 25178924,29 / 10500000 = 2,4$$

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

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

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_{опт_t}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 1.22.

Таблица 4.22 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-3400000	3075912,4	3075912,4	3075912,4	3075912,4	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный доход, руб.						
	0,1	-3400000	2796004,3	2540703,6	2310010,2	2100848,1	6347566,2
	0,2	-3400000	2562235	2134683,2	1777877,3	1482589,7	4557385,2
	0,3	-3400000	2365376,6	1820940,1	1399540,1	1076569,3	3262426,1
	0,4	-3400000	2196201,4	1568715,3	1119632,1	799737,2	2284286
	0,5	-3400000	2051633,5	1365705,1	907394,1	609030,6	1533763,3
	0,6	-3400000	1922445,2	1199605,8	750522,6	470614,5	943188,1
	0,7	-3400000	1808636,4	1030430,6	624410,2	344502,1	407979,3
	0,8	-3400000	1710207,2	950456,9	525981	292211,6	78856,7
	0,9	-3400000	1617929,9	852027,7	449083,2	236845,2	-244113,7
	1,0	-3400000	1537956,2	768978,1	384489	190706,5	-517870,2

Из таблицы 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 0,85.

Запас экономической прочности проекта:  $85\% - 20\% = 65\%$

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 4.23).

Таблица 4.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный денежный доход ( $i=0,20$ ), руб.	-3400000	2562235	2134683,2	1777877,3	1482589,7
2	То же нарастающим итогом, руб.	-3400000	-837765	1296918,2	3074795,5	4557385,2
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (2394715,01 / 6754402,55) = 1,39$ года				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 1.24) 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 4.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Высокие затраты на переработку вторичного полимера традиционным методом	Значительное уменьшение затрат на переработку вторичного полимера за счёт разработки в данной работе
Сложность переработки вторичного полимера традиционным методом	Упрощение получения таких же полимеров, методом, выбранным в данной научной работе

#### 4.14 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 как:

$$I_{\Phi}^p = \Phi_i / \Phi_{\max};$$

где:  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения, руб.;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта, руб.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a;$$

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже. В качестве аналога рассматривается проект по получению полимеров из вторичного сырья традиционным методом.

Таблица 4.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4
Помехоустойчивость	0,1	4	3
Энергосбережение	0,2	5	3
Надежность	0,2	4	3
Материалоемкость	0,2	4	4
ИТОГО:	1		

$$I_{\text{ТП}} = 0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 4 = 4,4;$$

$$I_{\text{Аналог}} = 0,2 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 4 = 3,5.$$

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

$$I_{\text{фин}}^p = I_m^p / I_{\text{ф}}^p; \quad I_{\text{фин}}^a = I_m^a / I_{\text{ф}}^a.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналога позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = I_{\text{фин}}^p / I_{\text{фин}}^a$$

Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель	1,14	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,5	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,69	4,77
4	Сравнительная эффективность исполнения	1,01	1,26

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

При сравнении значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным решением является переработка вторичного полимера аддитивным методом.