

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование механических свойств полимерных композиционных материалов
УДК 678.5-419.8-02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ ИШНПТ ТПУ	Бурков М.В.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина В.А.	К.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД ТПУ	Черемискина М.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	К.т.н.		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности

ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ О.Ю.Ваулина
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна

Тема работы:

Исследование механических свойств полимерных композиционных материалов	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №57-51/с от 26.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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>Объектами исследования являются образцы из полиимида и композита с полиимидной матрицей, имеющего следующий состав: 80 мас.% полиимида, 10 мас.% флуоралита, 10 мас.% молотых углеродных волокон.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>Обзор литературы по тематике работы, изготовление и подготовка образцов из исследуемых материалов и проведение испытаний на статическое и циклическое растяжение, получение фотографий поверхности излома, анализ полученных результатов.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p><i>Финансовый менеджмент...</i></p>	<p><i>В.А Маланина, доцент ОСГН ШБИП ТПУ</i></p>
<p><i>Социальная ответственность</i></p>	<p><i>М.С. Черемискина, ассистент ООД ТПУ</i></p>
<p><i>Материалы и методы исследования</i></p>	<p><i>А.В. Еремин, младший научный сотрудник ИФПМ СО РАН</i></p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.04.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ ИШНПТ ТПУ	Бурков М.В.	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Школдиной Ангелине Алексеевне

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 «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 500 тыс. руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 250 тыс. руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность».</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка взносов во внебюджетные фонды 30,2%. Районный коэффициент 1,3.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования. Расчет бюджетной стоимости НИП</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОГН ШБИП ТПУ	Маланина В.А.	К.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Тема ВКР:

Определение механических свойств полимерных композиционных материалов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p style="text-align: right;">Объект исследования: полиимид чистый и дисперсно-упрочненный.</p> <p style="text-align: right;">Область применения: трибологические соединения.</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 27.12.2018); ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. 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>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> -перенапряжение зрительного анализатора; -недостаточная освещенность рабочей зоны; -повышенный уровень шума на рабочем месте; -повышенный уровень электромагнитных излучений. <p>Опасные факторы:</p> <p>электрический ток; подвижные части производственного оборудования; оборудование, работающее под давлением выше атмосферного.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выделения летучих веществ;</p>

	Гидросфера: промышленные отходы, бытовые отходы; Литосфера: бытовые отходы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: землетрясение, пожар, обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, аварии на электроэнергетических системах. Наиболее типичная ЧС: аварии на электроэнергетических системах.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Школдина Ангелина Алексеевна		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.04.2021	<i>Литературный обзор</i>	30
30.04.2021	<i>Материалы и методы исследования</i>	30
17.05.2021	<i>Результаты механических испытаний</i>	30
24.05.2021	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	5
27.05.2021	<i>Социальная ответственность</i>	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ ИШНПТ ТПУ	Бурков М.В.	К.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	К.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 68 с., 20 рис., 13 табл., 30 источников.

Ключевые слова: полиимид, политетрафторэтилен, углеродные волокна, композиционные материалы, механические свойства, циклическая долговечность

Объектом исследования являются полиимид и композит с полиимидной матрицей и наполнителем в виде углеродных волокон и флуоралита.

Цель работы – исследование механических характеристик ненаполненного и наполненного полиимида при помощи проведения испытаний на статическое и циклическое растяжение и анализ влияния наполнителя на механические свойства.

В процессе исследования проводились испытания на статическое растяжение и усталость на сервогидравлической испытательной машине, фотографирование поверхности излома при помощи растрового электронного микроскопа.

В результате исследования были определены предел прочности, относительная деформация при разрыве, модуль упругости, относительный предел текучести, усталостная долговечность ненаполненного и наполненного полиимида.

Область применения: данная работа направлена на исследование механических характеристик материала, который может применяться как твердый смазочный материал в узлах трения.

В будущем планируется исследование адгезии между матрицей и волокнами, возможен поиск аналогов флуоралита как твердосмазочного наполнителя в виду его низкой адгезии к полиимиду.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. МУВ – молотые углеродные волокна
2. ПИ – полиимид
3. ПТФЭ – политетрафторэтилен
4. РЭМ – растровая электронная микроскопия

Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Полимеры и композиционные материалы	16
1.2 Композиты на основе полимерной матрицы.....	19
1.3 Механические свойства полимеров и полимерных композитных материалов	21
2 Материалы и методы исследования.....	24
2.1 Изготовление образцов.....	24
2.2 Методики механических испытаний и оборудование	28
3 Результаты механических испытаний	31
3.1 Результаты испытаний на статическое растяжение	31
3.2 Результаты усталостных испытаний.....	35
3.3 Общие выводы.....	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	41
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	42
4.1.3 SWOT-анализ.....	43
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	45
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	45
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования	46

4.3 Бюджет научно-технического исследования	48
4.3.1 Расчет материальных затрат НИ	49
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	49
4.3.3 Зарботная плата исполнителей темы	50
4.3.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	51
5 Социальная ответственность	53
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	53
5.2 Производственная безопасность	55
5.3 Экологическая безопасность	59
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	60
Заключение	63
Список публикаций.....	64
Список используемых источников.....	65

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в узлах трения в качестве твердой смазки могут быть использованы различные конструкционные материалы, в том числе и полимеры. Полиимид является прежде всего конструкционным полимером, который сохраняет механические и эксплуатационные свойства при повышенных температурах. Из недостатков чистого полиимида стоит отметить высокий коэффициент трения и низкую износостойкость [1,2].

С целью улучшения трибологических свойств ненаполненного полиимида был рассмотрен композит с полиимидной матрицей и наполнителем в виде политетрафторэтилена (ПТФЭ). Для определения потенциального состава такого композита предварительно были рассмотрены различные формы ПТФЭ как наполнителя (частицы, волокна, легкая фракция ПТФЭ – флуралит). При содержании 10 мас.% флуралита в полиимиде механические свойства композита выше, чем при заполнении матрицы частицами или волокнами за счет более равномерного распределения ПТФЭ в объеме материала [1]. Также композит с флуралитом имеет самые низкие коэффициент трения и скорость износа из всех рассмотренных в [1] материалов.

Но так как материал должен быть также конструкционным, то важно, при повышении трибологических свойств, изменение механических характеристик сделать минимальным. Введение в полиимид флуралита в качестве твердой смазки существенно повышает его трибологические свойства, однако, при этом портится структура материала и снижаются механические характеристики, что критически сказывается на эксплуатационных параметрах такого полимера [1].

Для преодоления снижения механических свойств в смесь полиимида с флуралитом предложено добавить микроразмерные углеродные волокна, позволяющие повысить жесткость материала, предел текучести и предел прочности [2]. Для улучшения адгезии между матрицей и наполнителем также было предложено использовать отождённые углеродные волокна.

Предварительные исследования показали, что потенциальным составом с требуемой комбинацией свойств является следующее соотношение наполнителей: 80 мас.% полиимида (ПИ), 10 мас.% флуоралита и 10 мас.% отожжённых молотых углеродных волокон (МУВ_{отож}). Такое соотношение массы наполнителей и матрицы обуславливают низкие коэффициент трения и скорость износа материала при достаточно высоких значениях предела прочности и модуля упругости [2].

Так как механические свойства предлагаемого трехкомпонентного материала ранее были изучены недостаточно, то целью данной работы является исследование механических характеристик полимерного композиционного материала (80 мас.% ПИ, 10 мас.% ПТФЭ, 10 мас.% МУВ_{отож}) и ненаполненного полиимида. В частности, проведение испытаний на усталость и на статическое растяжение, анализ полученных данных, изучение снимков поверхности.

1 Литературный обзор

1.1 Полимеры и композиционные материалы

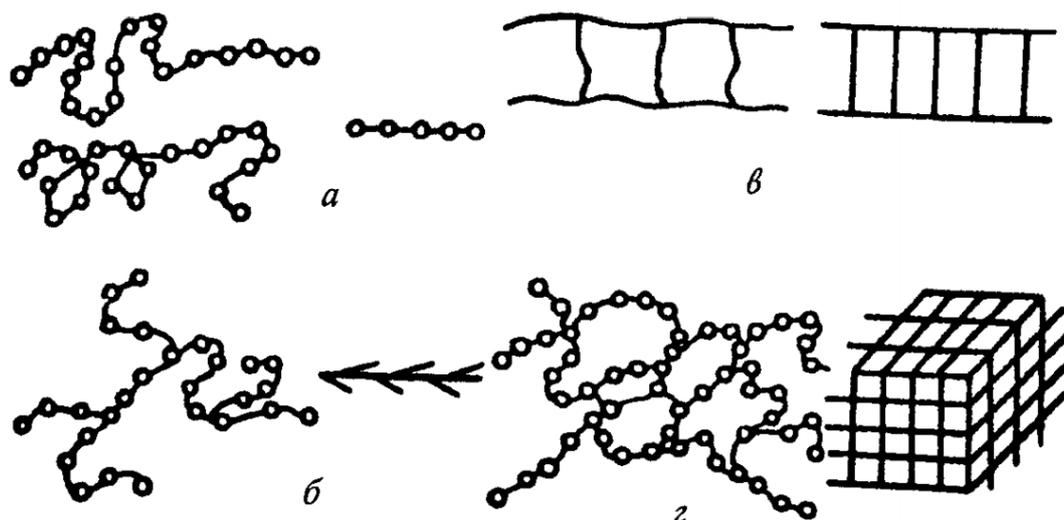
Существует множество определений полимеров, но в целом суть одна и та же: полимеры представляют собой высокомолекулярные соединения, построенные путем повторения атомных групп, соединенных химическими связями в макромолекулы [3]. Атомные группы, образующие полимеры, являются низкомолекулярными соединениями и называются мономерами.

Процесс синтеза полимеров называют полимеризацией. Степень полимеризации определяется количеством мономеров в цепи высокомолекулярного соединения.

Полимеры могут быть получены либо при поликонденсации, либо за счет процесса полиприсоединения. Под поликонденсацией понимают ступенчатую реакцию, в ходе которой происходит возникновение химической связи между множеством мономеров (как одинаковых, так и двух различных групп мономеров) и при этом образуются побочные продукты, такие как аммиак, вода, хлороводород и др. При полиприсоединении, в отличие от поликонденсации, не возникает побочных продуктов, так как ступенчатая реакция полиприсоединения протекает за счет множественного взаимодействия иономеров с мономерами, обладающими двойными связями или активными циклами, то есть происходит разрыв химических связей в молекулах мономеров и к ним присоединяются иомеры [4].

Существуют различные классификации полимеров, но среди них можно выделить основные: по происхождению (природные и синтетические), по составу (органические, неорганические, элементоорганические), по типу структуры и по отношению к нагреву [5].

Полимеры могут иметь четыре типа структур: линейную, линейно-разветвленную, лестничную и пространственную сетчатую (рисунок 1) [4].



а) линейная, б) линейно-разветвленная, в) лестничная, г) пространственная сетчатая

Рисунок 1 – Различные типы структур полимеров [4]

Если полимеры имеют линейную структуру, то они выглядят как длинные, закрученные в спираль или зигзагообразные, цепочки. Цепочки состоят из многократно повторяющейся структурной группы (звена цепи). Такое строение обеспечивает эластичность материала. Полимеры с линейно-разветвленной структурой состоят из основной цепи (как линейные) и имеют боковые ответвления. В молекуле полимера с лестничной структурой две цепочки соединены химическими связями. Так как в некоторых случаях при соединении макромолекул между собой возникают прочные химические связи в поперечном направлении, то образуются полимеры с пространственной структурой. Они имеют сетчатую структуру с различной плотностью сетки или пространственную сетчатую структуру.

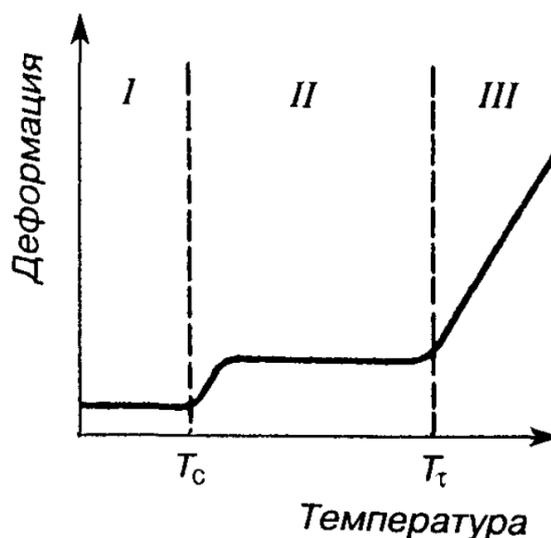
По отношению к нагреву полимеры делят на термопластичные и терморезистивные. Термопластичные полимеры при нагреве размягчаются и плавятся, а при охлаждении затвердевают. Процесс плавления полностью обратим, так как не происходит химических превращений. Структура их молекул линейная или линейно-разветвленная. Терморезистивные полимеры – полимеры, изначально имеющие линейную структуру, при нагреве размягчаются, далее,

протекают химические реакции, в ходе которых полимеры приобретают пространственную структуру и превращаются в твердое вещество. Процесс нагрева в данном случае необратим [4].

Отличительной особенностью полимеров от других материалов являются их специфические свойства. Они в значительной мере зависят от фазового состояния, в котором находится полимер (кристаллическое или аморфное), и от деформационного физического состояния (стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее).

Для оценки фазового состояния используется понятие степени кристалличности. Степень кристалличности показывает соотношение количества кристаллической фазы к общему количеству фаз: и аморфной, и кристаллической [5].

В отличие от металлов, механические свойства полимеров сильнее зависят от температуры. Характеристикой полимеров, отражающей эту зависимость, является деформируемость (рисунок 2) [4].



T_c и T_t — температуры соответственно стеклования и начала вязкого течения, I, II, III — участки соответственно стеклообразованного, высокоэластичного и вязкотекучего состояний

Рисунок 2 — Термомеханическая кривая аморфного полимера с линейной структурой [4]

Как видно из графика, при повышении температуры деформируемость растет, что стоит учитывать при оценке технологических и эксплуатационных свойств.

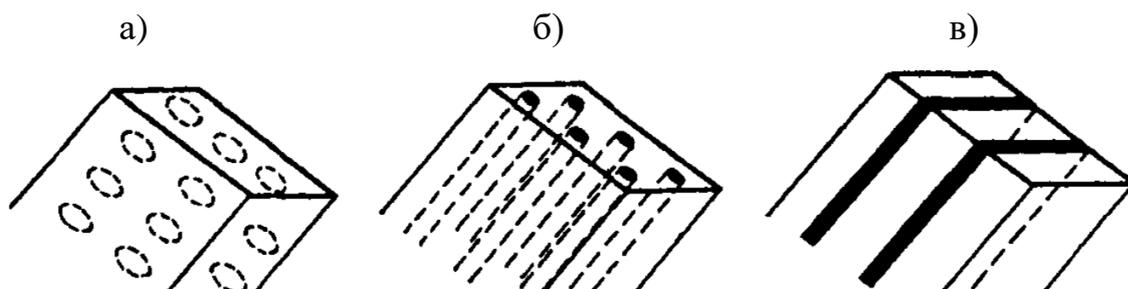
1.2 Композиты на основе полимерной матрицы

Полимеры могут быть представлены в виде волокон, пленок, лаков и т.д. Свойства полимеров в зависимости от их вида могут кардинально различаться. Эта особенность способствует широкому применению полимеров при создании композитных материалов.

Применение композитных материалов особенно актуально в случаях, когда требования к материалу противоречивы, так как композитные материалы представляют собой объемную систему, которая включает два (или более) различных компонента, которые сильно отличаются по своим свойствам, но при этом структура этой системы позволяет использовать достоинства каждой составляющей. Компоненты данной системы должны быть нерастворимы друг в друге [4].

Необходимые эксплуатационные и механические свойства композитного материала достигаются за счет подбора материала матрицы и типа, размера, ориентации наполнителя и их соотношения. Матричный материал более пластичен, чем наполнители, потому что он является основой, которая обеспечивает цельность материала, передачу напряжений на арматуру и распределение напряжений по объему композита [6]. В зависимости от материала основы бывают композиционные материалы с металлической, с полимерной или с керамической матрицей.

Обеспечение различных характеристик материала (например, повышение твердости или прочности) происходит за счет добавления в материал матрицы наполнителя. По типу упрочняющего наполнителя различают дисперсноупрочненные, волокнистые и слоистые композиционные материалы [4] (рисунок 3).



а) дисперсноупрочненные, б) волокнистые, в) слоистые
 Рисунок 3 – Схема строения композиционных материалов [4]

При дисперсном упрочнении в материале матрицы равномерно распределяют мелкодисперсные частицы, которые в дальнейшем препятствуют распространению дислокаций при внешней нагрузке. В волокнистых композитных материалах свойства определяются как видом арматуры (нити, ленты, сетки различного плетения), так и ее расположением – арматура может быть расположена по одноосной, двухосной и трехосной схеме [4]. Структура слоистых композитных материалов состоит из чередующихся между собой слоев матричного материала и наполнителя.

Как уже отмечалось ранее, от типа наполнителя и его расположения в матрице зависят свойства композитного материала, а точнее его изотропность. Самой высокой изотропностью обладают дисперсноармированные композитные материалы, наиболее анизотропны волокнистые с одноосной схемой армирования. Также слоистые и волокнистые материалы могут быть квазиизотропными, так как они анизотропны в микрообъеме, но изотропны по всему объему за счет расположения армирующих элементов [7].

Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов материалов. Полимеры для матрицы могут быть в виде порошков, гранул, листов, пленок или в виде связующих. Под связующими подразумевается двух- или многокомпонентная система, в состав которой входит сам полимер и различные добавки (отвердители, катализаторы и т.д.) [7]. В качестве полимерной матрицы обычно

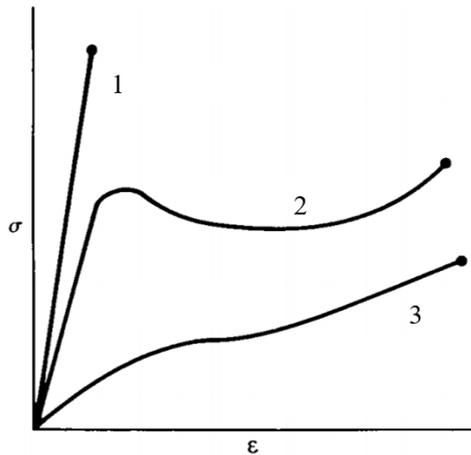
используют различные пластические массы: эпоксидные и полиэфирные смолы, полиамиды, полиимиды, фторопласты и т.п. [3].

1.3 Механические свойства полимеров и полимерных композитных материалов

Для корректного проектирования и конструирования изделий из любого материала необходимо понимание различных аспектов его поведения. Одним из основных аспектов поведения материала являются его механические свойства. Механические свойства представляют собой совокупность параметров, которые характеризуют сопротивление материала внешнему силовому воздействию. Они описываются при помощи прочностных, упругих, вязкоупругих, деформационных свойств и твердости [3]. Чаще всего рассматривают предел прочности материала в паскалях (напряжение макроскопического разрушения образца), деформация при разрушении в процентах, модуль упругости в паскалях, условный предел текучести в паскалях и др.

Механические свойства композитного материала в первую очередь определяются свойствами самой матрицы. Если рассматривать композитный материал с полимерной матрицей, то большое влияние на механические свойства оказывают строение и размеры молекул полимера, надмолекулярная структура полимера, вид и химическая природа армирующей составляющей, межфазные явления и адгезия на границах раздела полимер-наполнитель и т.д. Механические характеристики самого полимера также определяются и такими внешними факторами как температура, давление, с какой скоростью и частотой происходит нагружение и т.п. [4].

Стоит рассмотреть три вида кривых напряжение-деформация для различных полимеров, представленных на рисунке 4 [8].



1 – хрупкий пластик, 2 – жесткий пластик, 3 - эластомер

Рисунок 4 – Кривые зависимости деформации от напряжения для трех видов полимеров

Модуль Юнга, он же модуль упругости, для хрупких пластиков часто приближен к $3 \cdot 10^9$ Па. Модуль Юнга эластомера меньше, чем у жесткого пластика, модуль Юнга которого меньше, чем у хрупкого пластика [8]. Модуль Юнга возрастает при армировании полимеров. Он свидетельствует о жесткости материала.

Одним из распространённых вариантов повышения таких механических характеристик как прочность, износостойкость и модуль упругости полимерных композитных материалов является дисперсное упрочнение.

Для понимания поведения композитного материала проводятся различные виды испытаний, в том числе испытания на статическое и усталостное нагружение, в ходе которых проводится исследование зависимости напряжения от деформации образца. В зависимости от способа приложения нагрузки испытания на статическое нагружение разделяют на статическое растяжение, статическое сжатие, изгиб и кручение. Композитные материалы при статическом нагружении могут вести себя как хрупкие материалы, как пластические материалы и как материалы со сложной текучестью [9].

Испытания на усталость представляют собой многократное повторяющееся нагружение образцов стандартной формы и размеров вдоль оси образца. Нагрузка может быть сжимающей и растягивающей, ее значение может

составлять различные доли от разрушающей нагрузки [10]. Под действием такого циклического нагружения в материале происходит накопление повреждений, что приводит к разрушению материала. Этот процесс называется усталостью, а способность материала выдерживать циклические нагрузки – выносливостью. Стоит отметить, что разрушение при испытаниях на усталость происходит при напряжениях, значительно ниже предела прочности или предела текучести.

Опытным путем было установлено, что на значение усталостной прочности значительное влияние оказывают значения максимального и минимального напряжений, и оно не зависит от значений напряжений в промежутке между минимумом и максимумом. Поэтому циклическое изменение напряжений можно описать синусоидальной кривой [11].

Коэффициент асимметрии считается основной характеристикой циклического нагружения и определяется как отношение минимального напряжения в цикле к максимальному:

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}, \quad (1)$$

где R - коэффициент асимметрии цикла;

σ_{\min} – минимальное напряжение в цикле, Па;

σ_{\max} – максимальное напряжение в цикле, Па.

Если минимальное и максимальное напряжения равны по модулю и противоположны по знаку, то цикл считается симметричным, другие циклы – асимметричными [11].

В ходе усталостных испытаний получают значения максимального напряжения цикла в сечении образца и число циклов до разрушения образца. На основе этих данных для каждого из многих стандартных образцов, испытанных при различных напряжениях, строится график зависимости напряжения от числа циклов до разрушения – кривая усталости [11].

2 Материалы и методы исследования

2.1 Изготовление образцов

В данном случае, с целью получения необходимых свойств материала, необходимо использовать смесь различных порошков. Смешение позволяет снизить композиционную неоднородность системы [7].

Значение плотности воды близко к значению плотности полимера, поэтому полимер плохо тонет в воде. В связи с этим смешивание производится в спирте, так как плотность полимера больше плотности спирта. К тому же использование спирта обеспечивает хорошее смачивание, за счет низкого поверхностного натяжения. Также перемешивание в спирте предотвращает распыление легких частичек полимера и наполнителя в воздухе. Многоэтапность смешивания позволяет достичь равномерного распределения частиц в объеме.

Для изготовления смеси массой 80 г состава 80 мас.% ПИ, 10 мас.% ПТФЭ и 10 мас.%МУВ_{отож} необходимо:

1. полиимид марки 1600 – 64 г;
2. политетрафторэтилен или низкомолекулярный фторопласт (флуралит) – 8 г;
3. молотые углеродные волокна длиной 200 мкм, отожженные (при 500 °С 30 мин. на воздухе - для удаления аппрета) – 8 г.

Технология подготовки стандартной смеси из полиимида представлена ниже. Сначала рассмотрим процесс подготовки флуралита. Все дальнейшие операции производятся с флуралитом, находящимся в спирте. Первый шаг – механическое перемешивание магнитным смесителем ИКА С-MAG HS 4 в течение 30 мин. Затем производится ультразвуковое флуралита в спирте в течение 6 минут. Далее для перемешивания использовался турбосмеситель ИКА T18 digital ULTRA TURRAX в течение одной минуты при 12 200 об/мин, потом 15 секунд с увеличением частоты вращения до 14 000 об/мин. В результате такого перемешивания на поверхности за счет наличия легкой фракции флуралита образуется слой белой пены (рисунок 5).



Рисунок 5 – Внешний вид флуралита после перемешивания турбосмесителем

Флуралит был добавлен в полиимид и тщательно перемешан, полученная смесь была помещена в ультразвуковую ванну ПСБ-Галс на 5 минут. Затем турбосмесителем перемешиваем ту же смесь при 13 000 об/мин на протяжении 1 минуты и 15 секунд при 14400 об/мин.

Подготовка углеродных волокон производилась следующим образом: ультразвуковое перемешивание 3 раза по 2 мин, смешивание полиимида и флуралита с углеродными волокнами сначала вручную, а затем при помощи лопастного смесителя в течение 30 мин (из них 15 мин при 500 об/мин и остальное время при 750 об/мин).

Полученная смесь выливается в поддон и ставится в сушильный шкаф ШС-20 для просушивания (рисунок 6). Режим сушки: при 85 °С на 30 минут для того, чтобы испарился спирт, и до 125 °С на 3 часа для полного высыхания.



Рисунок 6 – Процесс сушки полученной смеси

В результате сушки была получена смесь, состоящая из 80 мас.% ПИ, 10 мас.% ПТФЭ и 10% МУВотож (рисунок 7 а), которая в дальнейшем была дополнительно перемешана при помощи измельчителя Gemlux (рисунок 7 б).

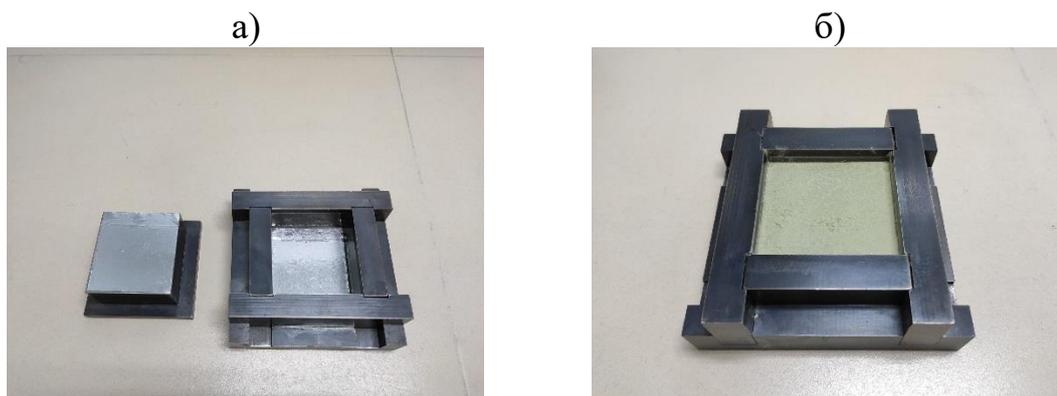


а) сразу после сушки, б) после измельчения

Рисунок 7 – Смесь полиимида с флуоралитом и углеродными волокнами

Для спекания образца из чистого полиимида порошок был изготовлен следующим образом: полиимид размешивали в спирте при помощи турбосмесителя, далее он просушивался и был измельчен в блендере Gemlux.

После всех ранее описанных стадий порошок засыпается в пресс-форму, представленную на рисунке 8 а, и вручную компактируется (рисунок 8 б) с целью удаления излишек воздуха, что приводит к увеличению насыпной плотности порошка.



а) пустая, б) наполненная полученным порошком

Рисунок 8 – Пресс-форма

Следующим шагом является спекание образца методом горячего прессования (рисунок 9). Для чистого полиимида и для наполненного параметры горячего прессования одинаковы.

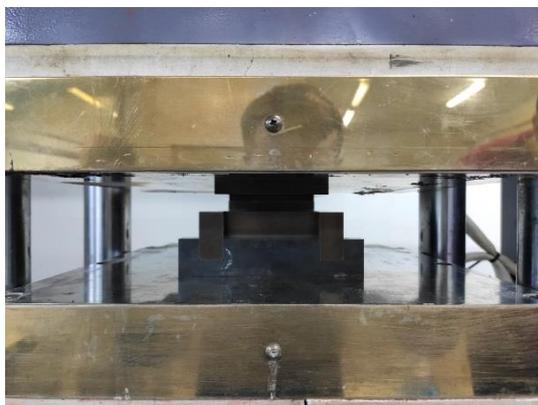


Рисунок 9 – Процесс горячего прессования

Горячее прессование состоит из нескольких этапов: компактирование под давлением пресса, нагрев, второе компактирование в несколько этапов с релаксацией, охлаждение под давлением и без давления, затем медленное охлаждение на воздухе. Медленное охлаждение позволяет структуре правильно сформироваться – без образования трещин и возникновения остаточных внутренних напряжений.

Компактирование под давлением пресса происходит при 20 °С в три этапа: давление 4 т (10 МПа), 8 т (20 МПа) и 18 (40 МПа). Нагрев до 300 °С происходит в течение 60-70 мин. При нагреве до 310 °С происходит второе компактирование под давлением 4 т с релаксацией (4 раза), выдержка 30 мин., поджим при давлении 4 т с релаксацией (3 раза). Охлаждение происходило под давлением 7 т (15 МПа) со скоростью 2 °С/мин. до 150 °С. Далее производилось медленное охлаждение на воздухе.

В итоге была получена заготовка в форме параллелепипеда с размерами 60×70 мм и толщиной 10 мм, из которого в дальнейшем будут изготавливаться все образцы для исследования (рисунок 10).

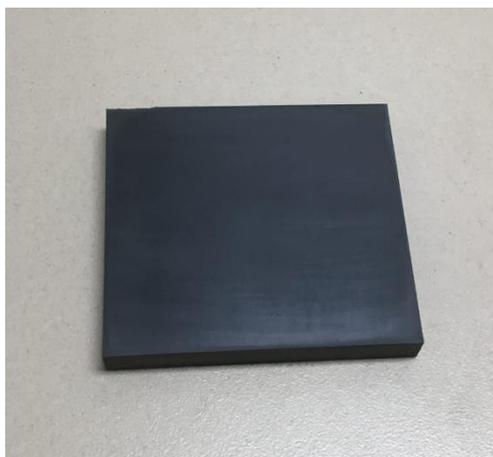


Рисунок 10 – Полученная заготовка, из которой будут вырезаться образцы для испытаний

2.2 Методики механических испытаний и оборудование

Методика испытания на статическое растяжение:

1. Все образцы имели одинаковые габаритные размеры, толщину (2,7 мм) и форму (рисунки 11 и 12).



Рисунок 11 – Внешний вид образца

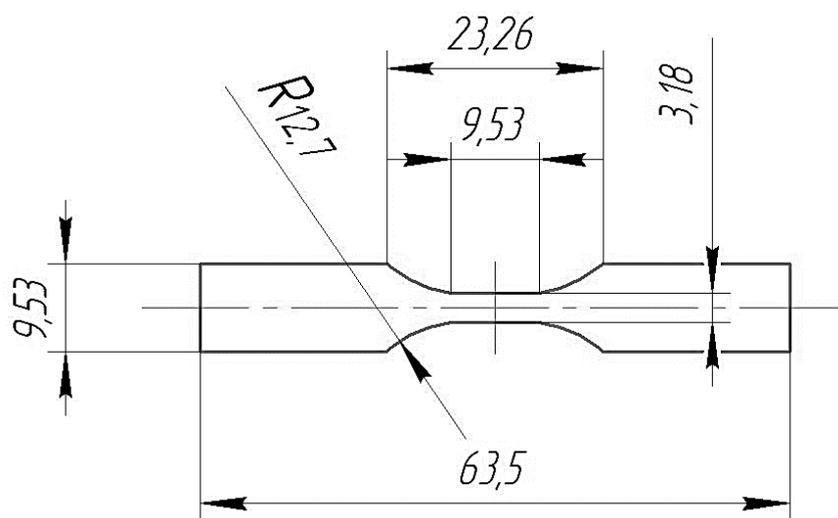


Рисунок 12 – Чертеж образца

Испытания на статическое растяжение производились в соответствии со стандартом ASTM D638-14 (Standard test method for tensile properties of plastics).

2. Оборудование, используемое в данном испытании: сервогидравлическая испытательная машина BISS Nano 15 kN, фотоаппарат Canon 750D с объективом Canon EF 70-300mm f/4-5.6L, светодиодный осветитель Jinbei EF-100 LED Sun Light мощностью 100 Вт.

3. Параметры испытания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры испытания на статическое растяжение

Параметр	Значение
Скорость нагружения	1 мм/мин
Частота фотографирования	1 раз в 5 сек
Частота записи данных с датчика испытательной машины (датчик нагрузки, датчик перемещения подвижного захвата)	5 Гц

Для фотофиксации поверхности образцов на поверхность при помощи краски из баллончика был нанесен спекл, который представлял собой белый фон с черными точками (рисунок 11). Фотофиксация осуществлялась для проведения анализа методом корреляции цифровых изображений (DIC – Digital Image Correlation). Суть DIC метода заключается в отслеживании перемещения поверхности образца в процессе испытаний, в данном случае, на статическое растяжение.

Методика испытания на циклическое растяжение (усталость):

1. Образцы, используемые для испытаний на циклическое растяжение, совпадают с образцами на статическое растяжение и описаны ранее.

Испытания производились в соответствии со стандартом ASTM D7791- 17 (Standard Test Method for Uniaxial Fatigue Properties of Plastics).

2. Оборудование, используемое в данном испытании: сервогидравлическая испытательная машина BISS Nano 15 kN, фотоаппарат Canon с объективом Canon EF 70-300mm f/4-5.6L, светодиодный осветитель Jinbei EF-100 LED Sun Light мощностью 100 Вт. А также инфракрасный датчик Melexis MLX90614 для бесконтактного измерения температуры.

3. Режимы испытания представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры испытания при циклическом испытании

Параметр	Значение
Форма цикла нагружения	треугольная
Коэффициент асимметрии цикла в начале испытаний	0
Частота нагружения	1 Гц
Частота фотографирования производилась в максимальной и минимальной точке цикла	1 раз в 100 циклов
Частота записи данных с датчика испытательной машины (датчик нагрузки, датчик перемещения подвижного захвата)	100 Гц
Критерий остановки	Выполнение одного из условий: 1. Разрушение образца; 2. Падение максимальной нагрузки в цикле в два раза ($P_{max}/2$); 3. Достижение циклической долговечности $N=5 \cdot 10^6$ циклов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел нацелен на оценку перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках научно-исследовательского проекта. Для того, чтобы корректно провести данную оценку необходимо решить следующие задачи:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данная работа посвящена получению и исследованию механических характеристик полиимида двух видов: чистого и дисперсно-упрочненного при помощи флуоралита и углеродных волокон. Полимеры активно используется как твердый смазочный материал в трибологических соединениях. Композитный материал (80 мас.% полиимида, 10 мас.% флуоралита и 10 мас.% углеродных волокон) был разработан с целью повышения трибологических свойств полиимида. Но при добавлении в состав полиимида флуоралита, его механические свойства заметно снижаются. Для повышения именно механических свойств материала в его состав добавляются углеродные волокна. Полученный композитный материал имеет более высокие эксплуатационные характеристики, чем чистый полиимид.

Использование композитного материала в виде смазки в трибологических соединениях вместо изделий из чистого полиимида позволяет продлить срок службы узлов трения и, соответственно, сократить расход ресурсов производств на замену трибологических соединений, их ремонт. Следовательно, возможно сокращение времени простоя оборудования.

Результаты данной работы свидетельствуют о повышении механических характеристик разработанного композитного материала в сравнении с ненаполненным полиимидом при различных видах механических испытаний. Результаты исследования могут быть использованы различными отечественными заводами по производству изделий из полимеров. Потенциальными пользователями могут быть такие компании как ООО НПФ «Полипласт» или ООО «ТД Пластмасс Групп».

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В связи с постоянной изменчивостью рынка, выход на рынок новых разработок анализ конкурирующих разработок необходимо проводить систематически.

При сравнении аналогов в таблице 5 будут рассмотрены следующие материалы: ненаполненный полиимид (Б₁), композитный материал на основе полиимида состава 80 мас.% ПИ, 10 мас.% флуоралита и 10 мас.% МУВ_{отож} (Б₂), политетрафторэтилен (Б₃). Сравнение данных материалов производится с точки зрения их использования как твердых смазочных материалов. Так как материалы, исследуемые в данной работе, находятся на стадии разработки и изучения, то при анализе конкурентных технических решений экономические критерии оценки не принимались во внимание.

Оценивание будет проходить экспертным путем по каждому показателю по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее сильный, а 1 – наименее. Вес всех показателей в сумме составляет 1.

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	Б ₁	Б ₂	Б ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,20	3,00	4,00	3,00	0,60	0,80	0,60
2. Надежность	0,25	3,00	4,00	3,00	0,75	1,00	0,75
3. Механические характеристики	0,30	3,00	5,00	4,00	0,90	1,50	1,20
4. Способность работать при повышенных температурах	0,25	2,00	4,00	2,00	0,50	1,00	0,50
ИТОГО	1,00	11,00	17,00	12,00	2,75	4,30	3,05

Как видно из приведенной выше таблицы, наивысшей конкурентоспособностью обладает композитный материал на основе полиимида.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой инструмент для комплексного рассмотрения сильных и слабых сторон проекта, возможностей и угроз, а также сопоставление сильных и слабых сторон к условиям внешней среды. Такой анализ позволяет рассмотреть как внутреннюю, так и внешнюю среду проекта. Результаты SWOT-анализа для данной научно-исследовательской работы представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение механических и эксплуатационных характеристик 2. Экологичность технологии (композитный материал перерабатываемый) 3. Возможность создания материала с заданными свойствами 	<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Процесс разработки состава композита сам по себе является сложным 2. Не проработаны вопросы вывода материала на рынок
<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность автоматизации производства изделий из данного композитного материала 2. Возможность использования в разных отраслях производства 	<p>Сопоставление сильных сторон и возможностей: в перспективе возможно создание экологичного автоматизированного производства изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками в различных отраслях промышленности.</p>	<p>Сопоставление слабых сторон и возможностей: если нормировать состав и технологию производства материала, то возможно будет вывести на рынок изделия из разработанного материала в соответствии с запросами потребителей.</p>
<p>Угрозы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рост стоимости сырья, оборудования для производства; 2. Отсутствие спроса на новые технологии; 3. Недостаточное финансирование 	<p>Сопоставление сильных сторон и угроз: продвижение технологии изготовления изделий из разработанного материала за счет его универсальности и экологичности, отсутствие спроса на новые технологии производства не значительно окажут негативное влияние на проект.</p>	<p>Сопоставление слабых сторон и угроз: необходимо проведение значительного количества испытаний для нормирования состава композита, что может оказаться дорогостоящим при росте стоимости сырья и оборудования и, соответственно, может привести к уменьшению спроса в связи с увеличением себестоимости изделий. Из-за отсутствия стратегии вывода материала на рынок возможно отсутствие своевременного финансирования исследований.</p>

Данный проект имеет несколько сильных сторон и возможностей, что свидетельствует о достаточном количестве внутренних ресурсов для реализации в будущем. Однако, для того чтобы эффективно противостоять угрозам необходимо не только задействовать сильные стороны, но и устранить большинство слабостей, которые имеют существенное влияние на дальнейший

ход событий. Возможность автоматизации производства изделий из разработанного композитного материала и экологичность процесса, также являются благоприятными факторами для внедрения на рынок результатов данного исследования.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для корректного и своевременного выполнения всех необходимых работ в ходе исследования был спланирован комплекс предполагаемых работ, представленный в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень работ и распределение обязанностей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1. Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2. Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	3. Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4. Подготовка порошковой полимерной смеси	Руководитель, студент
	5. Изготовление заготовок для образцов методом горячего прессования	Руководитель, студент
	6. Подготовка образцов из чистого и наполненного полиимида	Студент
	7. Проведение механических испытаний	Руководитель, студент
	8. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	9. Обработка результатов эксперимента	Студент
Составление отчета о продлённой работе	10. Составление отчетной документации, текстовых материалов проекта	Студент

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях. Временные показатели проведения исследования представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		руковод.	студент	руковод.	студент
	руковод.	студент	руковод.	студент	руковод.	студент				
Составление и утверждение технического задания	2,0	-	4,0	-	2,8	-	3,0	-	4,0	-
Подбор и изучение материалов по теме	10,0		18,0		13,2		7,0	7,0	10,0	10,0
Календарное планирование работ по теме	2,0	-	4,0	-	2,8	-	3,0	-	4,0	-
Подготовка порошковой полимерной смеси	2,0		4,0		2,8		2,0	2,0	3,0	3,0
Изготовление заготовок для образцов	1,0		3,0		1,8		1,0	1,0	1,0	1,0
Подготовка образцов	-	7,0	-	12,0	-	9,0	-	9,0	-	13,0
Проведение механических испытаний	14,0		21,0		16,8		9,0	9,0	9,0	9,0
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2,0	-	5,0	-	3,2	-	4,0	-	6,0	-
Обработка результатов эксперимента	-	5,0	-	7,0	-	5,8	-	6,0	-	9,0
Составление пояснительной записки	-	7,0	-	12,0	-	9,0	-	9,0	-	13,0

Трудоемкость была рассчитана по формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{(3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i})}{5}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы человеко-дни;
 t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} рассчитывалась как:

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

При переводе длительности этапов работ из рабочих дней в календарные использовался коэффициент календарности для пятидневной рабочей недели, равный 1,48.

Как видно из вышеприведенной таблицы количество календарных дней на выполнение работы для руководителя составило сорок один день, для студента – шестьдесят два дня, общее количество дней на выполнение работы равно 103 дня (при выполнении работ последовательно). На основе таблицы 8 строится график Ганта (рисунок 20).

№	Вид работ	T _{кi} , кол. дней		Продолжительность выполнения работ										
		рук.	студ.	февраль			март			апрель			май	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение ТЗ	4	-	■										
2	Изучение литературы	10	10		▨									
3	Календарное планирование	4	-			■								
4	Подготовка порошковой полимерной смеси	3	3				■	▨						
5	Изготовление заготовок для образцов	1	1					■	▨					
6	Подготовка образцов	-	13						▨					
7	Проведение механических испытаний	9	9							■	▨			
8	Сопоставление результатов с теор. исследованиями	6	-								■			
9	Обработка результатов эксперимента	-	9									▨		
10	Составление пояснительной записки	-	13											▨

■ - руководитель ▨ - студент

Рисунок 20 – Календарный план-график проведения научного исследования

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

4.3.1 Расчет материальных затрат НИ

В данном разделе рассматривается стоимость необходимых для разработки проекта материалов (таблица 9).

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Полиимид	кг	1	60 000	60 000
Флуралит	г	100	-	6000
Углеродные волокна	г	100	-	5000
Бумага для шлифования	шт.	20	200	4000
Перчатки одноразовые	шт.	50	-	350
Краска в баллончиках	шт.	2	200	400
Спирт	литр	1	80	80
Суммарная стоимость, руб.				75830
Коэффициент на транспортно-заготовительные расходы				0,15
ИТОГ (1,15*суммарная стоимость), руб.				87 205

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Стоимость оборудования, используемого при научном исследовании и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений (таблица 10). Амортизация прямо пропорциональна стоимости и количеству дней использования и обратно пропорциональна сроку службы и количеству дней в году (365).

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат на оборудование для НИ

Наименование	Кол-во единиц	Стоимость оборудования, руб.	Срок полезного использования, лет	Время использования, дни	Амортизация, руб.
1. Магнитный смеситель ИКА С-МАГ HS 4	1	47 376	5	3	78

Продолжение таблицы 10

2. Турбосмеситель ИКА T18 digital ULTRA TURRAX	1	123 410	5	3	202
3. Ультразвуковая ванна ПСБ-Галс	1	17 000	5	3	28
4. Сушильный шкаф ШС-20	1	27 000	9	3	25
5. Сервогидравлическая испытательная машина BISS Nano 15 kN	1	10 000 000	15	9	16 438
6. Фотоаппарат Canon 750D	1	50 000	5	9	247
7. Светодиодный осветитель Jinbei EF-100 LED Sun Light мощностью 100 Вт	1	17 500	5	9	86
8. ТРМ148 восьмиканальный ПИД-регулятор с RS-485	1	20 000	8	2	15
9. Пресс гидравлический Gotech на 50 тонн	1	200 000	10	2	109,5
10. Сканирующий электронный микроскоп VEGA3 TESCAN	1	17 000 000	15	3	9 315
ИТОГО					26 543

Суммарные затраты амортизационных отчислений составили 26 543 руб.

4.3.3 Заработная плата исполнителей темы

В данном разделе будет рассчитана как основная заработная плата исполнителей научного исследования, так и дополнительная. Исполнителями являются младший научный сотрудник ИФПИ СО РАН и студент, трудоустроенный как инженер.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет заработной платы исполнителей

	Руководитель	Студент
Заработная плата по тарифной ставке, руб.	29 000,00	20 000,00
Премияльный коэффициент (к _{пр})	0,30	
Коэффициент доплат и надбавок (к _д)	0,20	
Районный коэффициент (к _р)	1,30	
Месячный должностной оклад, руб.	56550,00	39000,00
Действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дни	213,00	213,00
Количество месяцев работы без отпуска в течение года	11,20	
Среднедневная заработная плата, руб.	2 974,00	2 051,00
Продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.	29,00	43,00
Основная заработная плата, руб.	86 232,00	88 180,00
Коэффициент дополнительной заработной платы	0,13	
Дополнительная заработная плата, руб.	11 210,00	11 463,00
Общая заработная плата	97 442,00	99 644,00
ИТОГ	197 086,00	

Дополнительная заработная плата рассчитывалась по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,13;

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

Дополнительная заработная плата составила 22 674 рублей. Общая заработная плата, состоящая из основной и дополнительной, равна 197 086 рублей.

4.3.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Для расчета общего бюджета НИ проекта все расходы были сведены в таблицу 12. Также формирование бюджета затрат НИ производилось с учетом отчислений во внебюджетные фонды и накладных расходов.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	87 205
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	26 543
3. Затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей темы	197 086
4. Отчисления во внебюджетные фонды (коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30,2%)	59 519
5. Накладные расходы (коэффициент накладных расходов 16%)	59 257
Бюджет	429 610

Выводы:

1. В ходе экономического планирования научно-исследовательской работы была определена целевая аудитория. По итогу проведенного анализа конкурентных технических решений проект является конкурентноспособным.

2. С помощью SWOT-анализа изучены слабые и сильные стороны проекта, возможности и угрозы, а также рассмотрены стратегии при сопоставлении каждого вышеописанного проекта.

3. Был разработан календарный график проведения работ и рассчитан общий бюджет исследования, общая сумма которого составила 429 610 рублей. Большую часть затрат составляют затраты на заработную плату.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Corrosion Behavior of the Mg0.8Ca Alloy Modified by Wollastonite Coating / M. B. Sedelnikova, A. V. Ugodchikova, Yu. P. Sharkeev, T. V. Tolkacheva, A. I. Tolmachev, A. A. Shkoldina, V. S. Egorkin, O. V. Kazmina and J. Schmidt // AIP Conference Proceedings – 2019. – Vol. 2167. – Article number 020314.