

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния состава полимерных композитов на их триботехнические характеристики

УДК 620.22-419.8-036.621.891

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6В	Яхин Альберт Аликович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ ТПУ	Кондратюк Алексей Алексеевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Петухов Олег Николаевич	к. э. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ ТПУ	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Панин Сергей Викторович	д. т. н., профессор		

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ С.В. Панин
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6В	Яхину Альберту Аликовичу

Тема работы:

Исследование влияния состава полимерных композитов на их триботехнические характеристики	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>В работе исследовали композиционные материалы на основе СВМПЭ, изготовленные методом горячего компрессионного формования. Длительность изготовления образцов составляла 4-5 часов, в качестве установки для горячего прессования использовалась уникальная собранная нами установка на основе разрывной машины «Р-20». Процесс горячего прессования заключается в одновременном прессовании и нагреве. Весь процесс можно поделить на 3 этапа: 1) Нагрев до 180°С при давлении P₁; 2) Выдержка при 180 °С и повышение давления до P₂ = 2P₁; 3) Охлаждение до 60 °С при давлении P₂. Данная установка безопасна, но требует соблюдение правил безопасности работы в лаборатории ОМ ИШНПТ ТПУ. Стоимость одного образца 125р. Всего изготовлено 10 образцов.</i>
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1. Литературный обзор, включающий информацию о нанодисперсных и нановолокнистых наполнителях, а также износостойкость композитных полимерных образцов и влияние на этот показатель введения добавок.</p> <p>2. Изготовление модельных заготовок полимерных композиций на основе СВМПЭ методом горячего компрессионного прессования.</p> <p>3. Исследование механических характеристик (износ, твердость), а также изучение теплофизических характеристик полученных композитов.</p> <p>4. Обсуждение результатов работы.</p> <p>5. Вводы о оптимальном количестве вводимого наполнителя для повышения износостойкости полимерных композитов на основе СВМПЭ.</p> <p>Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».</p>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация ВКР в Power Point

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	Петухов Олег Николаевич, доцент ОСГН ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович, ассистент ОКД ИШНКБ ТПУ
Английский язык	Парнюгин Александр Сергеевич, доцент ОИЯ ШБИП ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат - Abstract	
Введение - Introduction	
Экспериментальная часть – Experimental Section	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Ом ИШНПТ ТПУ	Кондратюк А. А.	к. т. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6В	Яхин Альберт Аликович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 134 с., 56 рис., 34 табл., 35 источников, 2 прил.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), нанонаполнители, износ и износостойкость, теплопроводность.

Объектом исследования является (ются) полимерные композиционные материалы с разнородными наполнителями на основе СВМПЭ, их износ, твердость в единицах Шора и Бринелля, а также теплопроводность.

Цель работы – Изучение изменения износа полимерных композитов на основе СВМПЭ в зависимости от их состава в условиях пары трения полимер-металл и сухого абразивного трения. А также исследование изменения твёрдости и изменения теплофизических характеристик от состава композита.

В процессе исследования проводились испытания триботехнических характеристик композитов, определены параметры теплопроводности и твердости.

В результате исследования получены зависимости влияния количества нанонаполнителя на износ полимерных композитов. Влияние вида вводимого наполнителя на износ, твёрдость и теплопроводность композита.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полученные в ходе исследований характеристики исследованных композитов нуждаются в уточнении путем дополнительных экспериментов.

Экономическая эффективность/значимость работы: По результатам НИР были выполнены поставленные задачи. Однако, поскольку данная НИР относится к поисковым работам, то оценивать её эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта.

В будущем планируется углубленное исследование композитов с различными дисперсными наполнителями.

ABSTRACT

Final qualifying work 134 p., 56 fig., 34 tab., 35 sources 2 adj.

Key words: polymeric composite material, ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), nanofillers, wear and wear resistance, thermal conductivity.

The object of the study is (are) polymer composite materials with heterogeneous fillers based on UHMWPE, their wear, hardness in Shore and Brinell units, and also thermal conductivity.

The purpose of this work is to study the change in wear of polymer composites based on UHMWPE, depending on their composition under conditions of the polymer-metal friction pair and dry abrasive friction. And also the study of the change in hardness and changes in thermophysical characteristics from the composition of the composite.

In the process of research tribotechnical characteristics of composites were tested, the parameters of heat conductivity and hardness were determined.

As a result of the study, the influence of the amount of nanofiller on the wear of polymer composites was obtained. Influence of the type of filler applied on the wear, hardness and thermal conductivity of the composite.

Basic structural, technological and technical-operational characteristics: the characteristics of the investigated composites obtained during the research need to be clarified by additional experiments.

Economic efficiency / significance of the work: According to the results of the research, the tasks were fulfilled. However, since this research is related to prospecting works, it is premature to evaluate its effectiveness. Efficiency can only be determined after carrying out applied research, the result of which will be the production of the final product.

In the future, in-depth study of composites dispersed fillers and composites with continuous fibers.

Оглавление

Введение	9
1 Литературный обзор	11
1.1 Полимеры, строение и микроструктура	11
1.2 Свойства и применение объемных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ)	15
1.3 Определения и классификация полимерных композитов	17
1.4 Классификация наполнителей	18
1.5 Компрессионное формование	22
1.6 Трибология и триботехнические характеристики полимерных композиционных материалов	25
1.7 Износ и износостойкость материалов	28
1.8 Теплопроводность полимерных композиционных материалов	33
2 Объект и методы исследования	39
2.1 Постановка задачи	39
2.2 Материалы и методика эксперимента	39
3 Экспериментальная часть	43
3.1 Создание образцов методом горячего прессования (ГП)	43
3.2 Создание композиций	45
3.2.1 Определение гранулометрического состава	45
3.2.2 Технология создания композиций	47
3.2.3 Горячее компрессионное спекание (горячее прессование) заготовок	47
3.3 Определение твердости по Бринеллю и по Шору у полученных композитов	49
3.4 Исследования образцов на износ	53
3.5 Исследование теплофизических характеристик композитов на основе СВМПЭ	63
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
4.1 Техничко-экономическое обоснование и потенциальные потребители научно – исследовательской работы	69
4.2 SWOT анализ НИР	70
4.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию	73

4.3.1	Разделение НИР на этапы	73
4.3.2	Определение трудоемкости этапов НИР	75
4.3.3	Техническая готовность темы	77
4.3.4	Построение графика работ	78
4.3.4.1	Составление сметы затрат на НИР	80
4.3.4.2	Затраты на амортизацию оборудования	81
4.3.4.3	Затраты на основные и вспомогательные материалы	81
4.3.4.4	Затраты на заработную плату	82
4.3.4.5	Страховые отчисления	83
4.3.4.6	Затраты на электроэнергию	83
4.3.4.7	Смета затрат на НИР	84
4.4	Анализ и оценка научно-технической уровня проекта	86
4.5	Оценка важности групп рисков НИР	88
5	Социальная ответственность	94
5.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	94
5.1.1	Микроклимат	95
5.1.2	Производственный шум	97
5.1.3	Освещенность	98
5.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	103
5.2.1	Факторы электрической природы	103
5.2.2	Факторы пожарной и взрывной природы	106
5.3	Охрана окружающей среды	108
5.4	Защита в ЧС	109
5.5	Организационные мероприятия обеспечения безопасности	110
	Заключение	113
	Список публикаций	114
	Список используемой литературы	116
	Приложение А	120
	Приложение Б	134

Введение

С постоянным развитием науки и техники, а также с появлением новых технологий и потребностей общества происходит повышение таких важных характеристик конструкционных материалов, как прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, коррозионная и радиационная стойкость, пониженная плотность и технологичность изготовления. Традиционно обычные материалы (например, металлы и их сплавы или другие конструкционные материалы) этим завышенным и зачастую жестким требованиям не всегда могут удовлетворить. В связи с этим создаются принципиально новые виды конструкционных материалов, которые получают на основе фундаментальных и прикладных разработок [1].

Пластические массы являются одним из широко распространённых видов перспективных материалов. Многокомпонентные системы или пластмассы, состоящие из одного полимера или смеси нескольких полимеров с введением разного рода наполнителей (добавок). Следовательно, связующим или матрицей в этой системе является полимер. Как добавки в полимерную матрицу можно использовать дисперсные, волокнистые, слоистые и зернистые наполнители.

Полиэтилены являются одними из самых перспективных материалов для использования в качестве основы. Получение полиэтилена осуществляют полимеризацией этилена, и если при высоком давлении (100÷400 МПа) и температуре 200÷300 °С (плотность составляет 916÷935 кг/м³, молекулярная масса $8 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^5$ г/моль), то это полиэтилен высокого давления (ПЭВД); а если при низком давлении (0,2÷6 МПа) и температуре до 200 °С (плотность составляет 917÷970 кг/м³, молекулярная масса $3 \cdot 10^4 \div 7 \cdot 10^5$ г/моль), то это полиэтилен низкого давления (ПЭНД).

Самым перспективным среди полиэтиленов в качестве матрицы является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – полиэтилен с молекулярной массой более $1 \cdot 10^6$ г/моль. Уникальные физико-механические свойства, резко отличающие его от других марок полиэтилена, определяется

его такой высокой молекулярной массой.

Материалы из СВМПЭ обладают высокой устойчивостью к коррозионно-активным химическим соединениям, имеется низкое влагопоглощение и морозостойкость (диапазон рабочих температур от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Следует учесть его устойчивость к воздействию вакуума и радиации, а также низкий коэффициент трения, износостойкость и нетоксичность. Но вследствие довольно высокой молекулярной массы, вязкость расплава СВМПЭ – высока, что привело к невозможности применения при его переработке для некоторых распространённых технологических методов, например, шнековое экструдирование и литье под давлением. В связи с этим при промышленном производстве изделий из СВМПЭ, наиболее приемлемым, принято считать горячее компрессионное формование или горячее прессование ГП [2].

Введение определенных добавок (наполнителей) становится причиной изменения механических характеристик и некоторых свойств получаемых полимерных композитов. Целью данной работы являлось получение композиционных материалов конструкционного назначения с различными видами наполнителей и их процентным содержанием, а также исследование влияния вводимого наполнителя на триботехнические характеристики.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Полимеры, строение и микроструктура

Особенностью, что характерна для молекул полимеров является большая молекулярная масса и размер макромолекул. Вся цепь макромолекулы образована структурными единицами в количестве 10^3 - 10^5 . Каждая структурная единица является молекулой мономером.

Геометрическая структура зависит от пространственного расположения относительно друг к другу мономерных звеньев, когда химическая структура макромолекулы полностью определяется хим. природой мономерных звеньев. Схожие по химической структуре полимеры, т. е. образованные из одних и тех же мономерных звеньев, могут принять форму различных геометрических структур [1].

Рассматривая пространственное расположение мономерных звеньев в полимерной цепи применим несколько общепризнанные понятия: конформацию и конфигурацию. Геометрическое расположение атомов, определяемое фиксированными химическими связями между соседними мономерными звеньями и между атомами мономерных звеньев, называется конфигурацией. Она остается постоянной до тех пор, пока же не случается разрыв и перестройка хим. связей. Без разрушения или перестройки химических связей полимерная цепь не имеет возможности изменить собственную конфигурацию. При вращении сегментов цепи (либо соседних мономерных звеньев) около отдельных связей реализуется структура, так называемая конформация. Отметим, что похожее вращение не приводит к разрыву или перестройке химических связей, полимерные цепи этой конфигурации могут со временем образовывать огромное количество конформаций, зависящих от особых внешних воздействий таких, как облучение, тепло, приложенное напряжение и взаимодействие в растворителе.

Конформации, которые принимает Сама макромолекула принимает данные конформации, находящиеся в зависимости от особенностей полимера:

жестко либо гибкоцепной. Если части цепи двигаются друг относительно друга с довольно высокой степенью свободы, то это гибкоцепный полимер. К ним относятся полимеры, образованные из неполярных элементов или частей с невысокой полярностью. К примеру, это может быть полиэтилен, полистирол, каучук. Для жесткоцепных полимеров вращение элементов цепи затруднено из-за стерических факторов либо же вследствие значительных притяжений (водородные, или дипольные связи) между крайними цепями.

Молекулы полимера в твердом состоянии создают конформации взаимопроникающих статистических клубков (например, для аморфных полимеров), упорядоченных складчатых объединений (для кристаллических) и геликоидальных или спиральных объединений (для биополимеров, в том числе белков) [2].

В виде разбавленных растворов молекулы гибкоцепных полимеров представляются как статистические клубки, в то время как жесткоцепные - как жесткие стержни или спирали. Влияние сильно концентрированных растворов либо же набухших гелей на полимеры сопровождается образованием взаимосвязанной сеткой или взаимосвязанной особой клеточной структурой, рисунок 1.

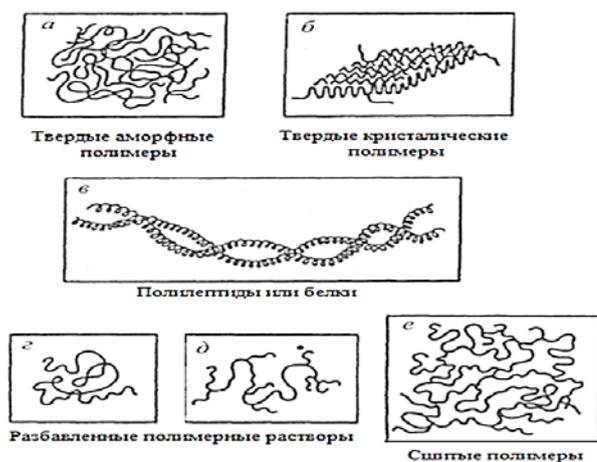


Рисунок 1 – Конформации полимерных молекул в различных условиях: а - взаимопроникающие статистические клубки; б - складчатые цепи; в - спиралевидные или геликоидальные цепи; г, д - изолированные статистические линейный и разветвленный клубки, соответственно; е - взаимосвязанная сетчатая структура

Форма и строение макромолекул определяют вид полимеров, и они могут быть линейными, разветвленными и сетчатыми, рисунок 2. По составу каждое звено цепных макромолекул может абсолютно быть идентичными или различными.

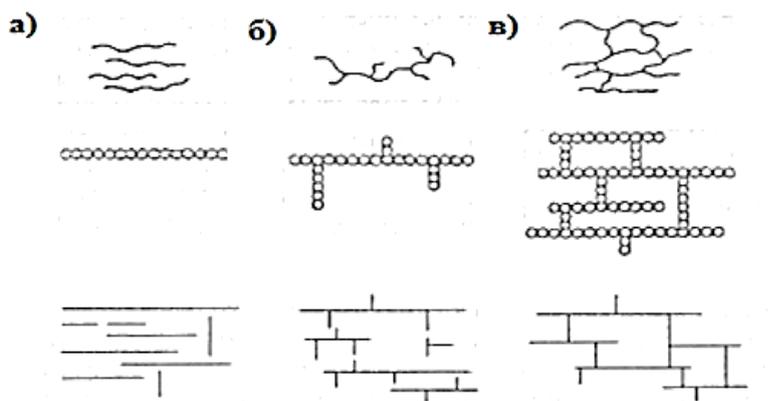


Рисунок 2 – Схематическое изображение линейных (а), разветвленных (б) и сшитых (в) полимерных молекул

Соединение цепных молекул в сетку или разветвление их приводят к некоторым изменениям комплекса свойств полимеров. Но это изменение не влияет на специфические свойства полимеров до тех пор, пока цепные линейные отрезки остаются достаточно длинными. Для того, чтобы понять особенности свойств полимеров, нужно подробнее познакомиться со свойствами и конечно со строением линейных цепных молекул.

Гибкость цепных молекул считается удивительным свойством, которое обусловлено при поворотах отдельных элементов (звеньев) молекулы сравнительно валентных связей стабильностью молекулы, в связи с чем может быть осуществлен переход молекулы из одной конформации (формы) в иную без разрушения связей меж звеньями молекулы. Такое явление возможно из-за специфического характера связей между частицами в полимерном теле.

Ковалентный характер связи реализован между звеньями макромолекул и между атомами в звеньях. В жидком или твердом полимере связь между макромолекулами осуществляется слабыми силами Ван-дер-Ваальса и в большинстве случаев имеет полярный характер. Вероятны и другие виды связей. Все же, отличительные свойства полимеров во всех вариантах реализуются только после того, как скоро силы межмолекулярного взаимодействия станут существенно менее сил внутримолекулярного взаимодействия.

Чтобы оценить свойства полимерных материалов необходимо принять во внимание несколько структурных единиц, таких как:

- а) цепную макромолекулу;
- б) звенья, из которых она построена.

Спецификой полимера будет являться то, что данные единицы выступают в знакомой степени вне зависимости друг от друга. Данное считается характерным только для полимерного материала и обуславливает появление своеобразного комплекса свойств этих материалов.

На характеристики полимерного материала существенное воздействие оказывает степень упорядоченности цепных макромолекул в конденсированной фазе. В состоянии расплава цепные макромолекулы по сути наиболее упорядочены, нежели молекулы низкомолекулярной жидкости. Степень порядка в упорядоченном полимере (в ориентированном или закристаллизованном состоянии) практически постоянно меньше, нежели в кристалле подходящего низкомолекулярного вещества, в виду того, что это связано с трудностью веерной упаковки в кристаллическую решетку огромных цепных макромолекул [2].

1.2 Свойства и применение объемных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ)

Полиэтилен с молекулярной массой более $1 \cdot 10^6$ г/моль называют СВМПЭ или сверхвысокомолекулярным полиэтиленом. Способ получения СВМПЭ является полимеризация этилена на комплексных металлоорганических катализаторах при низком давлении. Данный материал предназначен для изделий, обладающих высокими показателями физико-механических свойств и к ним можно отнести:

- Изделия специального технического назначения: подшипники, шестерни, втулки, прокладки, ролики, муфты.
- Спортивный инвентарь и изделия: хоккейные катки, ограждения, полозья саней, скользящие поверхности лыж и др.
- Медицинских изделий: детали внутреннего протезирования и ортопедии, а также для облицовки и футеровки различных емкостей, машин и аппаратов [3].

Наиболее распространённые методы переработки СВМПЭ показаны ниже [3]:

- Спекание (предварительно сформованных заготовок);
- Горячее прессование (спекание под давлением);
- Экструдирование;
- Напыление (горячепламенное, электростатическое);
- Гель-формование (волокно).

Все используемые методы, применяемые для переработки термопластов можно применить и к полиэтилену. По выпуску полиэтилен занимает первое место среди пластмасс благодаря его ценным свойствам в совокупности с довольно низкими затратами на промышленное производство. В таблице 1 представлены типовые среднестатистические физико-механические характеристики полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности (СВМПЭ) [1].

Таблица 1 – Типовые среднестатистические физико-механические характеристики полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности (СВМПЭ)

Показатели	ПЭНД	СВМПЭ
Модуль Юнга при растяжении (ГПа)	0,41-0,61	0,5-0,8
Коэффициент Пуассона	0,41	0,46
Удельная плотность	0,953-0,966	0,924-0,946
Удлинение при растяжении (МПа)	10-1200	350-525
Предел текучести (МПа)	26-33	21-28
Предел прочности (МПа)	22-31	36-45
Степень кристалличности (%)	60-80	39-75
Температура плавления (°С)	130-137	132-138

Наряду с высокими показателями механических характеристик СВМПЭ, так же обладает химической стойкостью, стойкостью к растрескиванию, истиранию, ударным нагрузкам, морозостойкостью, низким коэффициентом трения. Также изделия из данного материала способны работать в широком интервале температур: от минус 260 °С до плюс 120 °С. Так, при полном отсутствии нагрузок или при незначительной механической нагрузке детали из СВМПЭ можно использовать до 120 °С, не опасаясь существенной деформации. Из-за опасности частичного термического разложения полимера эксплуатировать детали и узлы установок из СВМПЭ при долгом воздействии температуры 120 °С и выше не рекомендуется. Также изделия из СВМПЭ в узлах машин работоспособны при низких температурах, вплоть до температуры минус 260 °С, при этом СВМПЭ сохраняет некоторую прочность и стойкость к удару [4].

На рынке сверхвысокомолекулярный полиэтилен представлен некоторыми базовыми марками и различными композициями, в том числе со стабилизаторами, красителями, минеральными наполнителями, добавками. Также бывает различной и форма поставки. К порошку предъявляются определённые требования по его гранулометрическому составу в зависимости от способа переработки и назначения изделий.

Детали на основе СВМПЭ могут использоваться как коррозионностойкий материал для защиты конструкций и деталей,

воздействия химически агрессивных сред, гидроабразивного и абразивного износа, низкого коэффициента трения обеспечивает скольжение сопрягаемых поверхностей, герметизации соединений, а также для электроизоляции. В основном горячим прессованием или спеканием предварительно отпрессованных заготовок можно изготовить изделия из СВМПЭ. Горячее прессование - это наиболее популярный способ получения полуфабрикатов таких, как листов, плит и блоков, из которых токарной обработкой изготавливают различные фасонные изделия. Спекание отпрессованных заготовок также позволяет получать блоки, подвергающиеся в дальнейшем механической обработке. Таким путём производят ленты и плёнки различных толщин [5].

1.3 Определения и классификация полимерных композитов

Материалы, состоящие из двух или более компонентов, называют полимерными композиционными материалами (ПКМ). Компоненты, образующие композит, могут быть различны по своим свойствам, при этом их взаимное введение должно давать некий суммирующий эффект, который заранее невозможно рассчитать [6].

Как правило один из компонентов образует основу или стабильную фазу, которая является матрицей композита, а тот, другой компонент является введенным наполнителем. Сплошность композита обеспечивается фазами, между которыми возникает адгезионная взаимосвязь или механическое зацепление.

В случае полимерных композитов матрица является полимером. Иные компоненты или добавки представлены в качестве частиц или волокон, обладающие, совершенно различными физическими и механическими свойствами относительно самой полимерной матрицы для придания композиту уникальных свойств. Частицы и волокна различаются соотношением размеров. Например, для дисперсных добавок абсолютные размеры изменяются в широких интервалах: от долей миллиметра до

наноразмерных величин. Обычно механические характеристики волокон могут быть в два раза выше свойств матрицы. Они бывают как рубленными, так и непрерывными. Как правило, название полимерных композитов соответствует природе волокон [6].

Протяженность рубленых волокон составляет от нескольких миллиметров и до нескольких десятков миллиметров. При механической обработке они разрушаются, и их длина составляет 0,5-2 мм. Полимерные композиционные материалы на их основе обладают свойствами, характерными как для дисперсно-наполненных композитов, так и при добавлении непрерывных волокон. Отношение длины волокон к их процентному содержанию в матрице определяет характеристики композитов.

Стоит отметить пространственное положение и ориентацию распределенных в матрице волокон, ведь получаемый композит обладает анизотропными свойствами в различных направлениях.

Различие между наполненными и армированными композитами может послужить ориентация волокон. При этом изменяется подход к определению композита. Армированные пластики — это система ориентированных волокон и проволок, скрепленных между собой полимерной матрицей [6].

1.4 Классификация наполнителей

Важным элементом в составе ПКМ являются вводимые добавки. Роль наполнителя в композите весьма различна, например, создание ансамбля механических характеристик для придания ему уникальных свойств. Вследствие этого различные вещества и материалы, содержание которых может колебаться в весьма широких пределах выступают в роли введенных наполнителей ПКМ.

Классифицировать наполнители можно на основе признаков, определяющих способ подготовки и изготовления, в соответствии с приведенной ниже схемой, рисунок 3 [4].

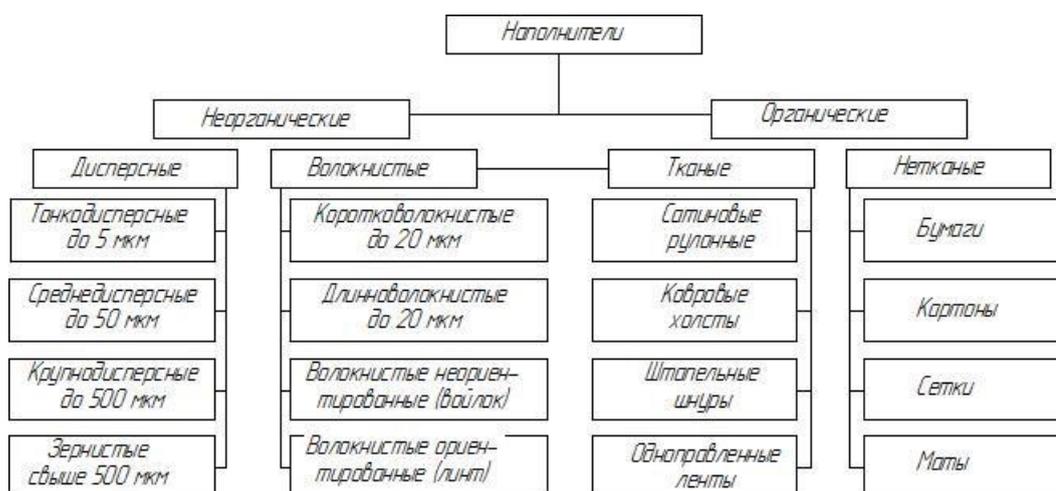


Рисунок 3 – Разновидности наполнителей по основным морфологическим признакам

Часто используемый вид наполнителей в полимерных композиционных материалах - это дисперсные наполнители, которые являются различными веществами органического и неорганического происхождения.

Зачастую дисперсные наполнители – это порошки разных веществ с различной дисперсностью. В большинстве случаев, размер частиц не превышает 40 мкм, но в последнее время для получения нанокомпозитов применяют частицы размером менее 1000 нм. Предел используемых дисперсных наполнителей в композите лежит в весьма широком диапазоне - от нескольких процентов до нескольких десятков процентов. Оксиды металлов в виде порошка (например, циркония, железа, алюминия, титана, цинка, свинца и др.), а также разнообразные соли (фториды, сульфиды, сульфаты и др.) находят широкое применение в качестве наполнителей. Например, нанодисперсный наполнитель порошок диоксида циркония. Уникальным сочетанием высокой прочности и вязкости разрушения представляет интерес к материалам на основе диоксида циркония (ZrO_2). Обладая свойствами огнеупорности, коррозионной и износостойкости, биоинертности данный материал является весьма перспективным. Также значение коэффициента теплопроводности равен 1,0 В/м·К. В последние годы на основе ZrO_2 созданы различные виды материалов функционального,

конструкционного, инструментального и другого назначения. Весьма перспективным является применение ZrO_2 в медицине [7].

В последнее время для получения оксидных нанодисперсных порошков наиболее широко используются так называемые методы «мягкой химии», которые состоят в получении наночастиц при относительно низких (до 200—300 °С) температурах из водных растворов солей соответствующих металлов. Данный механизм с точки зрения формирования наночастиц в указанных условиях является достаточно трудоемким физическо-химическим процессом, включающий как минимум несколько последовательных стадий, в том числе стадию образующихся аморфных гидроксидов металлов, в дальнейшем отщепляющих воду с получением оксидных продуктов. Структура порошков в существенной степени предопределяется промежуточным аморфным состоянием материалов, получаемых таким образом [8].

Современные исследования показали [9], что эпоксидные полимеры (ЭП), содержащие диоксид циркония, обнаруживают необычное изменение механических характеристик с ростом концентрации ZrO_2 , зависящее как от дисперсности порошка, так и его способности образовывать агрегаты и агломераты различной степени связности.

При добавлении наполнителей, а именно дисперсных, в сравнительно малых количествах (до 10%), в общем случае, приводит к сохранению или даже некоторому повышению прочности, рисунок 4, полимерного композита. При содержании больше чем 10% наполнителя в матрице физические и механические свойства композита снижаются. В случае с добавлением волокнистого наполнителя наблюдается заметное повышение прочности, но содержание его свыше 40% снижают механические свойства [4].

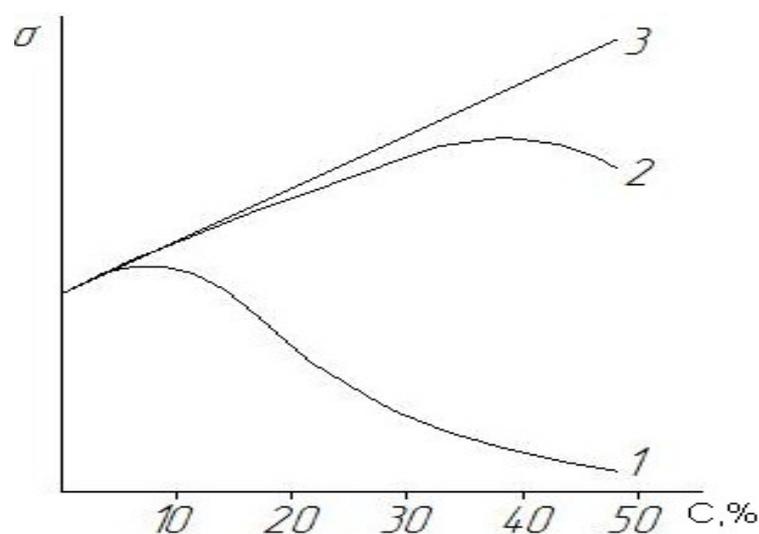


Рисунок 4 – Классическая зависимость прочности σ , полимерного композита от процентного содержания наполнителя: 1 - дисперсного; 2 - волокнистого; 3 – армирующего

По использованию важное место среди всех видов добавок после дисперсных занимают волокнистые наполнители. Первыми на их основе были получены материалы еще в начале 20 века. И это были фенопласты с хлопковыми волокнами. По началу в виде волокнистых наполнителей применялись природные волокна растительного и минерального происхождения. На сегодняшний день существуют волокна, обладающие уникальными свойствами, к примеру, углеродные нанотрубки (УНТ). Углеродные нанотрубки — это аллотропная модификация углерода, представляющая собой полую цилиндрическую структуру диаметром от десятых до нескольких десятков нанометров и длиной от одного микрометра до нескольких сантиметров (при этом существуют технологии, позволяющие сплести их в нити неограниченной длины), образованные из одной или нескольких свёрнутых в трубочку графеновых плоскостей. Если вкратце, то механизм роста УНТ заключается в следующем. Образующийся при термическом разложении углеводорода углерод, растворяется в наночастице металла. При достижении более высокой концентрации углерода в данной частице на одной из граней частицы-катализатора появляется энергетически выгодное «выделение» избыточного углерода в качестве искаженной

полуфуллереновой шапочки. Таким образом начинает зарождаться нанотрубка. В частицу катализатора продолжает поступать разложившийся углерод, и для сброса избытка его концентрации в расплаве необходимо постоянно избавляться от него. С поверхности расплава поднимается полусфера (полуфуллерен), увлекающая за собой растворенный избыточный углерод, атомы которого вне расплава образуют связь C-C, представляющую собой цилиндрический каркас-нанотрубку. На данный момент последовательно развивается направление использования УНТ для получения композитов с улучшенными механическими и электрофизическими свойствами [10].

1.5 Компрессионное формование

Прессование, литье под давлением, экструдирование, вакуумное и пневматическое формование изделий являются основными методами изготовления изделий из полимерных материалов является.

Технологией получения изделий из пластических масс требуемых размеров и конфигурации под давлением пуансона в пресс-форме называют прессованием. На гидравлическом прессе заготовки прессуются двумя методами: трансферным (литьевым) и компрессионным (прямым). Также существует холодное и горячее компрессионное прессование.

Одним из самых старых методов формования пластических масс является холодное компрессионное прессование. Для процесса холодного прессования характерны экономические преимущества перед другими методами прессования. Сама технология происходит очень быстро и не требует ни нагревания, ни охлаждения. Этот метод до сих пор находит применения благодаря низкой стоимости затрачиваемого материала и быстрой скорости производства, для которого не нужно дорогостоящих пресс-форм. Композиции готовятся на месте, где производится прессование и прессуются в холодном состоянии. При этом если смесь не прессуют вскоре

после приготовления, она затвердевает.

Горячее компрессионное прессование более широко распространено, так как у него нет указанных выше недостатков холодного прессования. Различие между горячим и холодным заключается в том, что в первом случае давление к материалу прикладывается в нагретой и закрытой пресс-форме, нежели во втором. Сам процесс горячего прессования проводится следующим образом. Материал различного типа в виде обрезков ткани, пропитанных смолой, шариков, гранул, и таблеток загружают в нагретую пресс-форму, которую закрывают при небольшом давлении.

По мере нагревания в пресс-форме материал становится пластичным, и в дальнейшем, пресс-форма продолжает смыкаться, он заполняет все технологические углубления ее полости. После этого изделие выдерживают под давлением до завершения процесса отверждения. В ходе данного процесса прессование проводится со своевременной подпрессовкой, т. е. пресс-форму не на долго открывают после первого смыкания, для удаления содержащихся в пластмассе газов перед окончательным замыканием формы.

Полное отверждение изделий большого сечения затруднено вследствие плохой теплопроводности пластических материалов, что является основным недостатком компрессионного прессования (как холодного, так и горячего). При использовании метода трансфертного (литьевого) прессования данный недостаток не наблюдается.

В ходе использования метода литьевого прессования применяются специальные камеры загрузки, куда загружается материал, выдерживается при определенной температуре для достижения нужной пластичности, и из которой непосредственно подогретый материал нагнетается в соответствующую форму. Этот метод прессования является популярным при производстве деталей из термореактивных материалов (аминопласты, фенопласты и др.), листовых слоистых пластиков (гетинакс, стеклотекстолит, текстолит и др.), стеклопластиков, древесноволокнистых плит и других

подобных материалов.

Литье под давлением является широко распространённым методом изготовления деталей из термопластических материалов. Процесс заключается в следующем: разогретый до пластического состояния в специальной форме материал, выдавливается с большим давлением и высокой скоростью в литьевую форму.

Одновременное изготовление одной или нескольких деталей, реализовано на литьевых машинах, с учетом конфигурации, массы и площади отливки конечного изделия. Материалы такие, как полиэтилен, полистирол, полиамид в гранулированном или порошкообразном виде могут применяться в качестве полимерной матрицы для изготовления ПКМ методом литья. Удельное давление впрыска колеблется в пределах от 24 до 210 Мн/м² и напрямую зависит от вида материала и степени его предварительной пластикации.

Классификация всех литьевых машин проводится по типу привода, конструкции и мощности. Производственная мощность колеблется в пределах от 5 до $3,1 \cdot 10^4$ см³ и определяется в кубических сантиметрах впрыскиваемого материала, расходуемого на изготовление одной отливки.

С технологической точки зрения литье под давлением можно определить, как циклический процесс, который состоит из ряда основных операций: дозирования подаваемого термопластичного материала, подачи его в инжекционный цилиндр, нагревания и расплавления, находящегося в цилиндре материала, впрыска под давлением пластифицированного расплава в форму, охлаждения детали в форме (остывая в форме, материал отвердевает и образует изделия заданного профиля), раскрытия формы и удаления из нее готовых изделий [1, 3, 6].

1.6 Трибология и триботехнические характеристики полимерных композиционных материалов

Модифицированные полимеры, содержащие различные наполнители являются перспективными материалами в триботехническом плане. При наполнении полимеров различными добавками прослеживается положительный эффект, сказывающийся на улучшении их триботехнических характеристик. Это обуславливается ослаблением межмолекулярных связей между мономерами, образованием оптимальной структуры материала, участием наполнителей в качестве ингибиторов изнашивания при трении, повышением работоспособности пленки фрикционного переноса [12, 13].

Наука о трении и процессах, сопровождающих трение, является трибология. Данная научная дисциплина охватывает экспериментально-теоретические исследования физических (магнитных, электрических, тепловых, механических), а также химических, биологических и других явлений, связанных с трением. Накопленные знания о практическом применении трибологии называют триботехникой. Трению является сопутствующей характеристикой процессов трибологического изнашивания, и применение этих знаний на практике представляется важным разделом триботехники. В основном последствия трения негативны. С ним тесно связана надежность и долговечность деталей машин и механизмов. Изнашивание, которое происходит при трении, приводит к нарушению геометрических размеров узлов, нарушается взаимное расположение деталей. Возникают, вибрации, удары, заклинивания, приводящие к выходу из строя механизмов.

Среди используемых полимеров в изготовлении деталей узлов трения, наиболее предпочтительным комплексом физических, механических и триботехнических свойств обладает сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Его использование в узлах трения связано с наиболее ответственными техническими системами. Особым свойством композитов на основе СВМПЭ

является работоспособность в широком интервале температур при сохранении низких и стабильных значений коэффициента трения (0,08–0,1) и обеспечении плавного скольжения [4], что крайне важно при эксплуатации механизмов в экстремальных условиях.

Ниже приведены износостойкость и коэффициенты трения полимеров в таблице 3.

Таблица 3 - Износостойкость и коэффициенты трения полимеров

Полимер	Плотность по ГОСТ 15139-69, кг/м ³	Твердость по ГОСТ 4670-77, МПа	Износостойкость (по кварцевому песку), мин/мм ³	Коэффициент трения
СВМПЭ	934	40	18,4	0,08
СВМПЭ+MoS ₂	1150	55	31,6	-
ПЭНД	950	55	10,5	0,10
ПЭВД	900	28	2,79	0,27
Полипропилен	850	51	2,08	0,35
Фторопласт-4	2130	38	6,36	0,05
Фторопласт-3	2160	130	5,46	-
Полистирол	1040	175	0,93	0,45
Полиметилметакрилат	1170	181	1,3	0,55
Полиамидная смола	1080	109	12,9	0,22
Капролон	1130	180	3,38	0,23
Винипласт	1420	122	3,64	0,58
Поликарбонат	1180	101	2,47	0,60
Полиформальдегид	1390	177	1,56	0,13
Эпоксидная смола	1270	202	1,64	-
Древесный пластик	1260	312	1,3	-
Стекловолокнит АГ-43	1850	369	0,82	-

Важной триботехнической характеристикой является коэффициент трения. Трение полимерных композиционных материалов (ПКМ), несмотря на многочисленные работы в этом направлении, до сих пор являются предметом интенсивных исследований.

Чтобы охарактеризовать реальные узлы трения и моделирование тепловых процессов в литературе предложен критерий, называемый коэффициентом взаимного перекрытия $K_{вз}$. Это безразмерная характеристика, которая определяется отношение номинальной площади скользящего контакта ко всей номинальной площади, которая участвует в трении.

Влияние коэффициента взаимного перекрытия сказывается на распределении тепловых потоков между трущимися телами, а также на величину износа, коэффициент трения и температуру поверхности трения. Качественное влияние величины коэффициента $K_{вз}$ на названные параметры показано на рисунке 5. Повышение $K_{вз}$ вызывает увеличение температуры и тем самым увеличение износа материала, но при этом коэффициент трения уменьшается.

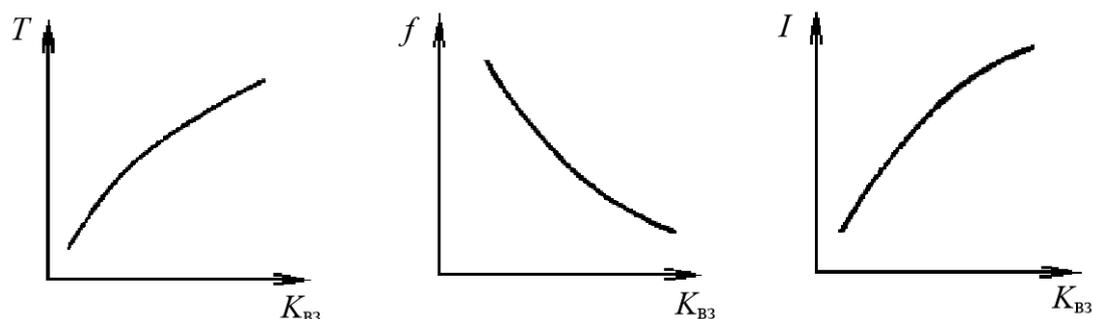


Рисунок 5 – Зависимости температуры T , коэффициента трения f и износа I от величины коэффициента взаимного перекрытия $K_{вз}$

От температуры значительно зависят механические свойства материалов, в том числе полимерных. В особых пределах температур твердость материалов может снизиться многократно, становясь минимальной при подходе к температуре плавления. Контакт при трении при таких температурах может быть пластическим, а фактическая площадь контакта A_r значительно возрастает даже при небольшой нагрузке, приближаясь к контурной A_c и далее к номинальной $A_{(a \times b)}$, рисунок 6.

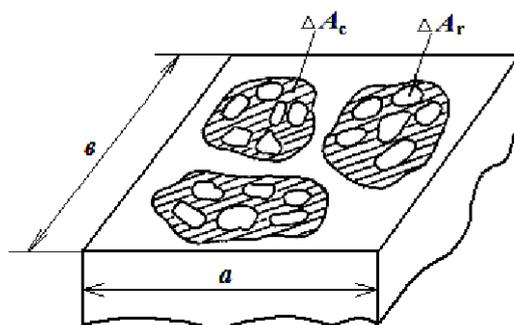


Рисунок 6 – Схема поверхности контакта: A_c – контурная; A_r – фактическая площадь контакта

Несомненно, что в данных условиях стадии контактного взаимодействия, деформации и разрушения (изнашивания) значительно преобразуются, и это обуславливает изменение интенсивности изнашивания и коэффициента трения. Такое изменение существенно для полимерных материалов [13].

1.7 Износ и износостойкость

Изменение массы, формы, размеров или состояния поверхности изделия из-за разрушения (изнашивания) микрообъёмов поверхностного слоя изделия при трении является износом.

Условия трения, свойства материала и конструкция изделия существенно влияют на износ. Его можно рассматривать как механический процесс, осложнённый действием химических и физических факторов, вызывающих снижение прочности микрообъёмов поверхностного слоя. Исходя из условий внешнего воздействия на поверхностный слой различают износ: эрозионный, кавитационный, абразивный, и др. На повышение износостойкости изделий влияют как использование материалов с высокой износостойкостью, так и конструктивные решения, создающие компенсацию износа, резервирование износостойкости и пр., также общее улучшение условий трения (применение высококачественных смазочных материалов, защиты от абразивного воздействия и пр.).

Сопротивление материалов изнашиванию и есть износостойкость. Она оценивается при испытаниях на стенде или в эксплуатационных условиях по длительности работы подвергаемых испытаниям материалов или изделий до заранее заданного или предельного значения износа. При испытании на специальных лабораторных машинах, обеспечивающих моделирование реальных процессов изнашивания определяется износостойкость материалов [4].

Проводя исследования особенностей диспергирования полимеров в контакте с металлами сами полимеры, как и низкомолекулярные ПАВ, интенсифицируют процессы деформирования, разрушения и упрочнения металлических изделий. Из комплекса научных изысканий Г.А. Гороховским была предложена модель механизма физического изнашивания. Взаимодействие контактирующих пар материалов металл-полимер сопровождается ансамблем структурных изменений в поверхностных слоях, химических и механических явлений на границах раздела, как металла, так и полимера. Структура на поверхности подвержена процессу ориентации - неконвертируемым явлениям деформации в направлении тангенциальных сил трения, что вызывает нарушения надмолекулярных структур, вариацию фазового состава и диспергирование кристаллических участков. Субмикроструктура металла также резко меняется, проявляется уменьшение кристаллических блоков, иногда на один десятичный порядок.

При разрывах химических связей образуются свободные радикалы. Часть из них находится в возбужденном электронном состоянии. Энергия возбуждения часто выделяется в виде излучения в видимой области спектра – механолюминесценции. Таким методом при трении ПЭ были зафиксированы спектры свободных радикалов, появившихся при разрыве химических связей в основном скелете молекул ПЭ, ПП, ПА6, ПФС и угольного волокна при трении [14 - 16]. Свободные радикалы весьма активны и вступают в химические реакции с окружающими молекулами и кислородом воздуха, что приводит к образованию различных химических соединений. Эти соединения можно зафиксировать методами фотолюминесценции и инфракрасной спектроскопии [17 - 24]. Например, на рисунке 7 показан спектр фотолюминесценции ПА до трения и после изнашивания.

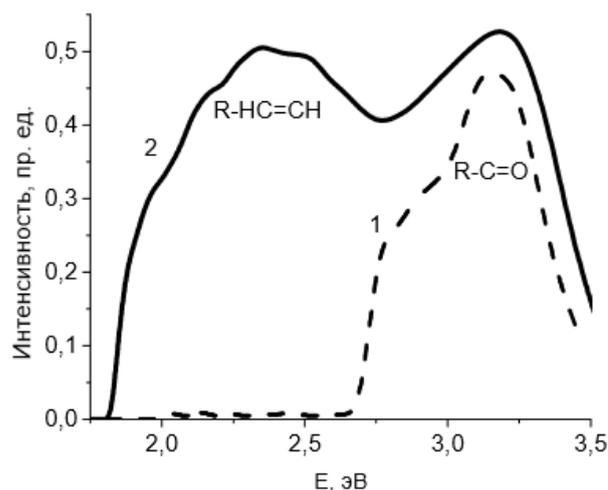


Рисунок 7 – Спектры фотолюминесценции поверхностного слоя ПА-6 толщиной ~19 мкм, возбужденной излучением лазера, до трения (1) и после изнашивания (2)

На рисунке 8 представлен ИК спектр поверхностного слоя ПЭ толщиной ~ 1 мкм до после трения.

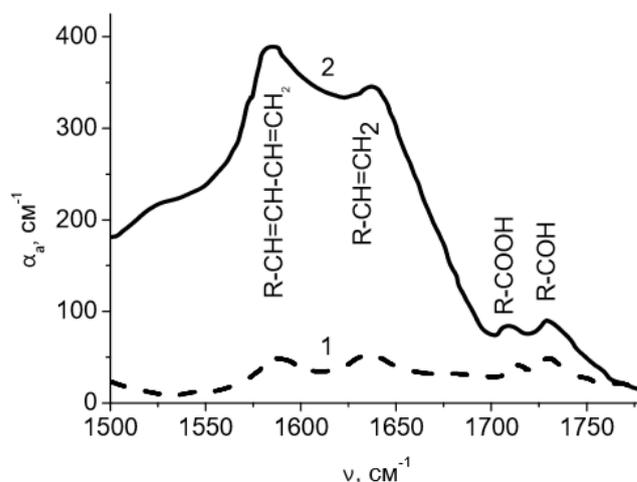


Рисунок 8 – ИК спектры коэффициента поглощения поверхностного слоя ПЭ толщиной 1 мкм до (1) и после изнашивания (2)

Величина коэффициента поглощения пропорциональна концентрации C_r новых концов $\alpha_{ab} = \kappa C_r$, где κ – молярный коэффициент поглощения. Это позволило найти концентрацию C_r новых концов молекул C_r , таблица 4.

Оценим число углерод – углеродных связей в «обрывках» молекулы ПЭ, образовавшихся в поверхностном слое толщиной ≈ 1 мкм после трения. Длина углерод – углеродной связи в ПЭ – 0,154 нм, а площадь поперечного сечения молекулы ПЭ – 0.18 нм² [25].

Таблица 4 – Частота максимума полос, соответствующих колебаниям концевых группировок, и концентрация таких группировок, образовавшихся в поверхностном слое ПЭ толщиной ≈ 1 мкм после трения.

№, п/п	Частота полосы, см ⁻¹	Химическая группировка	$C_r \cdot 10^2, \text{нм}^{-3}$
1	1379	-CH ₂ -CH ₃	10,0
2	1590	-CH=CH-CH=CH ₂	2,7
3	1645	-CH=CH ₂	2,8
4	1690	-CH=CH-НС=О	2,5
5	1710	-H ₂ C-COОН	0,9
6	1735	-H ₂ C-СОН	1,0
Сумма			≈ 20

Оценим число углерод – углеродных связей в «обрывках» молекулы ПЭ, образовавшихся в поверхностном слое толщиной ≈ 1 мкм после трения. Длина углерод – углеродной связи в ПЭ – 0,154 нм, а площадь поперечного сечения молекулы ПЭ – 0.18 нм² [25]. Отсюда объем, занимаемый частью молекулы, приходящейся на одну связь, – $0,154 \cdot 0.18 \approx 2.8 \cdot 10^{-3}$ нм³. Каждый «обрывок» имеет два конца. Отсюда число углерод-углеродных связей в «обрывке» молекулы ПЭ после трения $\approx 200/2.8 \approx 60$. Приблизительно такое число углерод-углеродных связей входит в состав молекул парафиновых масел. По строению поверхностный слой напоминает деструктированное масло и обладает малым сопротивлением к сдвигу. Это означает, что продукты деструкции полимера играют роль своеобразной смазки, что и объясняет успех использования полимеров и полимерных композитов в узлах трения.

У композитов на основе СВМПЭ наблюдаются высокие показатели износостойкости в сравнение со многими полимерными материалами. Ниже представлена диаграмма сравнения относительной износостойкости различных полимерных материалов, рисунок 9 [27].

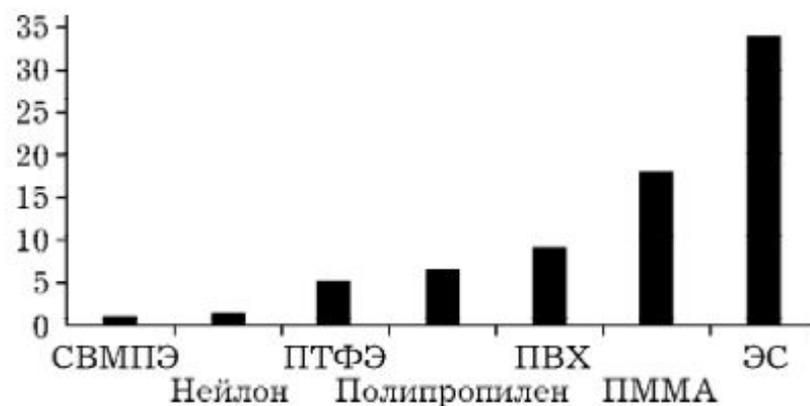


Рисунок 9 – Относительная износостойкость различных материалов: ПТФЭ - фторопласты, ПВХ – поливинилхлориды, ПММА – полиметилметакрилат, ЭС-эпоксидная смола

Такие показатели износостойкости у СВМПЭ на прямую связаны с его большой молекулярной массой, в сравнении с иными полимерами. На рисунке 10 представлена зависимость плотности и истираемости полиэтилена от молекулярной массы.



Рисунок 10 – Зависимость плотности (1) и истираемости (2) полиэтилена от молекулярной массы

Введение малого процентного содержания наполнителей различной дисперсности может положительно влиять на показатели износостойкости полимерных композитов. К примеру, варьируя содержание и дисперсность наполнителя (железный порошок) в композите на основе полиэтилена можно

повысить его износостойкость. Ниже на рисунке 11 представлена зависимость износа композиций на основе полиэтилена от содержания и дисперсности наполнителя [28].

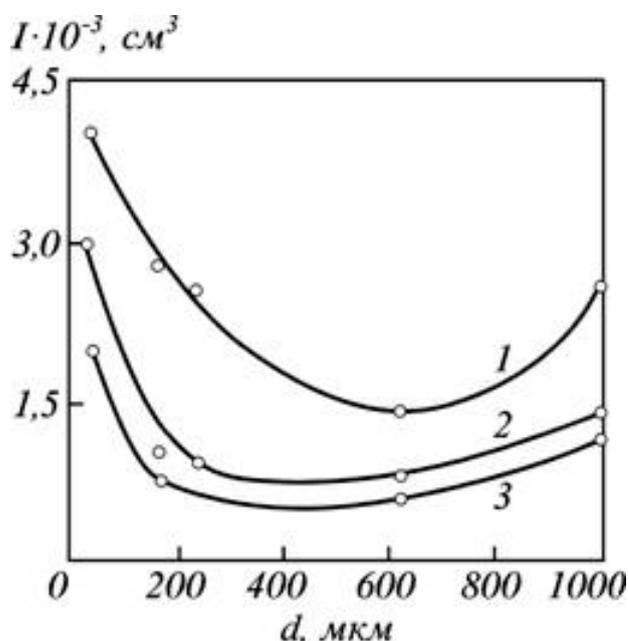


Рисунок 11 – Зависимость износа композитов на основе полиэтилена от размерности частиц наполнителя (порошка железа) при его объемном содержании: 1 - 5%; 2 - 10%; 3 - 20%

1.8 Теплопроводность полимерных композиционных материалов

Широкое применение находят полимерные материалы при изготовлении теплоизоляционных или теплопроводных материалов. При оценке теплофизических свойств полимеров обычно измеряют их теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, а также коэффициент теплового расширения (линейный и объемный). Некоторые теплофизические свойства ПЭНД представлены в таблице 5. Теплопроводность - это способность полимера переносить тепло от более нагретых элементов к менее нагретым. Количественная характеристика теплопроводности – коэффициент λ в уравнении, связывающим поток тепла с градиентом температуры.

Таблица 5 – Теплофизические свойства ПЭНД

Показатели	Метод испытания		Марка полиэтилена	
	отечественный	зарубежный	СВМПЭ, Hostalen GUR 412/212	Стандарт ный ПЭНД
Температура плавления, °С	ГОСТ 21553-76	-	135	125-130
Теплостойкость по Вика, °С при нагрузке 10 Н при нагрузке 50 Н	ГОСТ 15088-69	DIN 53460 метод А	130 74	120-125 -
Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/(м·°С)	-	DIN 52612	0,42	0,41
Удельная теплоемкость при 20 °С, Дж/(кг·°С)	Калориметрический	Калориметрический	1880	1680-1840
Термический коэффициент линейного расширения, 1/°С	-	DIN 52328, ASTM D 696	2·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴
Температура хрупкости, °С	ГОСТ 16782-71	-	-180	-120
Формоустойчивость при нагревании, °С	-	DIN 53461	95	-

Измеряется теплопроводность в Вт/м·К. Теплопроводность полимеров зависит от химической структуры и физического состояния и мало меняется с ростом температуры. В таблице 6 приведены значения для ряда типичных полимеров.

Таблица 6 – Теплопроводность полимерных материалов

Полимер	Вт/м·К	Полимер	Вт/м·К
ПС и его сополимеры	0,09-0,14	ПТФО	0,25
ПММА	0,17-0,19	ПФ, ПА	0,3
ПП, ПК	0,19-0,21	ПЭНП	0,32-0,36
Полиарилаты, полиимиды	0,2-0,3	ПЭВП	0,42-0,44

По величине теплопроводности полимерные материалы различаются не очень значительно (минимальное значение λ для ПС 0,1 Вт/м·К, максимальное значение λ для ПЭВП 0,4 Вт/м·К), однако за счет применения композиционных материалов теплопроводность и другие теплофизические константы могут быть изменены в десять раз. Снижение теплопроводности

достигается, как правило, за счет применения газонаполненных (или воздушнонаполненных) композиций – пенопластов или поропластов. В зависимости от объемного содержания воздуха в пенопластах значение λ может меняться в пределах 0,023–0,1 Вт/м·К. С уменьшением плотности пенопласта его теплопроводность уменьшается, но прямой линейной зависимости между изменением этих свойств нет. Теплопроводность пенопластов на основе различных полимеров приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Теплопроводность пенопластов на основе различных полимеров

№	Плотность, кг/м ³	Вт/м·К	Полимерная основа
1	20-50	0,023-0,035	ЭС, ПУ
2	40-70	0,030-0,047	ПС, ПЭ, ПВХ, ФФС, ЭС, ПУ
3	70-120	0,035-0,052	ПВХ, ФФС, ЭС
4	10-150	0,04-0,06	ПВХ, ФФС, ПУ
5	200-300	0,06-0,08	ФФС
6	400-700	0,11-0,17	КОС

В ряде практических случаев приходится стремиться не к снижению теплопроводности композитов, а к ее возрастанию. Это бывает необходимо, например, при создании антифрикционных материалов. В этом случае для повышения теплопроводности композита применяют графит, металлические порошкообразные наполнители. Минеральные наполнители лишь в незначительной степени повышают теплопроводность полимеров. В таблице 8 приведены значения коэффициента теплопроводности ПП, наполненного различными типами наполнителей.

Таблица 8 – Теплопроводность композиций на основе ПП (Вт/м·К)

Наполнитель	Содержание наполнителя %, масс.							
	0	10	20	30	40	50	60	70
Графит ГЭ-4	0,21	0,22	0,28	0,42	0,55	0,98	1,50	2,40
Техуглерод	0,21	0,22	0,25	0,30	0,50	0,70	-	-
Мел	0,21	0,22	0,24	0,27	0,30	0,35	0,42	0,50
Каолин	0,21	0,22	0,24	0,27	0,30	0,35	0,42	0,50
Стекловолокно	0,21	0,22	0,24	0,29	0,33	0,40	-	-

При больших дозировках графитового наполнителя коэффициент теплопроводность можно поднять существенно выше. Например,

графитопласт на основе ПТФЭ имеет значение $\lambda = 8-17$ Вт/м К, а графитопласт на эпоксидной основе - $\lambda = 12-18$ Вт/м К. Подобный рост возможен только при достижении объемной степени выше 50-70%.

В исследовании [29] говорится о том, что композиционные материалы на основе ПСФ и СВМПЭ с добавлением в них карбида бора B_4C и вольфрама W возможно использование их как теплоизоляционные материалы, которые имеют хорошие радиационно-защитные свойства.

На рисунке 12 показаны результаты исследования температурной зависимости теплопроводности образцов из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полисульфона.

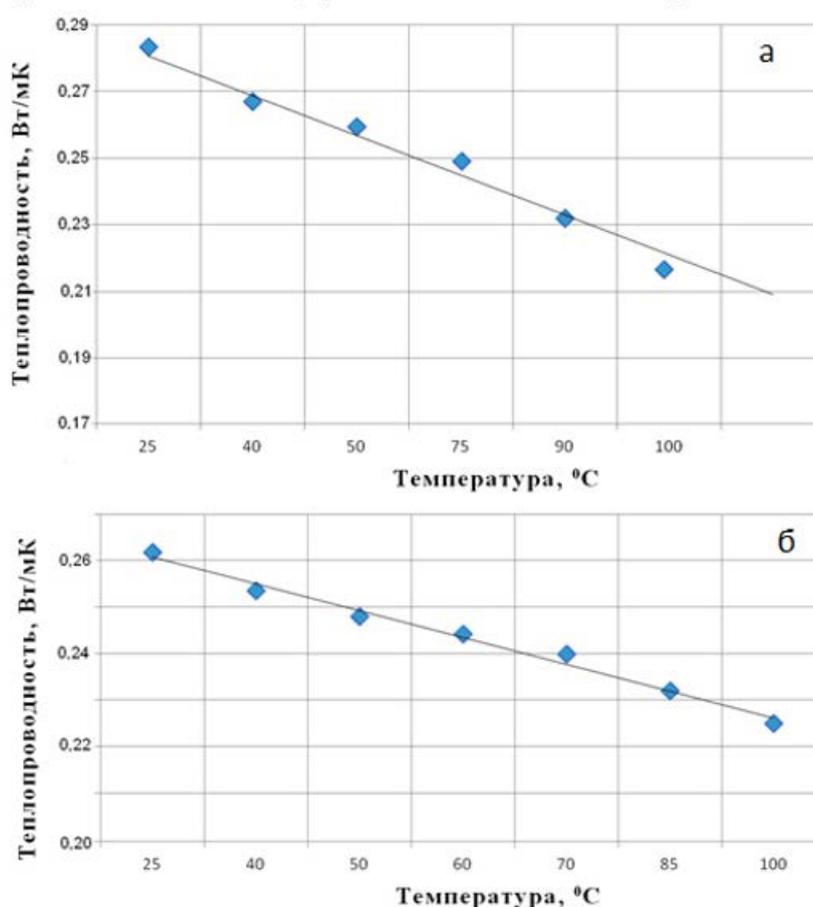


Рисунок 12 – Температурные зависимости теплопроводности чистого СВМПЭ (а) и чистого ПСФ (б)

Теплопроводность данных полимеров при комнатной температуре не превышает 0,3 Вт/м·К. Введение неорганических наполнителей в полимеры, имеющих теплопроводностью почти на три порядка выше, в сравнении с

чистыми, обуславливается повышением теплопроводности. Концентрационные зависимости теплопроводности приведены на рисунке 13. Показано, что при повышении содержания и вольфрама, и карбида бора, наблюдается увеличение теплопроводности. При этом, тем не менее для чистых полимеров значения теплопроводности сопоставимы, теплопроводность композитов на основе СВМПЭ заметно превышает данную для композитов на основе ПСФ. Это возможно связано с характером распределения наполнителей по объему для композитов на основе разных полимеров, и он несколько отличается. Согласно [29], теплопроводность полимерных композитов существенно зависит от расположения частиц наполнителя в матрице и их формы.

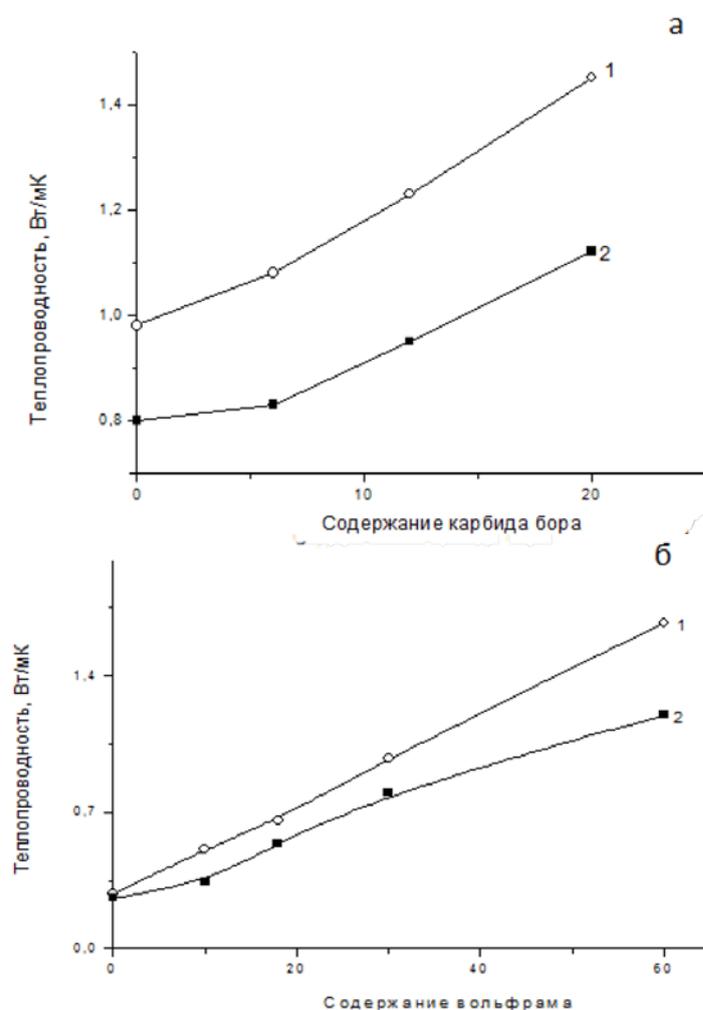


Рисунок 13 – Концентрационные зависимости теплопроводности для образцов (а) содержащих 30 масс. % W и (б) не содержащих карбида бора для композиционных материалов на основе СВМПЭ (1) и ПСФ (2)

По результатам исследований было выявлено, что с повышением концентрации наполнителя теплопроводность повышается, это связано с разницей в теплопроводности полимерной матрицы и неорганического наполнителя. Авторы советуют данный материал в качестве теплоизоляционного. [29].

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Постановка задачи

Основными задачами данной работы являлись:

1. Изучение изменения триботехнических характеристик полимерных композитов на основе СВМПЭ в зависимости от их состава в условиях сухого абразивного трения и в парах трения полимер-металл;
2. Исследование изменения твёрдости от вида и количества наполнителей;
3. Исследование изменения теплопроводности от процентного содержания наполнителя полученных композитов.

2.2 Материалы и методика эксперимента

Объектами исследования являлись композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, порошок которого был изготовлен на ТНХК – Россия. Микро- и макрофотографии порошка СВМПЭ представлены на рисунке 14.

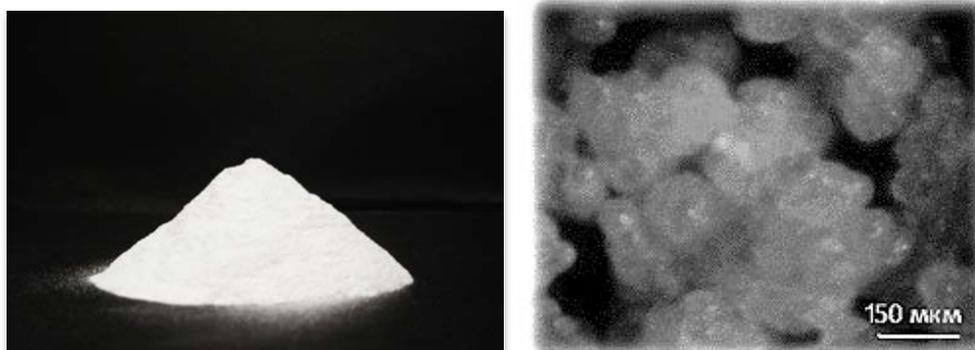


Рисунок 14 – Чистый порошок СВМПЭ (ТНХК)

В роли неорганического нанодисперсного наполнителя использовался порошок диоксида циркония ZrO_2 , введение которого преследовало цель увеличения износостойкости. Выбор данного материала был обусловлен изначальными трибологическими характеристиками, высокой износостойкостью и твердостью. Данный наполнитель вводился в количестве

3,7,10,13,35 и 50% (весовых). Микро- и макрофотографии порошка диоксида циркония представлены на рисунке 15.



Рисунок 15 – Порошок диоксида циркония

Также в роли органического наполнителя использовались углеродные нанотрубки УНТ, выбор которого был обусловлен принадлежностью к классу нано, как и наполнителя, упомянутого выше, нанодисперсного порошка диоксида циркония, и дальнейшего сравнительного анализа полученных результатов. Данный наполнитель вводился в количестве 0,5;1;3;5;10;15;20 и 25% (весовых). Микро- и макрофотографии порошка УНТ представлены на рисунке 16.

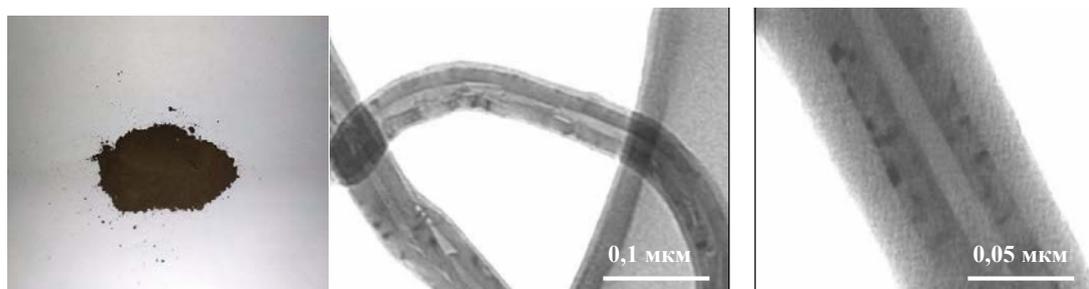


Рисунок 16 – Порошок УНТ [30]

Микроизображения порошка СВМПЭ, продемонстрированные выше, были получены с использованием оптического микроскопа «Лабомет-И», представленного на рисунке 17.



Рисунок 17 – Оптический микроскоп «Лабомет-И»

Дальнейшие оптически исследования поверхности полученных композитов, представленные в данной работе, были так же проведены при помощи оптического микроскопа, представленного выше, рисунок 17.

Испытания на износостойкость, проводились в условиях абразивного износа о незакрепленные частицы (в качестве абразива использовали мелкодисперсный (40–125 мкм) порошок Al_2O_3) в условиях сухого трения о стальную поверхность. Основным методом расчета величины износа были приняты измерения потери массы, которая измерялась на весах «ТУР WA-33» с точностью до 0,00005г.

Измерение триботехнических характеристик полученных композитов с различными наполнителями и их концентрацией проводили с использованием трибометра «Tribotechnic pin/ball on disc tribotester».

При помощи лазерного сканирующего микроскопа «Olimpus» были получены микрофотографии области износа пары трения полимер-металл. Используемый микроскоп представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Лазерный сканирующий микроскоп «Olimpus»

Измерение твёрдости поверхности полученных образцов в единицах Бринелля и Шора проводилось с помощью твердомеров «ТКМ-359» и «Shore 902» соответственно.

Измерение теплопроводности композитов проводили на приборе для измерения теплопроводности «DFL-1200».

Компрессионное горячее формование либо горячее прессование – это технология, объединяющая в себе одновременный нагрев и прессование порошка СВМПЭ представляется с нашей точки зрения наиболее лучшим вариантом получения изделий из чистого СВМПЭ и композиций на его основе с введением разных наполнителей. В частности, поэтому метод горячего прессования (ГП) является наиболее распространённым повсеместно. В связи с вышеизложенным такой технологический процесс создания композиций и исследования их триботехнических, механических и теплофизических свойств выделено в отдельную главу экспериментальной части.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6В	Яхину Альберту Аликовичу

Инженерная школа	новых производственных технологий	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

**Тема выпускной квалификационной работы в форме магистерской диссертации:
Исследование влияния состава полимерных композитов на их триботехнические характеристики**

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>Материально-технические ресурсы: модельные образцы армированных композитов, установка для горячего прессования, Instron 5582, твердомер ТКМ-359, анализатор А20, смеситель С2.0, компьютер (762400р); энергетические ресурсы: электрическая энергия (1279,2р); информационные ресурсы: научные журналы, монографии, учебники по теме исследований (2000р); человеческие ресурсы: сотрудники лаборатории ОМ ИШНПТ ТПУ (3 человека).</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Данная НИР проводится впервые, поэтому нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению. На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.</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>-Технико-экономическое обоснование научно – исследовательской работы -Потенциальные потребители результатов НИР -SWOT-анализ НИР</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>-Планирование работ по научно-техническому исследованию -Составление сметы затрат на НИР</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>- Анализ НТУ исследования -Оценка важности групп рисков НИР</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *График Ганта*
2. *Матрица SWOT*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Петухов Олег Николаевич	к. э. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6В	Яхин Альберт Аликович		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- 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;

○ определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Работы, выполняемые научно-исследовательскими и конструкторскими организациями (НИИ, НИТИ, КБ) при планировании и учете можно разделить на четыре основные группы:

- 1.научно-исследовательские работы;
- 2.опытно-конструкторские работы;
- 3.работы по оказанию технической помощи;
- 4.работы и услуги сторонним организациям.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

4.1 Технико-экономическое обоснование и потенциальные потребители научно – исследовательской работы

Темой выпускной квалификационной работы является «исследование влияния типа и количества наполнителей на прочность композитов на основе СВМПЭ». Целью исследования является изучение механических характеристик композитов на основе СВМПЭ с различным количеством и типом наполнителей. Получение модельных заготовок проводится методом горячего компрессионного спекания. Полученные результаты твердости, прочности на растяжение, износостойкости могут быть использованы как в научных работах, так и на производстве.

Целью работы является исследование композитов на основе СВМПЭ с различными добавками. Полученные результаты могут быть использованы различными организациями, фирмами, компаниями занимающиеся производством СВМПЭ или композитов на основе СВМПЭ.

Для достижения цели использованы приборы и установки. Такие как: установка для горячего прессования, instron 5582, твердомер ТКМ-359, анализатор А20, смеситель С2.0, компьютер.

Потенциальными потребителями проведенных исследований могут стать такие компании как:

- Компания «Гелар», Красноярский край;
- Компания «Полинит», Москва;
- ОАО «Катализатор», Новосибирск
- ООО «Томскнефтехим», Томск
- ОАО «Казаньоргсинтез», Казань

4.2 SWOT анализ НИР

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок [31]. Для анализа проекта составлена таблица 10.

Опишем сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 10 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Получение композитов на основе СВМПЭ методом горячего прессования является современным; С2. Полученные композиты являются экологически безопасными; С3. Возможность применения полученных механических результатов в научных и инженерных целях; С4. Опытный руководитель; С5. Актуальность исследований.	В1. Возможность НИР адаптации на иностранные языки; В2. Отличные перспективы применения композитов на основе СВМПЭ; В3. Получение и использование композитов на основе СВМПЭ актуальны не только в России, но и за рубежом.

Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1.Нет возможности переработки композитов на основе СВМПЭ;</p> <p>Сл2.Получение более прочных материалов на другой полимерной матрице;</p> <p>Сл3. Сложный технологический процесс получения изделий.</p>	<p>У1.Возможность получения изделий выше качеством;</p> <p>У2.Отсутствие спроса на композиты на основе СВМПЭ;</p> <p>У3.Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.</p>

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 11 – Сильные стороны проекта

		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	-	0
	B3	+	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C3C4C5, B2B3C1C2C3.

Таблица 12 – Слабые стороны проекта

		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	0	0	+
	B2	0	+	-
	B3	0	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл3, B2Сл2, B3Сл2.

Таблица 13 – Сильные стороны проекта

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	0	-	0
	У2	+	0	0	+	0
	У3	-	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 14 – Слабые стороны проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл4.

Вывод: наибольшей угрозой для проекта является возможность создания более прочных аналоговых композитом на другой полимерной матрице, но пока в современном мире не синтезировано такого полимерного материала, который бы заменил матрицу из СВМПЭ. Также угрозой может послужить закрытие предприятий на территории РФ, тем самым уменьшая темпы роста, и образуя спад в машиностроительном комплексе.

Рассматривая слабые стороны можно отметить, что получение композитов на основе СВМПЭ является трудоемким процессом, также сложным является описание полученных механических результатов. Следовательно, необходимо привлекать только опытных ученых-исследователей. Так как существует проблема отсутствия опытных кадров в области материаловедения и механики, выходом из нее может послужить обучение.

4.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.3.1 Разделение НИР на этапы

Для правильного планирования, а также финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР необходимо ее разбить на этапы. Под этапом понимается крупная часть работы, которая имеет самостоятельное значение и является объемом планирования и финансирования. НИР имеет:

1. Подготовительный этап. Техничко-экономическое обоснование целесообразности проведения исследований по теме. Определение состава исполнителей и соисполнителей, согласование с ними частных задач. Разработка и утверждение технического задания.

2. Разработка теоретической части. Формирование возможных направлений исследования. Поиски новых материалов.

3. Проектирование и изготовление макетов. Проектирование оснастки, аппаратуры, установок и других средств.

4. Экспериментальные установки. Проведение экспериментальных работ по теоретическим разделам.

5. Испытание.

6. Внесение коррективов в разработку и испытания. Корректировка разработанных схем, расчетов и проектов с учетом циклов испытаний.

7. Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки. Составление технологического отчета.

8. Завершающий этап. Рассмотрение результатов исследования на научно-техническом совете. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

Данную НИР можно разделить на следующие этапы (Таблица 15):

а) выдача задания;

б) составление плана работ;

в) проведение испытаний;

г) обсуждение результатов;

д) составление отчета;

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Таблица 15 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выдача задания	1	Получение заказа на НИР	Кондратюк А. А. - руководитель
	2	Подготовка необходимых материалов для НИР	
Составление плана работ	3	Календарное планирование работ по теме	
Проведение испытаний	4	Подготовка порошка СВМПЭ, Си и армирующих элементов	Яхин А. А. – студент-дипломник
	5	Изготовление модельных заготовок армированных композитов на основе СВМПЭ	
	6	Изготовление образцов для механических испытаний	Кондратюк А. А. – руководитель, Яхин А. А. – студент-дипломник
	7	Проведение механических испытаний	Яхин А. А. – студент-дипломник
Обсуждение результатов	8	Научное обоснование результатов и выводы	Кондратюк А. А. – руководитель, Яхин А. А. – студент-
Составление отчета	9	Оформление отчета НИР	Яхин А. А. – студент-дипломник

4.3.2 Определение трудоемкости этапов НИР

Расчет трудоемкости является важной частью экономических расчетов по теме, так как трудовые затраты составляют основную часть стоимости НИР и непосредственно влияет на сроки разработок. Расчет трудоемкости осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим,
- опытно-статистическим.

Технико-экономический метод – метод прямого счета по нормативам НИИ и КБ. Однако трудоемкость отдельных этапов может быть рассчитана опытно-статистическим методом, если НИР проводится впервые и вследствие этого отсутствуют нормативы. Указанный метод может быть реализован двумя способами:

1. Путем анализа, когда необходимые трудовые запасы определяются по работам, проведенным данным коллективом ранее.
2. Вероятным методом.

При первом способе опытно-статистического метода используют отчетные данные фактической трудоемкости работ, осуществляемых ранее. В отсутствии аналогичных работ определяют вероятным методом непосредственно их продолжительность на основе системы оценок.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$, используется следующая формула [10]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$, – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\max i}$, – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [31]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле[31]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле[31]:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

4.3.3 Техническая готовность темы

Определение технической готовности темы позволяет дипломнику точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа. Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что *период дипломного проектирования* составляет примерно 6 месяцев, дипломник выступает в качестве основного исполнителя. Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ[31]:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в %;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы Γ_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где ΣT_{pi} – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы. [31]

Результаты расчетов приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения НИР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{\min} чел- дн.	t_{\max} чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел- дн	T_p раб.дн	T_k кал.дн	$Y_i, \%$	$\Gamma_i, \%$
1	Кондратюк А. А.	1	4	2	1,1	2	1,64	1,05
2	Кондратюк А. А.	1	4	2	1,1	9	7,37	24,54
3	Кондратюк А. А.	2	3	2	1,7	2	1,64	44,78
4	Яхин А. А.	3	6	4	2,8	7	5,73	51,6
5	Яхин А. А.	2	5	3	2,2	5	4,09	72,3
6	Кондратюк А. А., Яхин А. А.	3	15	8	5,7	9	7,37	67,8
7	Яхин А. А.	2	6	3	2,3	6	4,92	79,1
8	Кондратюк А. А., Яхин А. А.	2	5	3	2,2	5	4,09	83,3
9	Яхин А. А.	6	30	18	16,1	35	28,69	100
ИТОГО						80		

4.3.4 Построение графика работ

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [34]. График (таблица 17) строится в рамках таблицы 3 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 17

Этапы	Вид работы	Исполнители	T _к	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Получение заказа на НИР	Руководитель	2					
2	Подготовка необходимых материалов для НИР		9					
3	Календарное планирование работ по теме	Студент-дипломник	19					
4	Подготовка порошка СВМПЭ и наполнителей	Руководитель	2					
5	Изготовление модельных заготовок армированных композитов на основе СВМПЭ		1					
6	Изготовление образцов для механических испытаний		7					
7	Проведение механических испытаний	Студент-дипломник	2					
8	Научное обоснование полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник	9					
9	Оформление отчета НИР	Студент-дипломник	35					

 - руководитель;  - студент-дипломник.

Вывод: длительность работ в календарных днях преподавателя составляет 23 дня, а инженера 63 дня. Длительность работ в рабочих днях преподавателя составит 16 дней, а инженера 51 день. Общая продолжительность выполнения проекта 86 дней.

4.3.4.1 Составление сметы затрат на НИР

Эффективное планирование и финансирование НИР на всех этапах предполагает использование обоснованных методов определения сметных затрат на проведение исследований и разработок.

Планирование и финансирование НИР — это не только определение доли национального дохода, которую государство может выделить на развитие науки. Условия планирования и финансирования в отраслевых НИИ выдвигают необходимость расчета затрат на конкретную тему.

Народнохозяйственный план финансирования науки является суммой ассигнований на науку в отраслевом разделе, которая представляет совокупность сметной стоимости работ, выполненных НИИ. Поэтому объем финансирования НИИ нельзя определить без наличия сметного расчета по каждой теме[34].

В данной работе изучено влияние армирующих элементов на механические характеристики композита на основе СВМПЭ. Для исследований были изготовлены 6 модельных заготовок, армированных металлической сеткой с разной ячейкой и стеклотканью. Задачами данного исследования являлись: анализ литературы; исследование влияния армирующих элементов на механические характеристики.

Смета затрат будет составлена по следующим статьям:

1. Амортизация оборудования;
2. Основные и вспомогательные материалы;
3. Заработная плата:
 - 3.1 Основная заработная плата;
 - 3.2 Дополнительная заработная плата;

4. Страховые отчисления;
5. Электроэнергия;
6. Прочие накладные.

4.3.4.2 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле[31]:

$$Z_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}), \quad (8)$$

где Ц – цена оборудования, р.; $F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч; $F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч. $F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250$ дней = 2000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 18. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 18 - Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	$F_{сс}$, год	$F_{ф}$, ч.	$Z_{об}$, р.
1	Установка для горячего прессования	100000	30	24	454
2	Анализатор А20	74400	20	10	211
3	Смеситель С2.0	204000	20	2	155
4	Instron 5582	320000	15	5	606
5	Твердомер ТКМ-359	34000	5	2	77
6	Компьютер	30000	8	500	10653
ИТОГО:					12156

4.3.4.3 Затраты на основные и вспомогательные материалы

В данной работе в качестве исследуемого материала использовались армированные композиты на основе СВМПЭ. Состав композита СВМПЭ+13% Си, в качестве армирующий элементов использовались металлические сетки и стеклянная ткань в виде ленты

Приобретенные основные и вспомогательные материалы приведены в таблице 19. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 19 - Основные материалы и комплектующие изделия

№	Материал	Единица материала	Цена, р./ед.	Кол - во, ед.	Затраты на НИР, р.
1	Порошок СВМПЭ	кг	1000	0,5	500
2	Порошок нанодисперсный диоксида циркония	кг	480	0,065	31,2
		м ²	100	0,0025	0,25
		м ²	158	0,0025	0,395
3	Порошок УНТ				1500
4	Расходные материалы				
Итого:					2031,9
Неучтенные расходы 1%					203,12
Всего:					2235

4.3.4.4 Затраты на заработную плату

Для выполнения данной работы требуется 2 исполнителя – заведующий лабораторией (руководитель), студент-дипломник. Поскольку в качестве инженеров выступали дипломники, то зарплата начислялась только для заведующего лабораторией.

Исходными нормативами заработной платы данных категорий работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ.

Оклад рассчитывают по следующему выражению[34]:

$$L_o = T_c \cdot T_{pi}, \quad (9)$$

где T_c – тарифная ставка (данные НИТПУ);

T_{pi} — фактически отработанное время (таблица 14).

Основную заработную плату рассчитывают следующим образом:

$$L_{\text{осн}} = L_o + 0,3 \cdot L_o \quad (10)$$

где L_o - оклад;

$0,3 \cdot L_o$ - районный коэффициент (30% L_o).

Дополнительную заработную плату рассчитываются по формуле:

$$L_{\text{доп}} = 0,2 \cdot L_{\text{осн}} \quad (11)$$

Вычисленные затраты на заработную плату представлены в таблице 20.

Таблица 20 - Затраты на заработную плату

№	Статьи	Зав. Лаб.
1	T_c , р./день	1200
2	T_{pi} , дн	48
3	L_o , р.	56800
4	$0,3 \cdot L_o$, р.	13040
5	$L_{\text{осн}}$, р.	69840
6	$L_{\text{доп}}$, р.	9968
7	$\Sigma (L_{\text{осн}} + L_{\text{доп}})$, р.	79808

Фонд оплаты труда: 79808 р.

4.3.4.5 Страховые отчисления

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Таким образом, затраты на страховые отчисления составят:

$$79808 \cdot 0,271 = 21627,96 \text{ р.}$$

4.3.4.6 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле[31]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{C} \cdot N \cdot n \cdot t_{\text{зан.ч}} \quad (12)$$

где \mathcal{C} — стоимость 1 кВт/ ч электроэнергии, р.;

N — мощность оборудования, кВт;

n — количество единиц оборудования одного вида, ед.;

$t_{\text{зан.ч}}$ — время занятости оборудования, ч.;

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Затраты на электроэнергию

№	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N , кВт	n	$t_{\text{зан.ч}}$, ч.	Затраты, р.
1	Установка для горячего прессования	2,7	12	1	24	777
2	Анализатор А20	2,7	3	1	10	81
3	Смеситель С2.0	2,7	3	1	2	16,2
4	Instron 902	2,7	5	1	5	68
5	Твердомер ТКМ-359	2,7	-	1	-	-
6	Компьютер	2,7	0,3	1	500	405
Итого:						1279,2

4.3.4.7 Смета затрат на НИР

Теперь сложим все прямые затраты на исследование, таблица 22.

Таблица 22 - Прямые затраты

№	Затраты	Сумма, р.
1	Основные и вспомогательные материалы	2235
2	Основная заработная плата	69840
3	Дополнительная заработная плата	9968
4	Страховые отчисления	21627,96
Итого:		103670

Расшифровка накладных расходов представлена в таблице 20 (данные НИИ ИФПМ).

Прочие накладные расходы составят 50% от основной заработной платы, т.е.

$$0,5 \times 69840 = 34920 \text{ р.}$$

Таблица 23 - Накладные расходы

№	Затраты	Сумма, р.
1	Амортизация оборудования	12156
2	Электроэнергия	1279,2
3	Прочие	34920
Итого:		48355,2

Общие затраты на исследование будут равны сумме прямых и накладных затрат:

$$103670 + 48355,2 = 152025,2 \text{ р.}$$

Составим смету затрат на НИР, таблица 24.

Таблица 24 - Смета затрат на НИР

№	Элементы затрат	Сумма, р.	%
1	Заработная плата	79808	51,5
2	Страховые отчисления	21627,96	13,9
3	Затраты на материалы	2235	1,6
4	Амортизация оборудования	12156	7,8
5	Затраты на электроэнергию	1279,2	0,8
6	Прочие накладные расходы	34920	22,4
8	ИТОГО: себестоимость S	155026,16	100
9	Плановая прибыль (рентабельность P=25%)	38756,54	
10	Цена выполнения НИР	193782,7	
11	НДС (18%)	34880,8	
12	Всего с НДС	228663,5	

Вывод: таким образом, в данном разделе работы проведено экономическое обоснование проведенных исследований. Согласно расчетам себестоимость выполнения данной НИР составляет 155026,16р, включая затраты на заработную плату (79808р.), страховые отчисления (21627,96р.), материалы (2235р.), амортизацию оборудования (12156р.), электроэнергию (1279,2р.), и прочие накладные расходы (34920р.). Рассчитана договорная цена на проведение НИР (228663,5р.).

4.4 Анализ и оценка научно-технической уровня проекта

Для определения научно - технического уровня проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик[34].

Формула для определения общей оценки:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i \quad (13)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 25 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,9
Теоретический уровень	0,7
Возможность реализации	0,5

Таблица 26 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 27 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 28 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

Расчет НТУ:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i \quad (14)$$

где $k_1 = 0,9$; $k_2 = 0,7$; $k_3 = 0,5$; $k_4 = 0,5$;

$$P_1 = 9; P_1 = 6; P_1 = 10; P_1 = 4.$$

$$НТУ = 0,9*9+0,7*6+0,5*10+0,5*4= 19,3$$

Вывод: по полученным значениям коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

4.5 Оценка важности групп рисков НИР

При оценке важности рисков, оценивается вероятность их наступления.

По шкале от 0 до 100 процентов:

- 100 – наступит точно;
- 75 – скорее всего, наступит;
- 50 – ситуация неопределенности;
- 25 – риск, скорее всего не наступит;
- 0 – риск не наступит.

Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i).

Важность оценивается по десятибалльной шкале b_i .

Внутри каждой группы оценка идет от простого к сложному. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице.

Таблица 29 - Проведение экспертизы социальных рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (p_i)	Важность (b_i)	Вес риска (w_i)	Итоговая оценка ($P_i * w_i$)
1	Потеря и хищения имущества на стадии производства продукции	75	9	0,34	25,5
2	Несоблюдение техники безопасности	25	9	0,27	6,75
3	Недовольство жителей, а именно дороговизной продукта	0	4	0,21	0
4	Отсутствие командной работы	25	4	0,117	3,25
Итого			26	1	36,5

Таблица 30 - Проведение экспертизы экономических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Инфляция	100	2	0,48	48
2	Недобросовестные поставщики и исполнители	50	2	0,09	4,5
3	Изменение налогообложения	25	5	0,24	6
4	Непредвиденные расходы	75	4	0,191	14,32
Итого			31	1	36,35

Таблица 31 - Проведение экспертизы технологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Низкое качество изготовления комплектующих	50	10	0,38	19
2	Неисправность оборудования	25	7	0,24	6
3	Опасность повреждения оборудования при транспортировке	25	7	0,24	6
4	Опасность повреждения комплектующих при монтаже	25	5	0,14	3,5
Итого			29	1	39,15

Таблица 32 - Проведение экспертизы экологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Загрязнение окружающей территории	75	4	0,4	30
2	Применение и транспортировка токсичных материалов	75	4	0,33	24,8
3	Высокий уровень травматизма	0	2	0,27	0
Итого			10	1	74,8

Таблица 33 - Проведение экспертизы политических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Критика в СМИ	2	3	0,1	0,2
2	Нарушение действующих нормативных законодательных норм	0	7	0,37	0
3	Возможное изменение политического курса партии и правительства	0	9	0,37	0
Итого			19	1	0,2

Таблица 34 - Определение общих рисков проекта

№ п/п	Риски	Ранг (Pi)	Вес(Wi)	Вероятность (vi)	Общая оценка проекта (wi*vi)
1	Социальные	8	0,2	36,5	7,3
2	Экономические	10	0,25	72,82	16,3
3	Технологические	10	0,25	34,5	8,625
4	Экологические	4	0,1	74,8	8,23
5	Политические	5	0,125	0,2	0,025
Итого		37			35,6

Вывод: Итоговая оценка риска проекта составила 35,6%. Эта цифра говорит о том, что риск проекта считается допустимым, и он может быть осуществлен.

Список публикаций

1. Яхин А. Влияние дисперсных наполнителей на прочность композитов на основе СВМПЭ / А. Яхин; науч. рук. А. А. Кондратюк // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 118-119].
2. Яхин А. Исследование механических характеристик композитов на основе СВМПЭ / А. Яхин, А. А. Кондратюк // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 138-139].
3. Яхин А. Исследование влияния наполнителей на прочность полимерных композитов / А. Яхин; науч. рук. А. А. Кондратюк // Наука, технологии, инновации: сборник научных трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Новосибирск, 5-9 декабря 2016 г. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. — Часть 3. — [С. 231-232].
4. Яхин А. Влияние различных наполнителей на прочность композитов на основе СВМПЭ / А. Яхин; науч. рук. А. А. Кондратюк // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016): сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5–7 декабря 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 214-215].
5. Dislocation structure and deformation hardening alloy fcc single crystals at the mesolevel / L. A. Teplyakova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 156: Materials and Technologies of New Generations in Modern Materials Science: International Conference and Youth Scientific School, 9–11 June 2016, Tomsk, Russia: [proceedings]. — [012010, 7 p.].

6. Яхин А. Исследование влияния количества и типов наполнителей на прочность композитов на основе СВМПЭ / А. Яхин, Г.О. Фуцзай, А. А. Кондратюк // *Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции*, г. Томск, 9-11 июня 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 237-240].
7. Вицке Р. Э. Перспективные полимерные композиты конструкционного назначения / Р. Э. Вицке, А. А. Яхин; науч. рук. А. А. Кондратюк // *Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием*, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 95-98].