

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Разработка экструзируемых износостойких полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ	

УДК 678.5.067:678.057

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ5В	Буслович Д.Г.		

Руководитель

Профессор	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин С.В.	Д. т. н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Раденков Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин С.В.	Д. т. н., профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов (магистратура)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин С. В.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ5В	Буслович Дмитрий Геннадьевич

Тема работы:

Разработка экструдированных износостойких полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объекты исследования – экструдированные износостойкие полимер-полимерные композиты на основе СВМПЭ. Исследование механических и триботехнических характеристик получаемых при применении различных наполнителей в процессе производства композита. Оценка полученных данных и выработка наиболее применимых составов композиций.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Исследование структуры, механических и триботехнических свойств композитов на основе СВМПЭ, наполненных полимерными наполнителями, обеспечивающих как повышенную экструзируемость, так и высокое сопротивление изнашиванию в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения.
Перечень графического материала	Презентация ВКР в Power Point

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	О.Н.Петухов, доцент, ИСГТ ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Т.А.Раденков, ассистент, ИНК ТПУ
<i>Иностранная часть</i>	М. В.Бурков, доцент, ИФВТ ТПУ О.С.Квашнина, доцент, ФТИ ТПУ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и английском языках:

Глава I. Литературный обзор (русский язык)

Глава 2. Материалы и методики исследований (русский язык)

Глава 3. Результаты исследований (русский язык)

Глава 4. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» (русский язык)

Глава 5 Раздел «Социальная ответственность» (русский язык)

Приложение А (иностраннй язык)

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин С.В.	Д. т. н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ5В	Буслович Д.Г.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 133 с., 51 рис., 28 табл.,
53 источников, 1 прил.

Ключевые слова: износостойкость, надмолекулярная структура, полимеры, экструзия, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, механические свойства

Объектом исследования является (ются) экструдруемые износостойкие полимер-полимерные композиты на основе СВМПЭ. Исследование механических и триботехнических характеристик получаемых при применении различных наполнителей в процессе производства композита. Оценка полученных данных и выработка наиболее применимых составов композиций.

Цель работы – Исследование структуры, механических и триботехнических свойств композитов на основе СВМПЭ, наполненных полимерными наполнителями, обеспечивающих как повышенную экструдруемость, так и высокое сопротивление изнашиванию в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения.

В процессе исследования проводились спекания под давлением, сухое трение скольжения, растровая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, профилометрия, статическое растяжение, твёрдость по шору D, экструзия полимеров.

В результате исследования Рассмотрены надмолекулярные структуры образцов композиционных материалов на основе СВМПЭ, изучено влияние содержания наполнителя на структуру, механические и триботехнические свойства, а также экструдруемость композитов на основе СВМПЭ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: повышение износостойкости при трении скольжения. Повышение экструдруемости композитов.

Степень внедрения: на данный момент результаты полученные в ходе работы не используются в практическом применении

Область применения: машиностроение, горно-добывающая промышленность, транспортная промышленность (футеровка, защита от налипания, защита от износа)

Экономическая эффективность/значимость работы применение полученных в работе результатов позволяет повысить ресурс работы до 1,5-2,5 раза в сравнении с ныне используемыми методами.

В будущем планируется исследование трехкомпонентные композиты с различным полимер-полимерными наполнителями и твердо смазочными материалами, в целях дальнейшего повышения свойств и ресурса работы.

Содержание

	ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1	ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	10
1.1	Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ)	10
1.1.1	Физическая модель процесса изнашивания полимеров	12
1.1.2	Контактная задача Герца	25
1.2	Наполнители	32
1.2.1	Полипропилен	32
1.2.2	Сшитый полиэтилен	35
1.2.3	Полиамид	40
1.2.4	Стирол малеинового ангидрида	42
1.2.5	Винилтриметоксисилан	43
1.2.6	Этиленвинилацетат	45
Глава 2	МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ»	47
2.1	Материалы исследований	47
2.2	Методики исследований	49
Глава 4	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	77
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	78
4.2	Разработка устава НИР	79
4.2.1	Цели и результаты проекта	79
4.2.2	Организационная структура проекта	80
4.2.3	Ограничения и допущения проекта	81
4.3	Планирование и график НИР	82
4.3.1	Иерархическая структура работы	82
4.3.2	Календарный план проекта	83
4.3.3	Сетевой график выполнения НИР	84
4.4	Составление сметы затрат	86
4.4.1	Затраты на амортизацию оборудования	86
4.4.2	Затраты на основные и вспомогательные материалы	87
4.4.3	Затраты на заработную плату	88

4.4.4	Отчисления на социальные нужды	89
4.4.5	Затраты на электроэнергию	89
4.4.6	Смета затрат на НИР	91

ВВЕДЕНИЕ

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) на настоящий момент является наиболее перспективным полимерным материалом, который за счет некоторого ряда необычных свойств (ударная прочность и стойкость к истиранию, низкий коэффициент трения, химическая инертность) получил довольно широкое применение в разных отраслях, таких как медицина и машиностроение. СВМПЭ используют для замены металлов при изготовлении футеровочных плит, зубчатых передач, медицинских имплантов, подшипников, различных направляющих, роликов и т. д.

Вместе с тем ненаполненный СВМПЭ испытывает значительный износ при долгих сроках эксплуатации, что в настоящем представляется актуальной научно-технической задачей. Для повышения износостойкости СВМПЭ используются различные методики, например, введение наноразмерных и микронных наполнителей, их химическая модификация, обработка поверхности пучками ионизирующего излучения, механическая активация и т.д. В связи с этим, использование разносторонних комплексных исследований влияния наполнителей на сопротивление изнашиванию, механические свойства, структуру композитов на основе СВМПЭ при различных видах износа в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения является актуальной задачей. Экструзия – метод переработки полимеров непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия или полуфабриката.

50% термопластов, производимых в России перерабатываются в изделия данным методом. Этим способом получают листы, прутки, трубы, пленки, капилляры, шланги, всевозможные по конфигурации профили, наносят полимерную изоляцию на провода, изготавливают многослойные различные по

строению изделия высокого качества. Переработка вторичных полимеров и гранулирование также выполняются с применением экструзионного оборудования.

В 2016 году приблизительно 45% производимых в Российской Федерации термопластов были переработаны методом экструзии.

Целью работы является исследование структуры, механических и триботехнических свойств композитов на основе СВМПЭ, наполненных полимерными наполнителями, обеспечивающими как повышенную экструдирруемость, так и высокое сопротивление изнашиванию в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения.

ГЛАВА 1

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ)

СВМПЭ - сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности (Ultra-high-molecular-weight polyethylene; UHMWPE), также известный как высокомодульный полиэтилен (high-modulus polyethylene; HMPE) или высокопроизводительный полиэтилен (high-performance polyethylene; HPPE) является одной из разновидностей термопластичного полиэтилена. Это вещество состоит из чрезвычайно длинных цепей молекул и отличается высокой молекулярной массой - от 2 до 6 миллионов. Длинные цепочки служат для более эффективной передачи нагрузки и распределения ее внутри полимера путем укрепления межмолекулярных взаимодействий. СВМПЭ образован из этилена (C_2H_4).

Формула полиэтилена выглядит следующим образом - $(-C-H_2-)n-$,

где n - критерий полимеризации.

Схематическое представление структур полиэтилена и этилена продемонстрировано на рисунке 1.

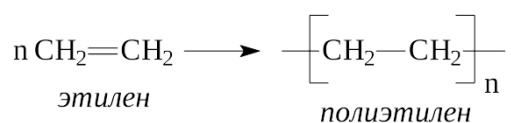


Рисунок 1 - Химическая структура этилена и полиэтилена[1]

Из этого вещества создаются очень жесткие материалы с высокой ударной прочностью. По данному показателю СВМПЭ превосходит любой термопластичный полиэтилен, промышленное производство которого сейчас налажено. Полимеризация СВМПЭ была коммерциализирована в 1950-х. Пионером в данной области выступала компания Ruhrchemie AG, наименование

которой менялось на протяжении многих лет. Сегодня порошковые [порошкообразные] материалы из СВМПЭ производят компании Ticona, Braskem и Mitsui[2].

Общей специфической особенностью процесса полимеризации этилена на поверхности наполнителей, независимо от типа последних и применяемой каталитической системы, является образование полимера с ультравысокой молекулярной массой (СВМПЭ) – порядка $6-7 \cdot 10^6$. Молекулярно-массовое распределение (ММР) этого продукта в большой степени зависит от однородности полимеризационной системы и составляет 6,7–7,4. Полимер имеет температуру плавления 137–138°C, а после перекристаллизации 132–134°C, что свидетельствует о высокой степени ориентации макромолекул в процессе синтеза. Начальная степень кристалличности 78–85 %. Условия кристаллизации в большой степени зависят от типа и размера частиц наполнителя и его объемной доли [3].

В таблице 1 показаны механические, а также физические свойства полиэтиленов ПЭНД и СВМПЭ.

Таблица 1 - Типовые среднестатистические физико-механические характеристики полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности (СВМПЭ) [1]

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 (°C)	130–137	132–138

СВМПЭ представляет собой уникальный материал по сравнению с обычными типами полиэтилена. После плавления он не переходит в вязкотекучее состояние и не может перерабатываться методами экструзии и инъекционного литья. При перегреве и в условиях сильных сдвиговых деформаций он подвергается интенсивной деструкции с образованием материала с очень широким ММР. Механические свойства деструктированного СВМПЭ намного хуже свойств полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) с аналогичными значениями вязкости.

СВМПЭ, конечно, не может претендовать на сферы применения массовых марок ПЭВП, но у него есть свои уникальные особенности, обеспечивающие ему растущий спрос. Это высокая стойкость к истиранию и ударным нагрузкам, прекрасная химическая стойкость. Методом прививочной полимеризации на наполнителе удалось получить СВМПЭ с содержанием минерального наполнителя 50–75 %, обладающий в интервале температур от минус 40 до 30°C ударной вязкостью более высокой, чем ненаполненные поликарбонат и АБС-пластик [3].

1.1.1 Физическая модель процесса изнашивания полимеров

Процесс протекания износа полимерных материалов имеет свои особенности, которые определяются их свойствами и строением. Объемная и поверхностная прочностные характеристики полимеров регламентируются их структурно-чувствительными свойствами и кардинально меняют значения в зависимости от состояния материала, условий ОС, параметров и вида внешнего воздействия, температуры. У полимеров более сложное строение, чем у металлов с точки зрения структуры. В полимерных материалах, в одно и то же время существует кристаллическая и аморфная фазы: большим разнообразием молекулярных образований, таких как глобулы, фибриллы цепи и т.д. характеризуется надмолекулярная структура.

Многие надмолекулярные структуры в той или иной степени можно соотнести к одной из групп структур:

- крупнокристаллические (сферолиты, монокристаллы) – часто встречаются при более поздних стадиях кристаллизации;
- фибриллярные;
- глобулярные;
- полосатые – полимеры в высокоэластичном состоянии (каучук и другие эластомеры).

Всевозможные различные воздействия извне проявляют наиболее непосредственное и тяжелое влияние на полимерные, чем на металлические материалы. Даже при слабом изменении величины температуры полимеры из стеклообразного состояния переходят в высокоэластическую (промежуточную) и вязкотекучую форму. В связи с переходом основного процесса работы трения в тепловую энергию изменение температуры в месте контакта полимерных материалов является очень тяжелой, но в тоже время актуальной задачей. Дефекты на поверхности полимеров значительно сильнее влияют на прочность, чем у тех же металлических материалов. Для этого нужно более внимательно относиться к виду и параметру поверхности взаимодействующих тел и к факторам контактного давления системы металл-полимер. Полимеры по сравнению с металлами более инертны к воздействию факторов рабочих сред, а металлические материалы, с которыми они контактируют, очень чувствительны и это нельзя не учитывать.

Трудность оценки прочностных свойств полимерных материалов состоит в том, что они могут существовать в нескольких различных физических конфигурациях, существенно отличающихся по механизмам разрушения и механическим свойствам. Присутствие двух резко различающихся типов взаимодействия между атомами в полимерах: больших химических связей, действующих в области цепных макромолекул, и немощных связей

межмолекулярного согласования - предопределяет возможное возникновение несплошности распределения механических напряжений в изотропных полимерах.

Строение полимера чрезвычайно неравномерно распределяет в себе внутренние усилия между отдельными атомами и молекулами. Механизм разрушения нагруженных молекул включает в себя термофлуктуационный принцип, по которому несколько разрушенных связей имеют свойство восстанавливаться, но с ростом нагрузки на молекулы число восстановлений (рекомбинаций) значительно снижается по сравнению с числом разрушения. С точки зрения кинетической (термофлуктуационной) концепции долговечность тела при нагрузке как базовая оценка механической величины прочности показывает осредненную скорость течения деструкции, связанного со скоплением дефектов в твердом материале[4].

Стабильность энергетической характеристики активации разрушения позволяет сделать следующее заключение, что элементарными процессами, способствующими разрушению полимерных материалов, являются кинетические разрывы химических взаимодействий в макромолекулах, а также позволяет вообразить процесс деструкции твердых тел как термофлуктуационный процесс разрушения межатомных связей и появления первичных изменений сплошности, и образование субмикро- и микротрещин [5]. При наличии нагрузок извне, появляется риск увеличения вероятности разрыва, придание направленности процессу и дальнейшее отсутствие рекомбинации разорванных цепей. В исследовательской работе [6] концепция термофлуктуационно-кинетической теории прочности хорошо продемонстрирована на примере вычисления величины износа для покрытий в зубчатых (рваных) передачах.

$$\tau = A \exp \left\{ \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} \right\},$$

Рисунок 2 – Уравнение долговечности Журкова [4]

где A – постоянная величина, зависящая от рода материала; U_0 - энергия активации деструкции при нулевом напряжении; σ - напряжение; γ - структурно-чувствительная постоянная; k - постоянная Больцмана.

Уравнение Журкова показывает зависимость температуры и времени на прочность твердых тел при одноосном растяжении. В процессе трения поверхностные слои трущихся тел, к примеру, схема металл-полимер, воспринимают напряжения всевозможного рода и немалые деформации (полимеры в особенности), позволяющие возникать и накапливаться микродефектам. Изменение данных термодинамических свойств твердых тел происходит также при растяжении и сжатии тел. Доказательство этим фактам предоставлено во множество ряде работ. Так, накопительный характер деструкции, при объемном виде усталости, замечен при изнашивании полимеров[7]. Несомненным подтверждением всеобщности природы и процесса разрушения при фрикционном и одноосном нагружении являются параллельность данных кривых усталостей резин [8] и уменьшение всевозможного сопротивления фрикционной усталости образцов полимерного материала [9].

Результаты исследований, сделанные разными учеными на разнообразных материалах, показывают, что в образцах при всевозможных видах нагружения, а также при фрикционном взаимодействии в поверхностных участках происходят одинаковые структурно-энергетические превращения, содействующие градиационному увеличению микродефектов и дальнейшему разрушению.

Температурное влияние на различные свойства полимеров и взаимосвязь их с характеристиками трения и износа показаны на рисунке 3.

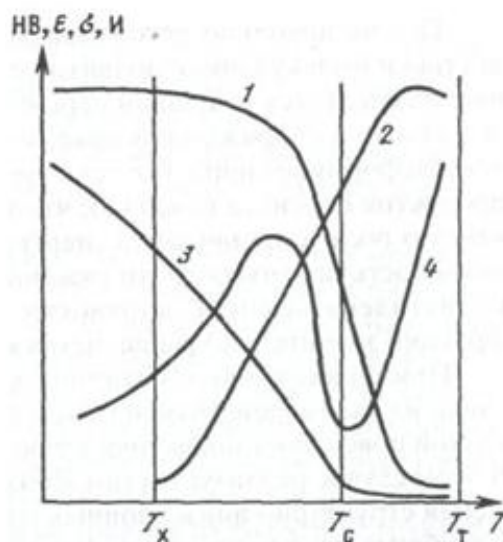


Рисунок 3 - Температурное воздействие на гранулометрические свойства и износ полимерных композиций 1) величина твердости; 2) удлинение при разрушении ϵ ; 3) прочность при разрыве σ ; 4) величина износа; T_x , T_g , T_t - температура для режимов хрупкости, стеклования, текучести

Зависимость интенсивности износа от температуры в основном объясняется влиянием данной температуры на прочностные свойства, но с приближением к непосредственному температурному режиму стеклования зависимость становится еще более сложной для оглашения каких-либо выводов. Путь кривых на графике дает указание на то, что есть участки наименьшего износа в области приближения к температуре стеклования и переменным состояниям. Дальнейшие научные изыскания композитов на основе полимера -политетрафторэтилена (ПТФЭ) показали, что пройдя величину температуры стеклования (-120°C) зависимость триботехнических и механических величин (интенсивности износа и предела прочности) от влияния температуры практически неизменна (рис. 4). С повышением величины температуры прочность уменьшается, а интенсивность

износа увеличивается. Это говорит о том, что когда предел прочности снижается, то износостойкость полимера тоже уменьшается [10].

На данный момент представления о режимах и механизмах поверхностной деструкции полимерных материалов при сухом трении не объяснены в полной мере и недостаточно точны. Зачастую, в сами рассмотрения задач и проблем заложены не данные исследования процессов поверхностной деструкции рабочих деталей конкретных производственных машин или приспособлений, в которых режимы и процессы износа и трения механизмов и деталей имеет наиболее высокой статус, а результаты лабораторных изысканий и испытательных процессов, полученные на определенного размера образцах и в особых условиях рабочей среды[11].

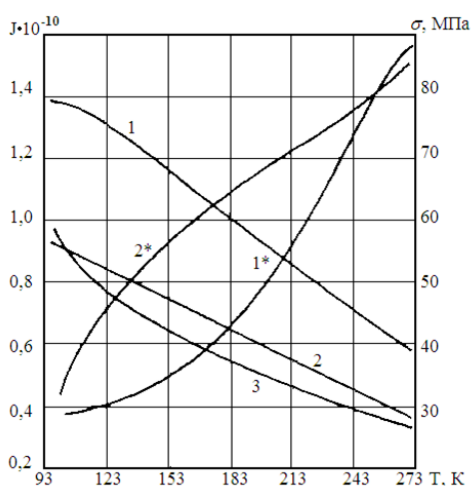


Рисунок 4 - Температурное влияние на предел прочности при разрыве σ и интенсивность износа J полимеров 1.1* - материал криолон-5; 2.2* - композит КВН-3; 3 - ПТФЭ; 1,2,3 – предел прочности при разрыве; 1*, 2* - интенсивность износа

Благодаря этому в различного рода объяснениях поверхностной деструкции преобладают не вполне естественные механизмы и процессы износа и трения, которые присуще сопряжениям механизмов машин, а явления повреждения топографий поверхностей полимерных материалов. Авторы данной работы [12]

показывают, что поиск универсальных закономерностей, между всеми характеристиками материала, весьма труден, потому, что для каждой трибопары есть определенное соотношение величин скорости, нагрузки и температуры, которые помогают определить оптимальную кинетику процесса трения с наилучшими триботехническими свойствами.

Процесс трения стабильно соотносится с молекулярной подвижностью и поверхностной активностью полимерных молекулярных цепей, а износ определяется толщиной перенесенных с поверхности слоев, их возможностью оставаться на сопряженной поверхности и способностью сопротивляться многократному процессу деформированию. Дальнейшее изучение процесса распределения продуктов переноса показало, что в непосредственном взаимодействии металл-полимер большую роль в диспергировании частиц переноса играет поверхностная активность сопряженной поверхности металла. Например, при процессе трения ПВП (полиэтилен высокой плотности) по Cu (медь) часть низкомолекулярных фракций намного выше, чем в процессе контакта алюминия со сталью.

Проводя исследования особенностей диспергирования полимеров в контакте с металлами, Г.А. Гороховский установил, что 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 [14]. 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.

Для изучения процессов и различного рода механизмов износа и трения полимеров были проведены исследования на трение в поверхностном участке структурно-фазовых изменений образцов композитов из политетрафторэтилена, в которые добавляли порошки бронзы, измельченные углеродные волокна, дисульфида молибдена, окиси свинца и кокса [10]. Структурно-фазовые превращения исследовали за счет изменения: режима скорости скольжения контртела по образцам, температуры ОС и контактного давления задачи Герца при трении. Рентгеноструктурным анализом были исследованы поверхности материала криолон-3, которые испытывали при контактном взаимодействии 2 МПа, температуре ОС 27°C, скоростях скольжения 0,6 до 1,9 м/с. Далее было изучено влияние контактного давления, величина которого составляла от 1 до 4 МПа при $V = \text{const}$ и $T = \text{const}$ на ориентирование структурно-фазовых модификаций в поверхностном слое. Беря во внимание широкий диапазон температур для узлов трения, были проведены исследования влияние температуры ОС от -100 до +80°C при постоянных P и V . Образцы исследованы в режиме продолжительного трения в течение 3, 6, 12, 20, 28 и 52 часов соответственно[11].

Анализ рентгенограмм поверхности трения композиционных материалов, зафиксированных после окончания испытаний, показывает, что при трении с различными режимами скорости скольжения на поверхности происходят идентичные физико-химические процессы:

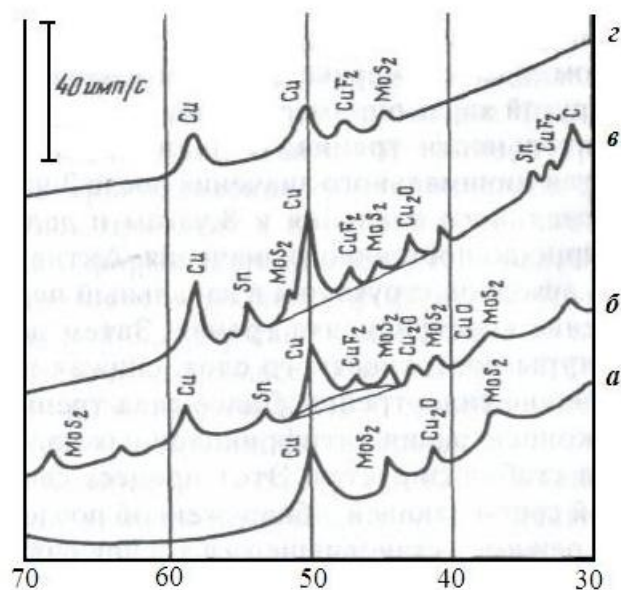
- накопление и образование фаз Cu_2O и CuFe_2 при повышении скорости скольжения;
- бронзы распадается на олово и медь, происходит повышение числа рефлексов олова при высокой скорости скольжения;

- аморфизация меди;
- появление фазы MoO_3 ;
- в полимерной матрице происходят процессы аморфизации и рекристаллизации.

Из данных по изучению влияния процесса контактного давления видно, что изменение величины давления в пределах 1-3 МПа одинаково изменению величины скольжения при скорости 1- 1,9 м/с и вызывает похожие физико-химические изменения и структурно-фазовые процессы на поверхностных участках полимерных композиций.

При вариации температуры ОС при режиме трения в образцах можно наблюдать похожие процессы (рис. 5), что и при изменении давления и скорости скольжения. Но при температуре -100°C уменьшается численная величина всех фаз, а при $+80^{\circ}\text{C}$ можно увидеть, что фазовый состав изменился – исчезли фазы Sn и Cu_2O , содержание дисульфида молибдена, Cu и фторида меди на поверхностном участке снижается. Эти видоизменения во многом похожи с видоизменениями фазового состава, которые происходили при повышенном контактном давлении (4 МПа) и температуре ОС $+27^{\circ}\text{C}$.

Структура постепенно меняется – становится практически аморфной, но при этом расположение макромолекул остается слоями. Межслоевое расстояние (период слоистости) меняется с течением времени.



- Рисунок - 5 Рентгенограммы поверхности трения композитов криолон-3 в начальной стадии (а) и после процесса трения при температурах -100°C (б), -30°C (в), 80°C (г)

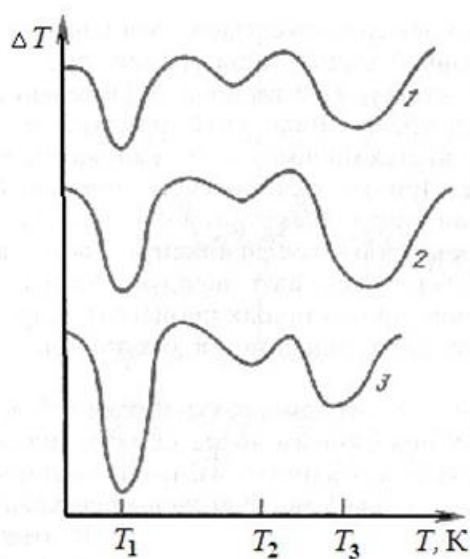


Рисунок 6 - Термограммы ненаполненного политетрафторэтилена и композитов на его основе на участке фазовых переходов: 1 – политетрафторэтилен; 2 – криолон; 3 – KBH-3

Изучение надмолекулярной структуры композитов на основе политетрафторэтилена дало понять, что при значении температуры выше предусмотренной температуры плавления кристаллитов, как и при участии трения, в аморфной фазе остается послойное последовательность макромолекул. Эти данные говорят о том, что при некотором энергетическом влиянии кристаллическая фаза, превращаясь в аморфную, создает абсолютно новую и сравнительно правильную структуру. Методом дифференциально-термического анализа были исследованы температурные и энергетические характеристики кристаллической фазы политетрафторэтилена на участке температуры плавления. Термограммы делали на образцах из ненаполненного политетрафторэтилена, а также из композитов на его основе. На рисунке 6 показаны наиболее классические для данных полимеров термограммы, были выстроены по экспериментальным результатам кривые, методом исключения угла наклона линии дериватограммы располагающейся ниже нуля и переключения от шкалы времени к шкале температур.

Термограммы ненаполненного политетрафторэтилена и композитов имеют пики 3-х эндотермических переходов. Пик низкой температуры при T-1 сопоставим гласному фазовому переходу 1-го рода – плавлению кристаллов политетрафторэтилена. Эндотермический пик T-2 можно отнести к другому виду ЖКС, вполне вероятно к нематическому виду жидкокристаллической структуры. Такие переходы, имеют маленькую энтальпию, и в данных рассмотрениях энтальпия такого перехода стала в 6-7 раз меньше энтальпии перехода при пике низкой температуры. Третий T-3 пик высокой температуры, отображает процесс разложения политетрафторэтилена.

Данные совместного анализа рентгеноструктурных и термографических исследований говорят о том, что увеличение температуры в месте фрикционного контакта побуждает зарождаться фазовым переходам различной конфигурации: из

кристаллической – в аморфную фазу, из нее – в ЖК с послойной термотропной структурой, гарантирующей довольно легкое скольжение слоев полимерного материала. Создание жидкокристаллической структуры аккомпанируется энергетически хорошими эндотермическими механизмами упорядочения данной структуры. Сами наполнители нужно выбирать так, чтобы они не мешали образованию жидкокристаллической структуры и создавали большого лимитирования подвижности молекулярных цепей политетрафторэтилена[11].

На базе общего изучения результатов исследования структурно-фазовых изменений и связанных с ними перемен триботехнических свойств металлополимерной пары трения можно составить физическую модель процесса трения и износа наполненных композитных полимерных материалов на примере политетрафторэтилена (рис. 7).

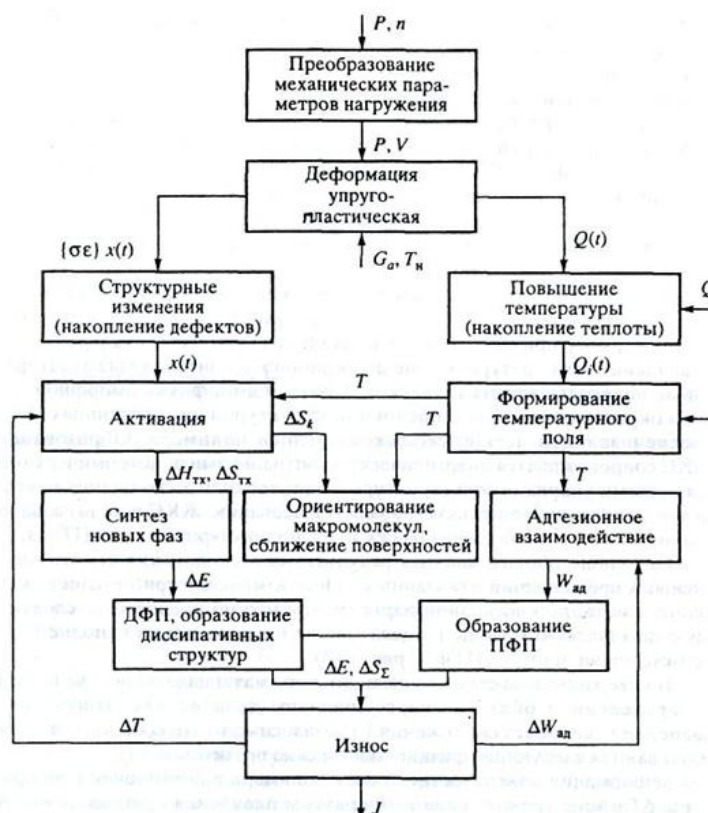


Рисунок 7 - Физическая модель процесса трения и износа композита на основе политетрафторэтилена.

В поверхностном слое композита на основе политетрафторэтилена на определенных участках энергетического взаимодействия (скорость скольжения V , контактное давление P) вне зависимости от метода воздействия происходят нижеперечисленные физико-химические процессы:

- деформация в поверхностном слое полимерного материала и увеличение величины температуры в месте трения ΔT несколько больше температуры плавления КФ и ЭФП;

- триботехнические воздействия: разрушение полимерного композита с экстрагированием фторсодержащих радикалов, дезорганизация бронзы на Cu и Sn, синтез фторидов Cu и окисление Cu;

- накопление Cu, фторидов и оксидов Cu и дисульфида Mo в поверхностных участках с повышением их количества;

- появление рентгеноаморфной структуры у Cu;

- частичная доля рекристаллизации в полимерной матрице;

- возникновение третьего взаимодействующего тела – пленки переноса (ПП) на металлическом контртеле.

В режиме длительного процесса трения при непрерывном возможном уровне энергетического воздействия в поверхностном слое образцов полимеров происходят вышеназванные физико-химические процессы, при этом фазовый состав в пленке переноса практически не меняется, а матрица полимера включает в себя только аморфную фазу, имеющую слоистую структуру с меняющимся среднестатистическим межслоевым промежутком. Происходит процесс создания диссипативных трибоструктур в металлополимерной трибосистеме с конкретными термодинамическими характеристиками.

Износ и сила трения по завершении процесса приработки не остаются неизменными, а меняются исходя из некоторого усредненного значения.

Повторяемость данных изменений свидетельствует об их связи с видоизменением структуры тонкого поверхностного слоя полимера и пленки переноса.

Формирование данной структуры гарантирует хорошее скольжение слоев политетрафторэтилена, малый показатель касательных напряжений, сосредоточение их в тонком поверхностном участке, благодаря чему происходит уменьшение силы трения и интенсивности износа[11].

1.1.2 Контактная задача Герца

Различные задачи и проблемы, с которыми в настоящее время время сталкиваются инженеры и ученые, не всегда поддаются легкому умозаключительному решению либо вызывают в той или иной мере большие затраты на проведение экспериментов. Успехи в создании численных способов компьютерного моделирования помогли значительно расширить диапазон задач, доступных всевозможным анализам. Приобретенные на базе данных методик результаты применяются почти во всех известных областях нынешней науки и техники. Одним из прекрасных в применении и качестве исследования действия определенных конструкций в различных условиях среды является метод конечных элементов. Программное обеспечение ANSYS, в которой используется метод конечных элементов, получило широкую известность и пользуется большим спросом среди ученых и инженеров, работающих с прочностными характеристиками. Ресурсы метода конечных элементов ANSYS дают возможность проводить вычисления динамического и статического состояний строений, в числе которых, некоторые физически и геометрически нелинейных задачи механики деформируемого твердого тела. Данные средства помогают найти решения большого круга инженерных проблем и задач. В ходе конструкционного анализа, который проводится в ANSYS, первыми переменными становятся узловые

перемещения. Следуя из посчитанных перемещений в узлах распределенной сетки, вычисляются другие основные параметры необходимые для дальнейшей работы: различного рода напряжения, статические и динамические деформации, перемещение конструкции, реакции и др.

При рассмотрении контактных задач используют в качестве основы контактное взаимодействие тел. Данные задачи имеют огромное практическое значение и применение. Они появляются, когда необходимо изучить механизм деформирования составных систем, при ударных связях тел, при качении колеса по дороге, по рельсу и т.д. Контактное взаимодействие тел рассматривается в различного рода расчётах – пластичных, вязкоупругих, упругих тел при динамическом или статическом контакте. КВ может происходить во фланцевых, шарнирных соединениях, при разнообразных операциях технологической обработки – шарико- и ролико- подшипниках, резании, штамповки, бурении нефтяных и газовых скважин, зубчатых колесах, в фундаментах под сооружениями и др[13].

Благодаря Генриху Герца, в механике КВ в 1882 году была решена проблема контакта 2-х сферических упругих тел [15].

Спецификой контактных задач Герца[16] считается присутствие на части плоскости упругого тела какого-либо контакта с иным телом, более упругим или жестким. Граничные условия на плоскости контакта тел являются характерными. Если происходит взаимодействие твердых тел, то точки касания в месте контакта двигаются похоже, или если есть касание, то одна точка проходит касательно другой. Так как неизвестны величины напряжения по плоскости взаимодействия контакта, ни движения точек данной поверхности, то это делает сложными граничные условия.

Контактные задачи подразделяются по размерам задачи:

- пространственные (осесимметричные);

- плоские;

по физическим свойствам взаимодействующих тел:

- взаимодействие 2-х деформируемых тел;
- взаимодействие упругого и жесткого тела;

по размерам площади контакта:

- контактная площадь оставляет свои форму и размерности в момент роста силы;

- контактная площадь повышается с увеличением силы (контакт шаров);
- контактная площадь повышается с увеличением силы до определенного предела, пройдя который, остаются свои форма и размеры (взаимодействие штампа со сферической поверхностью контакта и основанием);

по условиям контакта взаимодействующих тел на контактной площади:

- неимение сил трения на контактной площади;
- присутствие полного сцепления тел на контактной площади;
- присутствие тангенциальных сил на контактной площади;

Из огромного числа задач рассмотрим типичный пример задачи контактного взаимодействия.

Задача давления шарообразного тела на плоскость [17] (рис. 8). Твёрдый шарообразный объект, имеющий радиус R , вдавливают в упругое полупространство на глубину проникновения d , образуя контактную область радиуса a :

$$a = \sqrt{Rd},$$

$$a = \frac{1}{2R}.$$

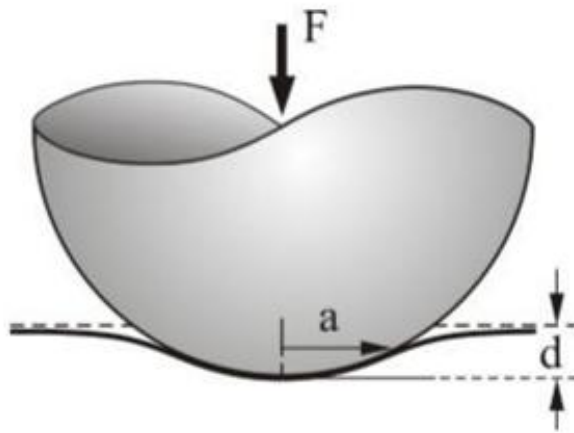


Рисунок 8 – Контактное взаимодействие между твердым шаром и упругим полупространством.

Необходимая величина силы равна:

$$F = \frac{4}{3} E^* R^{1/2} d^{3/2}, \text{ где } \frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}$$

E_1 и E_2 - модули упругости, ν_1 и ν_2 – коэффициенты Пуассона для 2-х тел.

Давление, которое распределяется по контактной площади, вычисляется как:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)^{1/2}, p_0 = \frac{2}{\pi} E^* \left(\frac{d}{R} \right)^{1/2}.$$

Решение контактных задач в численном эквиваленте.

На данный момент применение численных методов, таких как метод конечных элементов, и компьютерная помощь в вычислениях помогают проанализировать почти любые контактные задачи при использовании различных внешних и внутренних воздействий – пластического деформирования,

температуры, скольжения, трения. Решение данных задач осуществляется поэтапно повторяющимися методиками, так как размеры контактной площади в некоторой степени зависят от количественной величины деформации тел взаимодействия. С помощью программного обеспечения ANSYS, которое использует анализ методом конечных элементов решение задачи можно выстроить в следующие этапы:

1. создание конечно-элементной сеточной модели;
2. установка контактные пары взаимодействия;
3. определение контактной и целевой поверхности;
4. необходимость выбора соответствующих констант контактных элементов и опций контакта;
5. описываются и применяются различные закрепления и силы;
6. определяются необходимы для данной задачи параметры решения и нагружения;
7. решение поставленной задачи;
8. выполняется конечный анализ данных результатов [13].

Контактные пары взаимодействия выбираются в результате подготовительного анализа поведения составной части конструкции при её изменении и дальнейшей деформации. Программный пакет ANSYS может смоделировать следующие виды контактных пар взаимодействий: на рисунках 9, 10, 11 соответственно пары узел – узел, узел – поверхность, поверхность – поверхность. Пары взаимодействия можно представить в плоском (2D) и объемном (3D) виде. Тела во время контакта подразделяются на деформируемые и на жесткие. В контактной паре взаимодействии «поверхность – поверхность» одну из заданных плоскостей принимают направленноцелевой (target), другую – контактной (contact). При выборе определенного вида можно использовать правилами указанные ниже [18].



Рисунок 9 – Пара взаимодействия «узел – узел»



Рисунок 10 - Пара взаимодействия «узел – поверхность»



Рисунок 11 - Пара взаимодействия «поверхность – поверхность».

1) Если все имеющиеся поверхности представляются плоскими, то определение контактной и направленноцелевой самопроизволен.

2) Если у одной из взаимодействующих поверхностей имеется острое ребро, а у другой его нет, то первая принимается контактной поверхностью.

3) Если поверхность А представляется вогнутой или плоской, а поверхность В представляется в виде острого ребра или выпуклости, то поверхность А должна являться направленноцелевой.

4) Если одно тело жесткое, то поверхность является направленноцелевой.

5) Если обе взаимодействующие между собой поверхности выпуклые, то направленноцелевой стоит считать ту поверхность, которая является менее выпуклой.

Как только контакты и их поверхности определены, происходит идентификация контактных элементов, которые в дальнейшем будут отслеживать кинематический процесс деформации.

На данные направленноцелевые поверхности накладываются целевые конечные элементы рода target (Targe 169 – для 2D, Targe 170 – для 3D).

На данные контактные поверхности накладываются контактные конечные элементы рода contact (Conta 171, 172 - для 2D, Conta 173, 174 - для 3D)[13].

1.2 Наполнители

1.2.1 Полипропилен

Полипропилен (ПП) - это термопластичный полимер пропена (пропилена). ПП изготавливают благодаря полимеризации пропилена с применением металлокомплексных катализаторов:

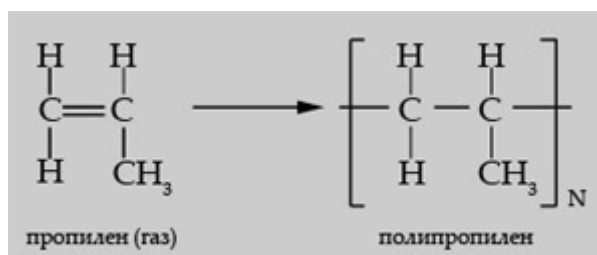
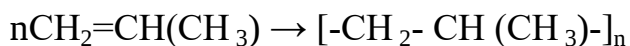


Рисунок 12 - Химическая структура пропилена и полипропилена.

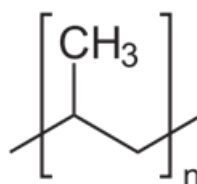


Рисунок 13 - Химическая структура полипропилена PP21007

Для изготовления ПП нужны близкие параметры к таким, при которых изготавливают полиэтилен низкого давления. В зависимости от вида катализатора, можно получить любую разновидность полимера или их смеси.

ПП производится в виде белого порошка или гранул с насыпной плотностью 0,4÷0,5 г/см³ [19].

Молекулярное строение

По виду молекулярного строения можно обозначить три вида: атактический и синдиотактический, изотактический. Синдиотактическое и изотактическое строения могут иметь различную степень идеала пространственной регулярности. Стереoisомеры ПП имеют существенные различия по физико-механическим и физико-химическим свойствам.

Физико-механические свойства

В отличие от ПЭ, ПП имеет меньшую плотность $0,91 \text{ г/см}^3$, это самое маленькое значение абсолютно для всех видов пластмасс, более стоек к истиранию потому, что имеет хорошую твердость, наиболее термостойкий (начало размягчения при 140°C , температура плавления 175°C), не подвергается в некоторой степени коррозионному растрескиванию. Имеет повышенную чувствительность к кислороду и свету (можно снизить, введя стабилизаторы).

ПП при испытании на растяжение ещё больше, чем ПЭ, имеет зависимость приложенной нагрузки от скорости ее приложения, как и от температуры. Чем меньше скорость растяжения ПП, тем лучше показатели физико-механических свойств. При повышенных скоростях растяжения напряжение разрушения ПП намного меньше его модуля текучести [20].

Величины различных физико-механических свойств ПП показаны в таблице 2.

Таблица 2 - Физико-механические свойства полипропилена

Предел прочности, кг/см^2	260-400
Удлинение при разрыве, %	200-700
Плотность, г/см^3	0,9-0,92
Диэлектрическая проницаемость при 10^6 Гц	2,2
Удельная теплоемкость, $\text{кал/г}^\circ\text{град}$	0,40-0,50
Тангенс угла потерь при 10^6 Гц	$(3-5)10^{-4}$
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом	10^{16}
Температура плавления, $^\circ\text{C}$	160-170

Теплофизические свойства

ПП по сравнению с ПЭ имеет температуру плавления выше и соответственно более высокую температуру разложения. Температура плавления изотактический ПП 176 С. Максимальная допустимая температура при которой возможна эксплуатация ПП 120—140°C.

Имея лучшие характеристики, чем у ПЭ по теплостойкости, ПП проигрывает ПЭ по морозостойкости. Температура морозостойкости находится в пределах от –5 до –15°C. Морозостойкость можно увеличить за счет добавления в макромолекулу изотактического ПП звеньев этилена.

Величины различных теплофизических свойств ПП приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Теплофизические свойства полипропилена

Теплофизические свойства полипропилена	
Термический коэффициент линейного расширения (от 20 до 100 °С), 1/°С	1,1*10 ^{–4}
Теплостойкость по методу НИИПП, °С	160
Температура плавления, °С	160÷170
Температура морозостойкости, °С	От –5 до –15
Удельная теплоёмкость (от 20 до 60°C), кал/(г·°С)	0,46

Применение

ПП это материал для производства мешков, плёнок, тары, труб, и т.д. При сополимеризации ПП с этиленом получают некристаллизующиеся сополимеры, которые показывают свойства как у каучука, отличающегося высокой химической стойкостью и сопротивлением старению[21].

В Российской Федерации для производства продукции из ПП в России используют пять основных методов переработки:

- 1) ротоформование;
- 2) выдув;
- 3) вспенивание;

- 4) литье под давлением;
- 5) экструзия.

Продукты, получаемые последними двумя способами, в данный момент являются преобладающими.

1.2.2 Сшитый полиэтилен

Сшитый полиэтилен (PEX-b, ПЭ-С) — полимер этилена с поперечно сшитыми молекулами (PE — PolyEthylene, X — Cross-linked).

Сшитый полиэтилен является производной полиэтилена высокой плотности. При этом используется метод образования на молекулярном уровне поперечных связей. При сшивке молекулярных звеньев, которые содержат атомы углерода и водорода, идет отрыв отдельных атомов водорода, а образовавшаяся связь используется для соединения молекул между собой в трехмерную структуру. Это приводит к образованию сильных молекулярных связей. Сшивка проводится посредством ввода в структуру полиэтилена «сшивающих» соединений - пероксидов и силанов. В некоторых случаях разрыв связей в полиэтилене идет под воздействием ионизирующего излучения.

Благодаря этому методу, сшитый полиэтилен обладает рядом полезных свойств. Так, например, трубы из сшитого полиэтилена имеют улучшенные термогидравлические и антикоррозийные свойства. Сшитый полиэтилен прочен к воздействию низких температур, химических веществ и механических нагрузок. Если труба из сшитого полиэтилена подверглась деформации, то спустя некоторое время она восстановит первоначальную форму. Верхняя температурная граница рабочего состояния этого полиэтилена — 95 градусов выше нуля, что дает возможность использовать сшитый полиэтилен для отопления. Кроме того, он

имеет длительный срок службы — при соблюдении некоторых условий порядка 50 лет.

Еще одной особенностью сшитого полиэтилена является его высокая гладкость. По этой причине внутренние поверхности труб из сшитого полиэтилена практически не имеют отложений. К тому же трубы из этого материала не выделяют запахов и не влияют на качество воды.

На данный момент преобладают четыре метода производства ПЭ-С:

- 1) азотная;
- 2) пероксидная;
- 3) электронная;
- 4) силановая[22].

Характеристики сшитого полиэтилена

Сшитый, или сверхмолекулярный, полиэтилен является наиболее плотной модификацией продукта полимеризации этилена, имеющей сетчатую молекулярную структуру с дополнительными межмолекулярными связями. Обозначается аббревиатурой РЕХ, где РЕ — «полиэтилен», а Х — значок, обозначающий сшивку. Технические характеристики сшитого полиэтилена поистине уникальны, так как позволяют использовать его в областях, недоступных для несшитых образцов.

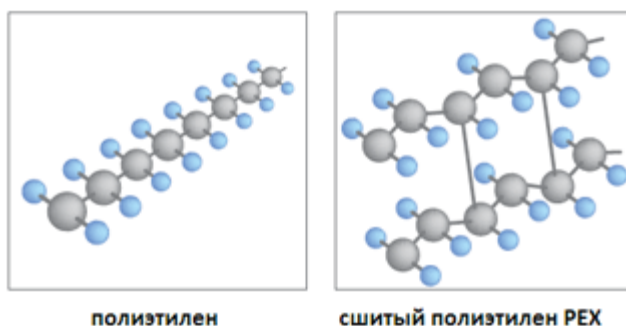


Рисунок 14 - Химическая структура полиэтилена и сшитого полиэтилена.

Обычный полиэтилен ПНД получают под воздействием низкого давления в присутствии различного вида катализаторов. Он имеет крупные полимерные молекулы с большим количеством боковых ответвлений, большинство из которых находится в «свободном плавании» в межмолекулярном пространстве.

Процесс «сшивки» дает дополнительные боковые связи, создающие межмолекулярную сетку – особенно прочную структуру, напоминающую кристаллическую решетку твердых веществ. При различных технологиях сшивания получается вещество с большим или меньшим количеством этих связей, а значит и более или менее прочное:

РЕх-а – пероксидный сшитый полиэтилен, получаемый в присутствии перекиси водорода, имеет наибольший процент сшивки, у которого количество сшитых молекул достигает 85 %,

РЕх-б – силановый полимер, который наиболее распространен и применим в широком перечне изделий, имеет до 70 % связанной структуры,

РЕх-с получают радиационным способом со сшивкой до 60 % молекул,

РЕх-д создается в присутствии азота, требует достаточно сложных условий протекания реакции и дает 70 % сшивки.

При этом РЕх-а, получаемый более дорогим способом, имеет наибольшую трещиностойкость, ударопрочность и самую высокую температуру плавления.

Высокопроцентная сшивка дает более твердые и менее пластичные изделия, что не определяет ее как наилучшую, а просто позволяет получать качественно различные материалы для изготовления изделий разного назначения [23].

Основные свойства

Сшитый полиэтилен по техническим характеристикам не уступает многим твердым веществам, а некоторые из них даже превосходит по стойкости к различным разрушителям и длительности срока эксплуатации.

Таблица 4 - Свойства сшитого полиэтилена

Свойства сшитого полиэтилена	
Плотность, кг/м ³	940
Температура плавления, °С	200
Горение при температуре, °С	400
Растяжение на разрыв, %	от 350 до 800
Ударопрочность при отрицательных температурах, °С	до –50
Теплопроводность, Вт/мК	0,38
Температура хрупкости, °С	От –5 до –15

Преимущества

Изделия из сшитого полиэтилена обладают следующими возможностями:

- 1) не реагируют с кислотами, щелочами, большим перечнем органических растворителей;
- 2) имеют высокую прочность на разрыв и растяжение;
- 3) не растрескиваются при колебаниях температур;
- 4) не разрушаются биологическим способом;
- 5) имеют отличные диэлектрические свойства;
- 6) легко выдерживают высокие температуры, в частности, кипение воды.

Трубы из РЕХ выдерживают многократные заморозки и имеют повышенную пропускную способность, на 20-30 % превышающую этот показатель для других труб.

Кроме этого РЕХ – трубы не только прочны сами по себе, но также дают очень прочные межтрубные соединения. Этот факт позволяет использовать их для устройства трубных коммуникаций в сейсмоопасных зонах.

Недостатки

Для сшитого полиэтилена остаются верными недостатки практически всех видов ПЭ, хотя и становятся более сглаженными:

1) неустойчивость перед ультрафиолетовым излучением, при долгом воздействии которых материал начинает медленно разрушаться, становится хрупким;

2) разрушающее действие кислорода при проникновении внутрь молекулярной структуры вещества;

3) эти проблемы решаются путем физической защиты изделий либо добавки специальных защитных веществ на этапе создания РЕХ-продукции.

Применение

Модифицированные полиэтиленовые продукты со сшитой структурой молекул являются материалами нового поколения. Благодаря своим свойствам они находят очень широкое применение в изготовлении изделий для бытовых либо производственных нужд:

1) в производстве напорных труб как для холодного водоснабжения, так и для подачи горячей воды, применяемых для малоэтажек либо многоквартирных домов с большим количеством потребителей;

2) для газопроводных систем, транспортирующих природный газ под землей;

3) для создания отопительных труб, в частности, в системах теплого пола;

4) в производстве соединительных элементов для отопительных и коммуникативных ПЭ трубопроводов: фитингов, заглушек и т.п.;

5) для наиболее прочных изоляций кабелей высокого напряжения;

6) при изготовлении различных стройматериалов, технических деталей, элементов приборов и аппаратов [25].

1.2.3 Полиамид

Полиамиды — пластмассы на основе высокомолекулярных соединений основной цепи, включающих в себя амидные группы —CONH—. Полиамиды применяются в текстильной промышленности, автомобильной промышленности, медицине, машиностроении и др. отраслях.

Получение

Полиамиды изготавливают поликонденсацией амидов кислот с альдегидами, поликонденсацией высших диаминов или аминокислот с дикарбоновыми кислотами [24].

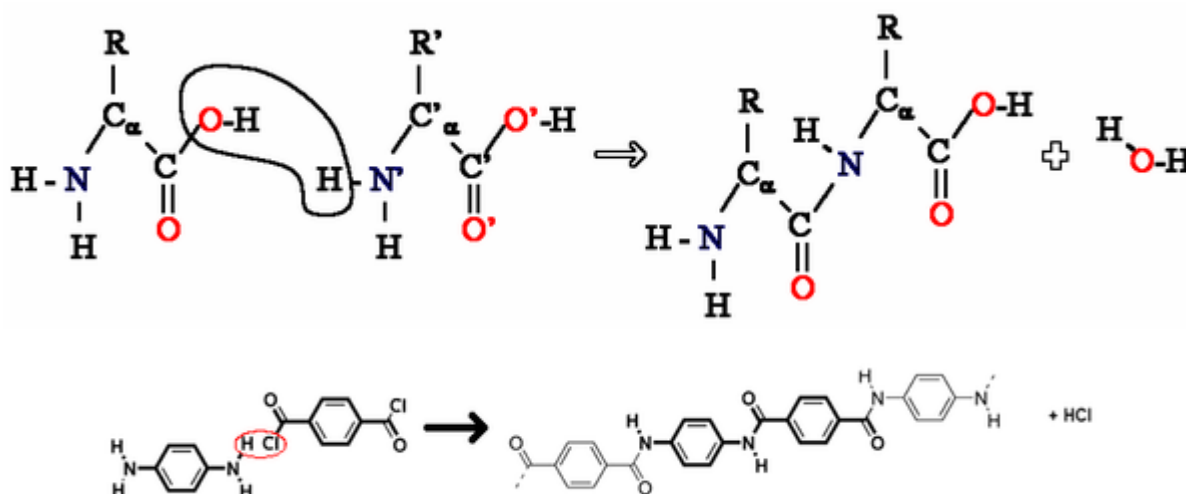


Рисунок 15 - Синтез арамида

Свойства полиамидов

Большинство свойств полиамидов зависит от их кристаллического строения, к примеру, от количественного содержания воды. Полиамиды обратимо впитывают влагу из ОС, вода накапливается в аморфных частях полиамида. Водопоглощение полиамидов непосредственно действует на их морозостойкость и долговечность.

К полиаидам относят как природные, так и синтетические полимерные материалы, в составе которых имеется амидная группа CONH₂ или -CONH-. Из неорганической группы полиамидов практическую значимость имеют алифатические и ароматические полиамиды. Алифатические полиамиды представляют из себя гибкоцепные кристаллизующиеся термопласты. Полиамиды это гидрофильные полимеры, благодаря тому, что их водопоглощение может достигать до 8%, то это может в немалой степени повлиять на прочностные свойства и ударную вязкость. Относительно немалые температуры плавления полиамида обусловлены водородными связями между макромолекулами [29].

Таблица 5 - Физико–механические характеристики полиамида

Наименование	Предел прочности, МПа		Относительное удлинение, %		Модуль упругости, МПа	Твердость, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	
ПА 6	55-77	90-100	100-150	1,2-1,5	-	100-120	90-130	5-10
Полиамид 610	50-60	45-70	100-150	-	-	100-150	100-125	5-10
Полиамид 612	160	-	26	-	2,2-2,3	130	140	-3
Полиамиды стеклонаполненные	69-132	100-230	2-12	9,0	-	90-100	9-44	5-10

Применение

В медицине волокна из полиамида используют для изготовления разного рода протезов, синтетических кровеносных сосудов. В виде лаков применяют при создании ортопедических изделий.

Для текстиля из полиамида делают ткани, нити.

В пищевой промышленности применяют в качестве однослойных и многослойных оболочек для колбасных изделий.

В автомобильной промышленности в виде гидравлических трубок, защитных частей, корпусов различных электронных блоков, ручек и т.д.[24].

Большую практическую значимость имеют полиамиды в узлах трения, так как имеют неплохие механические свойства, стойкость к ударным нагрузкам, твердость, жесткость и радиационную стойкость. У полиамидов небольшой коэффициент трения, уступают они только фторопласту и полиформальдегиду, но по интенсивности износа имеют лучшие значения[25].

1.2.4 Стирол малеинового ангидрида

Стирол малеинового ангидрида, также известный как СМА, - это синтетический полимер, который построен на основе стирола и малеинового ангидрида мономеров. Мономеры почти полностью альтернирующие, и составляют сополимер. Он образуется в результате радикальной полимеризации с использованием органических пероксидов в качестве инициатора. Основными характеристиками сополимера СМА являются прозрачность, высокая теплостойкость, высокий уровень стабильности размеров, а также конкретные реактивности групп ангидрида [26].

Структура стирола малеинового ангидрида показана на рисунке 16.

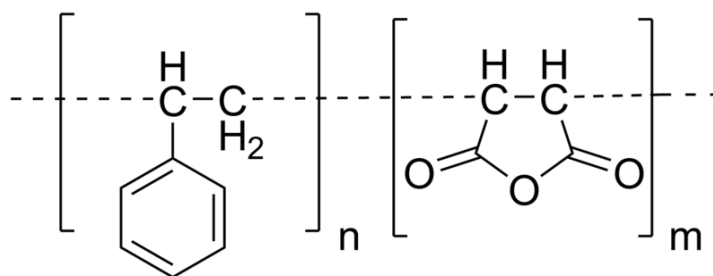


Рисунок 16 - Структура стирола малеинового ангидрида

Последние результаты функции растворимости в щелочных СМА (на водной основе) растворов и дисперсий.

СМА доступен в широком диапазоне молекулярных масс и малеинового ангидрида (МА) содержание. В типичных сочетание этих двух свойств СМА доступна как кристалльно чистый гранулы, которые могут быть использованы в широком спектре приложений. СМА полимеры с высоким молекулярным весом широко используются в инженерных приложениях пластика, как правило, в воздействию изменения и дополнительные стекловолокна заполнены вариантов [27].

1.2.5 Винилтриметоксисилан

Винилтриметоксисилан – это силан, имеет силановый и винильный функционал, что дает возможность применять его для сшивания полимеров. Также рекомендуется для связывания воды в системах, отверждаемых влагой, и где требуется более длительный срок хранения.

Практически применяют в качестве промоторов адгезии, модификаторов поверхности и поперечно-сшивающих агентов.

Структура винилтриметоксисилана показана на рисунке 17.

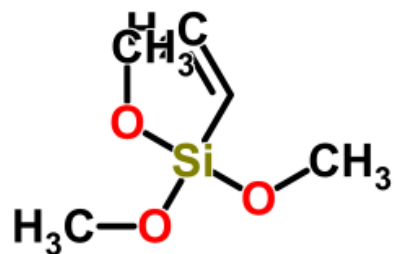


Рисунок 17 - Структура винилтриметоксисилана

Сшивание с помощью винилтриметоксисилана

Винилтриметоксисилан представляет собой мономерный силан, содержащий винильную функциональную группу. Винилсиланы можно добавлять как мономеры в процессе эмульсионной полимеризации с получением латексов, модифицированных силаном. Силаны в таких латексах действуют как сшивающие агенты, образующие при сшивании устойчивые связи (Si-O-Si). В результате подшивки силана к полимеру, полимер проявляет силановую функциональность, с помощью которой полимер может быть зашит за счет влаги из окружающей среды. Этот подход может быть использован для повышения термостойкости, прочности на разрыв у материалов на основе термопластов.

Удлинение цепи с помощью винилсиланов

В силиконовых герметиках, отверждаемых на холоду, винилтриметоксисилана действует как агент, способствующий наращиванию длины цепи. Плотность сшивки регулируется соотношением дозировки винилтриметоксисилана [28].

Основные характеристики и преимущества винилтриметоксисилана приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Основные характеристики и преимущества винилтриметоксисилана

Характеристики	Преимущества
Винильная функциональность	•Винильная функциональность позволяет проводить присоединение к полимерам по свободно-радикальному механизму. •Винильная функциональность повышает скорость гидролиза силана.
Триметоксисилановая функциональность	•Образует связи с неорганическими субстратами, обеспечивая отличную мокрую и сухую адгезию. •Действует как сшивающий агент. •Полезен для связывания влаги.

1.2.6 Этиленвинилацетат

Этиленвинилацетат — вещество, относящееся к полиолефинам, получается в результате сополимеризации этилена и мономера винилацетата. Винилацетатные звенья произвольно распределяются в макромолекуле сополимера. Количество винилацетата характеризует механические свойства сополимера.

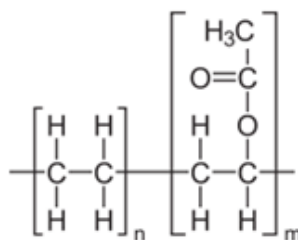


Рисунок 18 - Структура этиленвинилацетата

Этиленвинилацетат как водная дисперсия нашёл практическую значимость в качестве. Высушенная определенным образом водная дисперсия ЭВА — редиспергируемый порошок, используется при изготовлении сухих строительных смесей. Так же этиленвинилацетат имеет хорошие:

- акустические и теплоизоляционные свойства;
- плавучесть с низким водопоглощением
- пригодность для термо-формовки.

Область применения

Кроме того, этиленвинилацетат нашел свое применение во всевозможных сочетаниях со многими полимерами (каучуком, полиэтиленов, ПВХ и др.).

Неопрен — хлоропреновый каучук (пористая резина), один из видов искусственного каучука. Наделен хорошей водонепроницаемостью и высокой эластичностью. Кроме того, это мягкий, с пористой структурой материал. Цвет материала колеблется от черного или серого, до темно-коричневого.

Сфера применения неопрена имеет очень широкие границы. Его применяют для изготовления аксессуаров и чехлов для небольшой бытовой электроники, гидрокостюмы и т.д. Но также этот материал используется учеными NASA для создания транспортируемый жилищный модуль. Он разработан специально для международной станции в космосе [20].

Температурный диапазон, в котором возможно применение неопрена, колеблется от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$, и зависит непосредственно от химического состава конкретной пробы материала. ЭВА замечательно подходит для изготовления внешней оболочки в системах кабелей, потому что он обладает отличной стойкостью к воздействию нефтепродуктов и ультрафиолетовых лучей. По показателям электрических свойств ЭВА немного проигрывает прочим материалам, поэтому в его случае используют оболочку изолятора больше по толщине[30].

ГЛАВА 2

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материалы исследований

В данной работе использованы:

- порошок СВМПЭ фирмы Ticona GUR-2122 размер 5-15 мкм, молекулярная масса 4 млн [31];

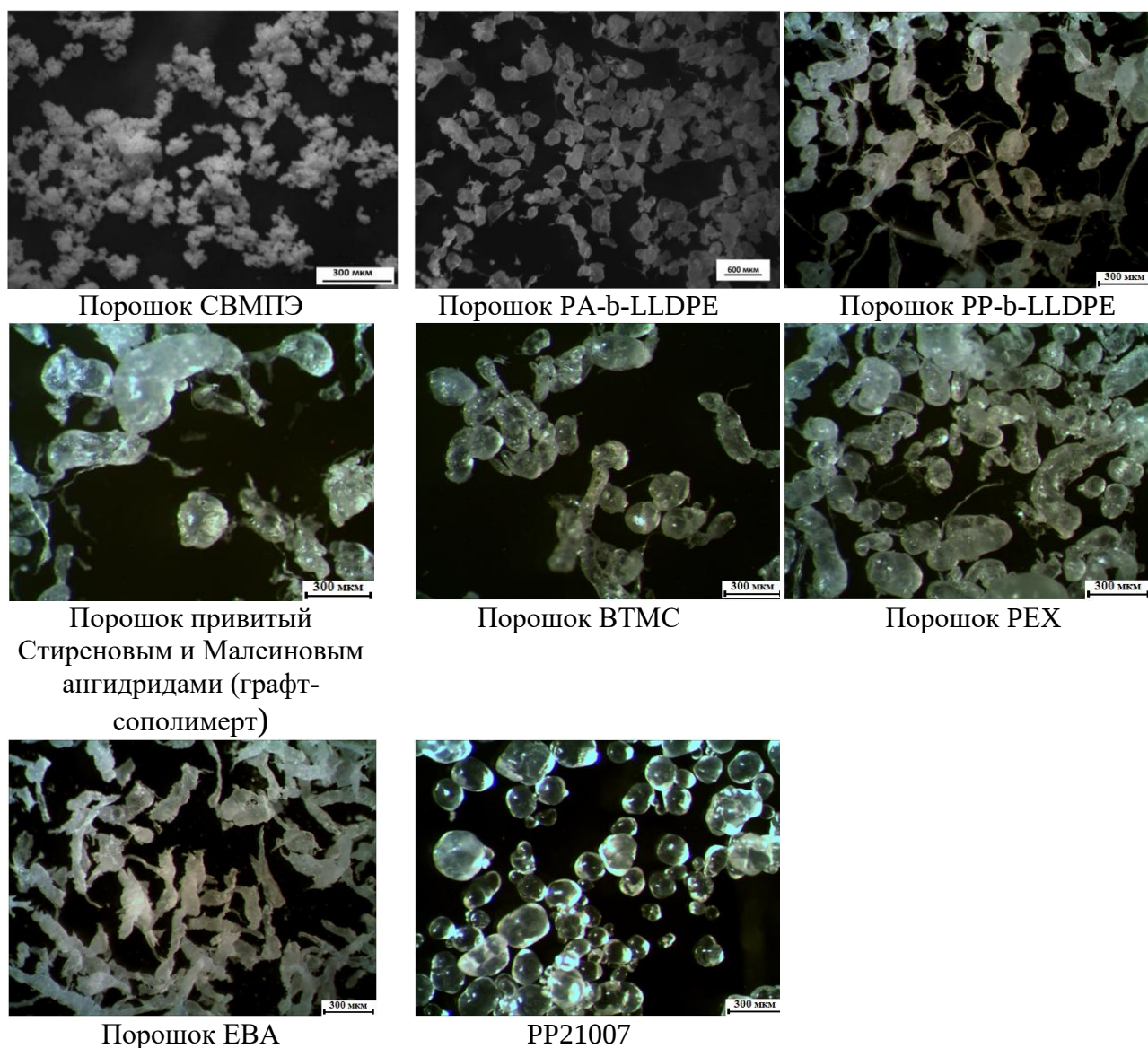


Рисунок 19 - Микрофотографии наполнителей

- порошок полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), химически модифицированного, стиреновым и малеиновыми ангидридами. (блок-сополимер), частицы порошка размером более 200 микрон;
- порошок полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), привитого винилтриметилоросиланом. (графт сополимер), частицы порошка размером более 100 микрон;
- порошок сшитого полиэтилена (ПЭ-С), частицы порошка размером 50-200 мкм;
- блок сополимер полипропилена (ПП) и линейного полиэтилена низкой плотности (ЛПЭНП), частицы порошка размером 100 мкм;
- блок сополимер полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и этиленвинилацетата (ЭВА), сделан методом реакционной экструзии с применением компатибилизатора (совместителя). Частицы порошка вытянутые размером в длину 100-300 мкм, в диаметре около 50 мкм;

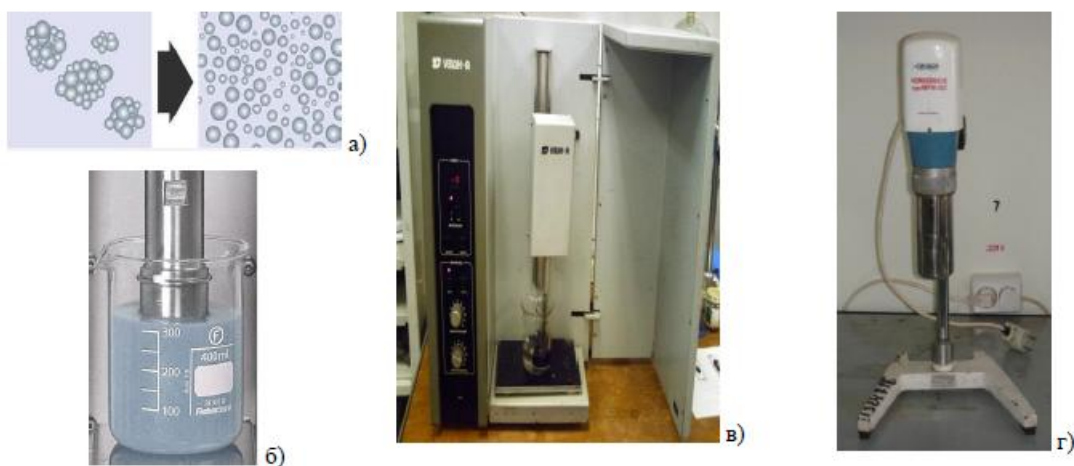


Рисунок 20 - а) процесс ультразвукового диспергирования частиц, б) деагломерация в этиловом спирте наночастиц, в) устройство ультразвукового диспергирования частиц УЗДН-А и г) высокоскоростной гомогенизатор МР302.

- полипропилен марки 21007, синтезированный под давлением. Показатель текучести расплава (ПТР) – 0.6 ± 0.06 г/10мин. Частицы порошка размером 80-200 мкм;
- полиамид частицы по большей части округлой формы, размером 50-300 мкм.

Данные смеси предварительно были обработаны в растворе этилового спирта. Далее уже деагломерированные наполнители и порошок СВМПЭ были смешаны в высокоскоростном гомогенизаторе МР 302. Затем выпаривали спирт высушиванием порошковой взвеси в печи [31].

Методика получения образца СВМПЭ компрессионным спеканием показана на рисунке 21. Величина давления при прессовании составляла 10 МПа; температура выдержки составляла 190 °С и выдерживалась в течении 120 минут. Охлаждение образца происходило в пресс-форме со скоростью 3-4°С/мин. Форма заготовки представляет собой прямоугольный параллелепипед размерами 50х45х8 мм.

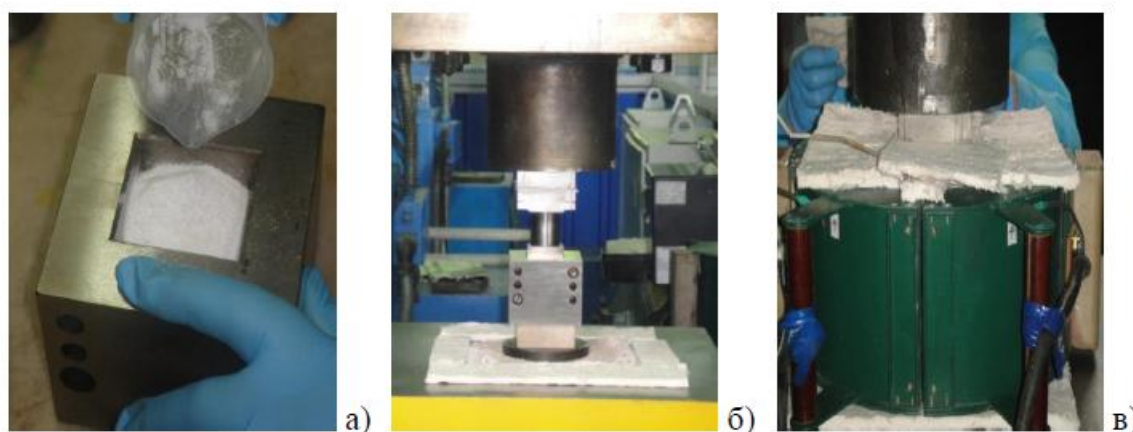


Рисунок 21 – Поэтапные шаги подготовки образца методом горячего прессования (а) порошок, б) пресс-форма, в) пресс для компрессионного спекания.

2.2. Методики исследований

Измерение механических свойств. Оценивались следующие механические свойства материала: твердость, предел прочности, предел текучести, модуль упругости, относительное удлинение при разрушении. Полученные данные анализируются по диаграммам нагружения (растяжения).

Испытание на растяжение. Методика данного испытания скрупулезно описана в стандарте ASTM D638. Образцы изготавливаются в виде двусторонней лопатки и растягиваются с выбранной пользователем скоростью движения подвижного захвата. При нагружении образцов фиксируют число прикладываемой нагрузки F и величину перемещения ΔL , с помощью которых затем вычисляют механическое напряжение и деформацию. Полученная кривая позволяет вычислить предел прочности модуль Юнга, относительное удлинение, предел текучести.

Проведение тестов на растяжение осуществлялось при постоянной нагрузке на установке «Instron-5582». Скорость перемещения захвата при определении предела прочности при растяжении составляла 10 мм/мин. Рабочая область образца составила: 20x1 мм. Были проведены испытания не менее 4-х образцов каждого типа.

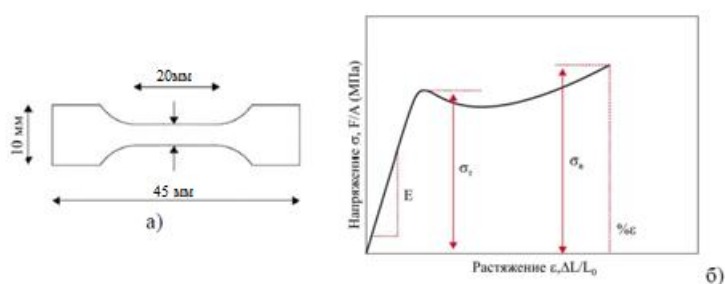


Рисунок 22 - а) схема образца для тестирования на растяжение, б) классическая диаграмма растяжения

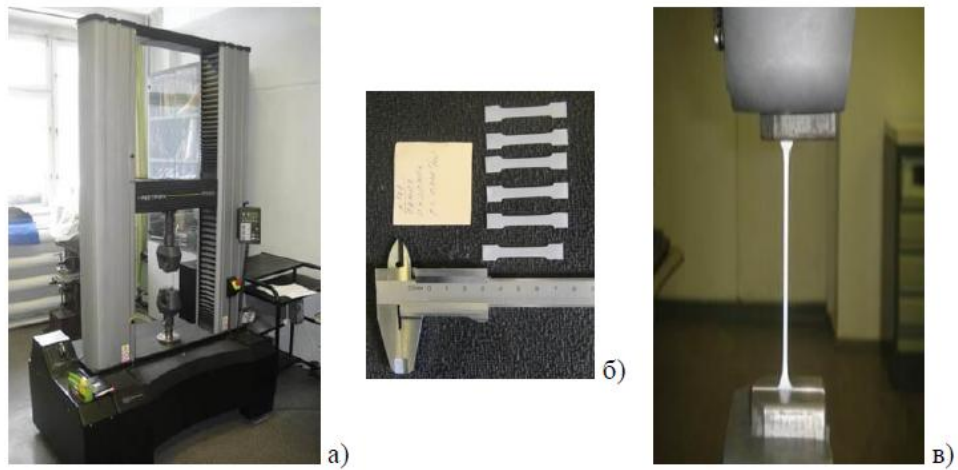


Рисунок 23 – Этапы определения механических свойств: а) машина для испытаний «Instron – 5582», б) изображение образцов на растяжение, в) испытываемый образец в захватах.

Определение величины плотности осуществляется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где m - масса образцов, г; V – объём, мм^3 .

Измерения твердости по Шору Д осуществлялись с помощью прибора «Instron 902», который показан на рисунке 24.

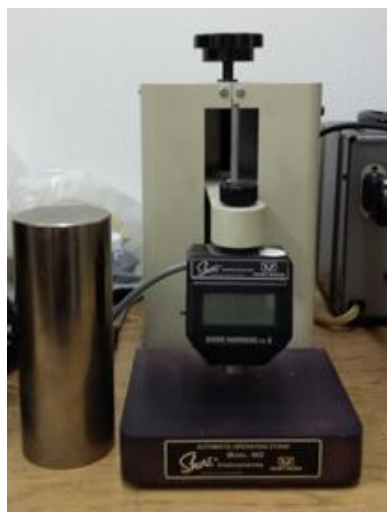
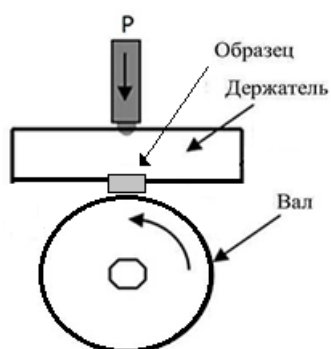


Рисунок 24 - Испытательная машина «Instron 902»-Shore D

Испытания на износ были осуществлены на машине трения СМТ-1 по методике «вал-колодка» при заданных условиях сухого трения скольжения (рис. 25).



а)



б)

Рисунок 25 - схематичное представление методики «вал-колодка» (а) и изображение контртела (б).

Форма образцов представляет собой параллелепипед прямоугольный, размер которого составил 15,75х6,35х10мм; диаметр используемого контртела 35мм, скорость, при которой вращается вал - 100 об/мин. Нагружение на образец, закрепленный в держателе составляло при двух режимах 60Н и 140Н. Скорость, с которой проводились испытания, составляла 0,3-0,5 м/с.

Интенсивность изнашивания. Интенсивность износа была определена при помощи угла касательной наклона к кривой по соответствующей формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U}{\Delta t},$$

где ΔU – разность величин площадей при устойчивом режиме износа, мм²; Δt – время износа образца, мин.

Определение величины износа проводили с помощью контактного профилометра Alpha-Step IQ (рис. 26).



Рисунок 26 – Контактный профилометр Alpha-Step IQ.

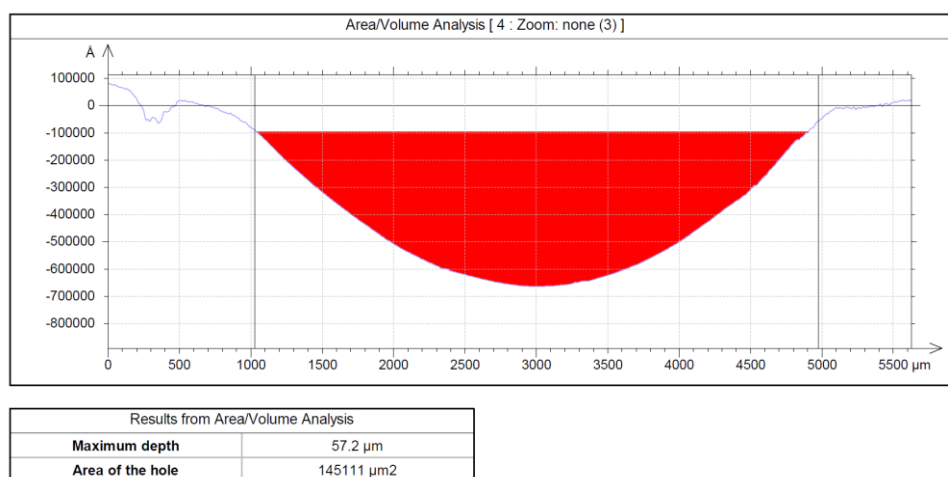
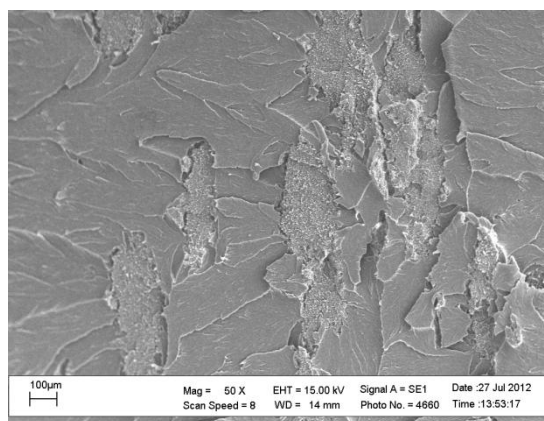


Рисунок 27 – Измерение величины износа.

Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Для исследования надмолекулярной структуры СВМПЭ и его композиций был использован растровый электронный микроскоп LEO EVO 50 (Zeiss, Германия - рис.28, а) в ЦКП «Нанотест» ИФПМ СО РАН. Надмолекулярная структура полипропилена приведена на рисунке 28, б. До проведения исследования в РЭМ образцы были покрыты слоем серебра с целью повышения разрешения и во избежание электризации.



а)



б)

Рисунок 28 - а) растровый электронный микроскоп LEO EVO 50;

б) надмолекулярная структура полипропилена.

Экструзию смесей для оценки удельного давления экструдирования проводили на плунжерном (поршневом) лабораторном экструдере UE-MSL с диаметром выходной фильеры 4 мм.

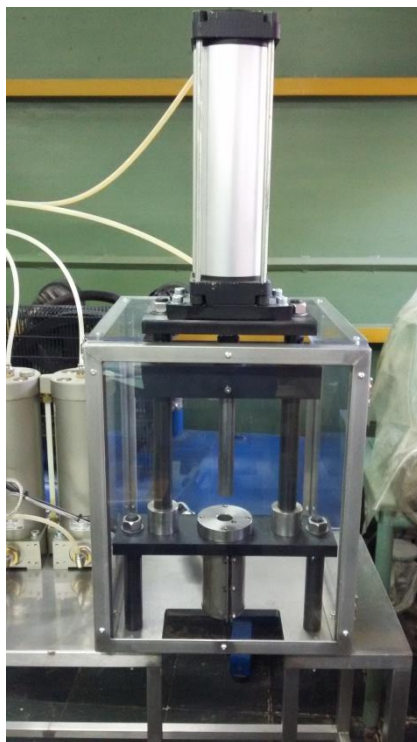


Рисунок 29 - Плунжерный лабораторный экструдер UE-MSL.

Моделирование контактной задачи в программе ANSYS

Описание задачи: контртело радиусом 17,5 мм контактирует с полимерным образцом (СВМПЭ) толщиной 6,35 см. Образец жестко закреплен снизу, с обеих боковых сторон (рис. 30).

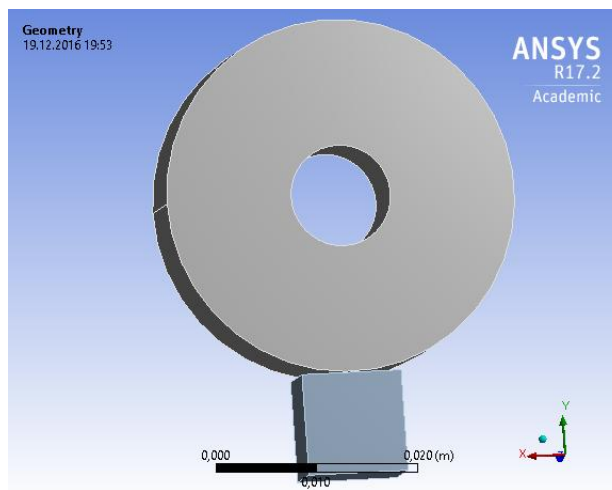


Рисунок 30 - Геометрическая модель взаимодействующих объектов.

Заданные свойства материалов: контртело – сталь ШХ15 - коэффициент Пуассона = 0.3, плотность – 7850кг/куб.м, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, образец – СВМПЭ - $E = 3 \cdot 10^6$ МПа, плотность – 950 кг/куб.м, коэффициент Пуассона 0,24.

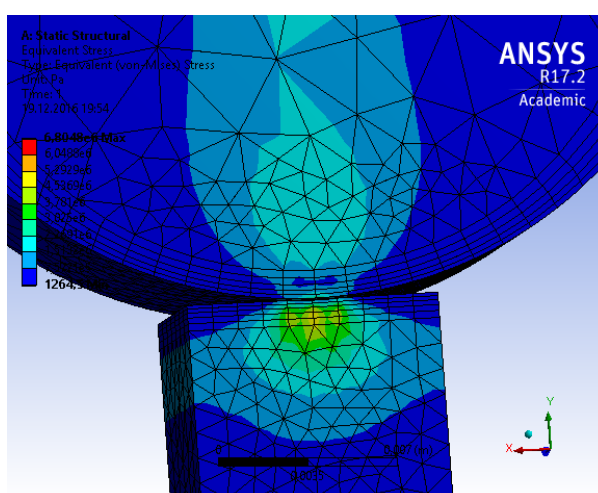


Рисунок 31 - Картина распределения эквивалентных напряжений.

Тип исследования: постоянная упругая симметричная геометрически нелинейная задача.

Цель исследования: вычисление контактного давления и напряженно-деформированного состояния СВМПЭ.

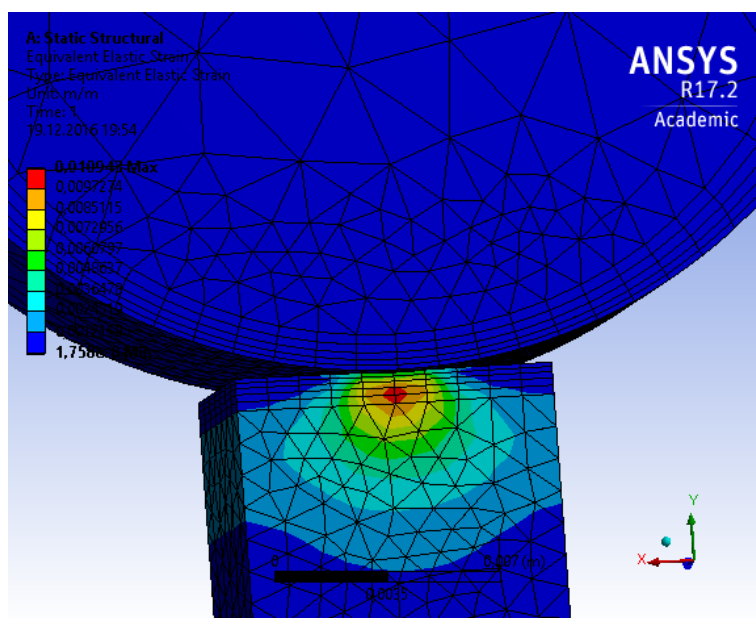


Рисунок 32 - Картина распределения эквивалентных упругих деформаций.

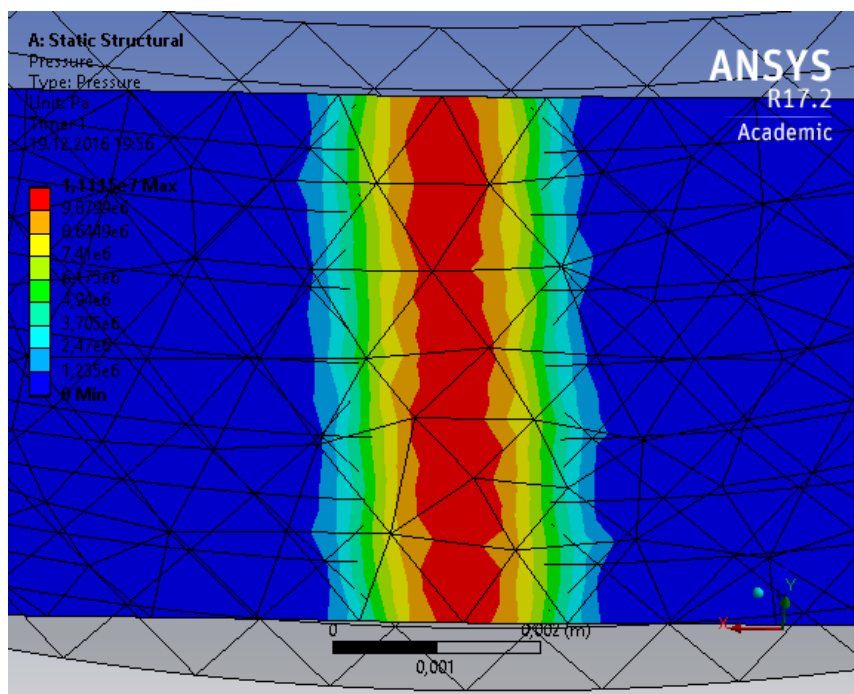


Рисунок 33 - Картина контактного давления для образца СВМПЭ.

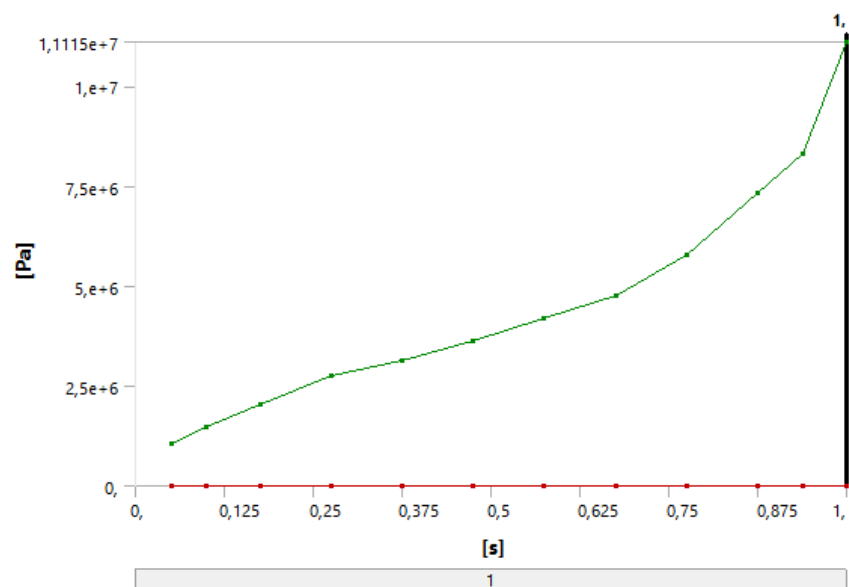


Рисунок 34 – График распределения контактного давления с течением времени.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ5В	Буслович Дмитрий Геннадьевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результаты проекта 2. Организационная структура проекта 3. Ограничения и допущения проекта 4. Иерархическая структура работ 5. Календарный план проекта 6. Сетевой график проекта
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Затраты на амортизацию оборудования 2. Затраты на основные и вспомогательные материалы 3. Затраты на заработную плату 4. Отчисления на соц. нужды 5. Затраты на электроэнергию 6. Прочие накладные расходы
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет фактической рентабельности проекта
Перечень графического материала	
1. Потенциальные потребители результатов исследования 2. Иерархическая структура работ 3. Календарный план проведения исследования 4. Сетевой график проведения исследования 5. Бюджет проекта	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ5В	Буслович Дмитрий Геннадьевич		

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В таблице 14 представлены основные потребители результатов исследований в зависимости от их вида[36].

Таблица 14 – Классификация потребителей результатов НИР

Вид исследований	Потребители	Цели приобретения
Фундаментальные и поисковые исследования	Государство, общество	Развитие науки, общественный прогресс, пополнение существующей базы знаний, создание заделов для прикладных исследований
Прикладные исследования	Государство, региональные структуры	Удовлетворение общественных нужд (оборона, образование, экология и т.п.), поддержание престижа и авторитета на международном уровне
	Корпорации, промышленные предприятия, фирмы	Разработка новых продуктов, повышение конкурентоспособности, максимизация прибыли
Разработки	Государство, региональные структуры	Обеспечение общественных нужд, поддержание национальных интересов
	Корпорации, промышленные предприятия, средний и малый бизнес	Производство новых продуктов, повышение конкурентоспособности, получение экономического эффекта

Поскольку данная работа относится к фундаментальным, то потребителями являются государство и общество.

4.2 Разработка устава НИР

4.2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 15 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Российский научный фонд (РНФ)	Выполнение условий договора по НИР, получение отчета по НИР
ИФПМ СО РАН	Отчисления в бюджет организации из средств РНФ. Публикации, аффилированные с ИФПМ СО РАН
Сотрудники лаборатории механики полимерных композиционных материалов ИФПМ СО РАН	Оплачиваемая работа по НИР. Публикации.
Дипломник	Оплачиваемая работа по НИР, Возможность написать и защитить магистерскую диссертацию. Публикации.
ТПУ	Публикации, аффилированные с ТПУ. Защита магистерской диссертации.

Таблица 16 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка экструдруемых износостойких полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ в срок с сентября 2015 г по июнь 2017 г. Защитить магистерскую диссертацию в ТПУ с 21.06 по 23.06.2017 г.
Ожидаемые результаты проекта:	Магистерская диссертация
Критерии приемки результата проекта:	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах. Участие в конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Успешная защита магистерской диссертации в ТПУ

4.2.2 Организационная структура проекта

Таблица 17– Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Панин Сергей Викторович, ИФПМ СО РАН, зав. лаб. МПКМ	Руководитель	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	310
2	Алексенко Владислав Олегович, ИФПМ СО РАН, инженер- исследователь.	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи.	210
3	Буслович Дмитрий Геннадьевич, ТПУ, магистрант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и магистерскую диссертацию.	1160
4	РНФ	Заказчик	Осуществляет укрупненный анализ проекта по показателям сроков, освоению затрат и финансированию. Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
5	ТПУ	Заказчик	Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
ИТОГО:				1740

4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Таблица 18 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	53000р
3.1.1. Источник финансирования	Российский научный фонд (РНФ)
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2015 г – июнь 2017 г.
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2015
3.2.2. Дата завершения проекта	24.06.2017
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение по времени использования научного оборудования (1 раз в месяц на растровом электронном микроскопе). Ограничение времени работы участников проекта (не более 20 часов в неделю)

4.3 Планирование и график НИР

4.3.1 Иерархическая структура работы



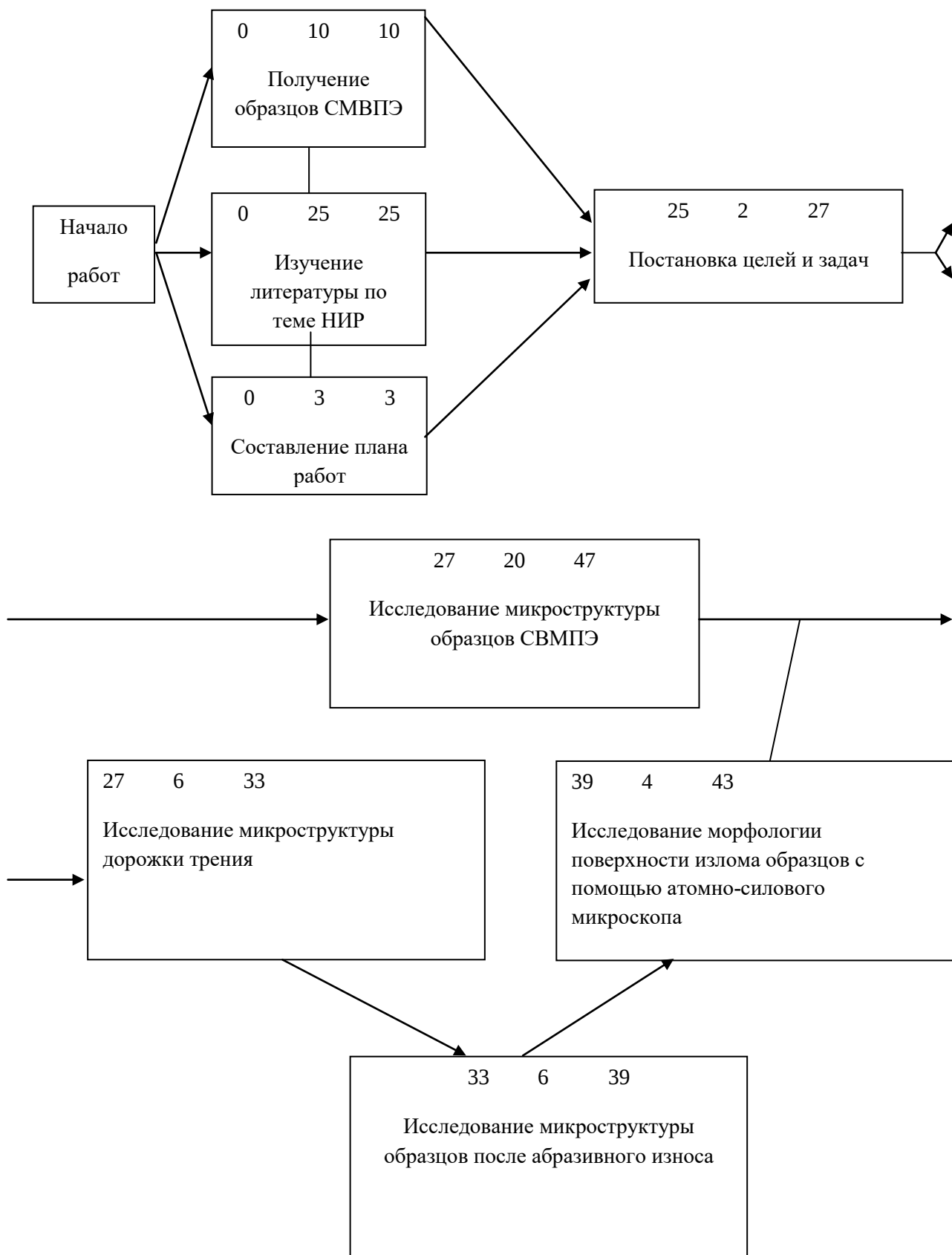
Рисунок 48 – Иерархическая структура НИР

4.3.2 Календарный план проекта

Таблица 19 - Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Получение СВМПЭ	10	01.09.2014	12.09.2014	Алексенко В.О. инж-исслед.
Изучение литературы по теме НИР	25	01.09.2014	03.10.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Составление плана работ	3	01.09.2014	03.09.2014	Панин С. В. (зав. лаб.)
Постановка целей и задач	2	06.10.2014	08.10.2014	Буслович Д.Г. (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Исследование микроструктуры образцов СВМПЭ	20	09.10.2014	07.11.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Исследование морфологии поверхности излома образцов с помощью атомно-силового микроскопа	6	09.10.2014	16.10.2014	Алексенко В.О. инж-исслед.
Исследование микроструктуры дорожки трения	6	17.10.2014	24.10.2014	Алексенко В.О. инж-исслед.
Исследование микроструктуры образцов после абразивного износа	4	27.10.2014	30.10.2014	Алексенко В.О. инж-исслед.
Измерение микротвердости образцов	10	10.11.2014	21.11.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Проведение испытаний на одноосное квазистатическое растяжение СВМПЭ	8	24.11.2014	03.12.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Построение графиков, диаграмм, таблиц	8	04.12.2014	15.12.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Проведение расчетов	10	16.12.2014	29.12.2014	Буслович Д.Г. (инж).
Сравнительный анализ изображений	6	20.11.2015	27.11.2015	Буслович Д.Г. (инж).
Научное обоснование результатов	20	30.11.2015	25.12.2015	Буслович Д.Г. (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Нахождение взаимосвязей в результатах	10	30.11.2015	11.12.2015	Буслович Д.Г. (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Формулировка выводов	4	14.12.2015	17.12.2015	Панин С. В. (зав. лаб.)
Составление отчета	25	01.02.2016	10.03.2016	Буслович Д.Г. (инж).
Защита отчета (ВКР)	1	23.06.2016	23.06.2016	Буслович Д.Г. (инж).

4.3.3 Сетевой график выполнения НИР



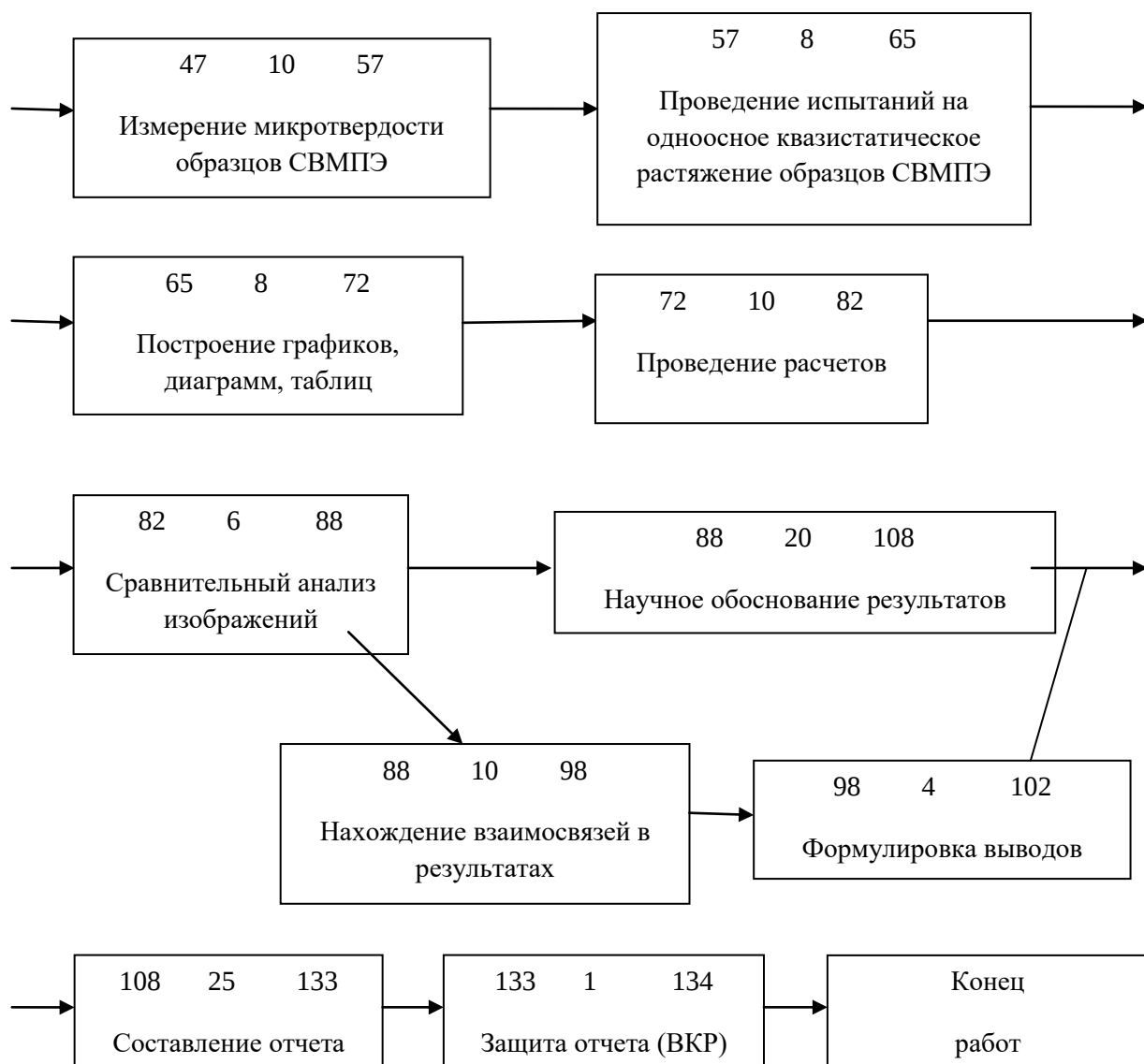


Рисунок 49 – Сетевой план-график выполнения НИР

4.4 Составление сметы затрат

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. Отчисления на социальные нужды;
5. Электроэнергия;
6. Прочие накладные.

4.4.1 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

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

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 20. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 20 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	Ф _{сс} , год	Ф _ф , ч.	З _{об} , р.
1	Атомно-силовой микроскоп Solver HV	10000000	20	24	6000
2	Оптический микроскоп Zeiss Axiovert	1000000	10	160	8000
3	Растровый электронный микроскоп LEO EVO 50	8000000	20	40	8000
4	Просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100	7000000	20	40	7000
5	Испытательная машина INSTRON	2000000	20	40	2000
6	Микротвердомер INSTRON	120000	15	40	160
7	Установка для испытания образцов на износ Taber Elcometer 5135	200000	20	40	200
8	Установка для вырезки образцов	1000000	20	80	2000
	Компьютер	30000	8	900	1687,5
ИТОГО:					35047,5

4.4.2 Затраты на основные и вспомогательные материалы

В данной работе в качестве исходного основного материала использовался СВМПЭ размерами 10×45×50 мм. Цена за кг с учетом транспортных расходов составляет 2000р.

Приобретенные основные и вспомогательные материалы приведены в таблице 21. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 21 – Основные материалы и комплектующие изделия

№	Материал	Единица материала	Цена, р./ед.	Кол - во, ед.	Затраты на НИР, р.
1	СВМПЭ	кг	2000	2	4000
2	Наждачная бумага	упаковка	1000	1	1000
3	Алмазная паста	тюбик	300	1	300
4	Спирт технический	л	120	3	360
5	Вспомогательные материалы				400
Итого:					6060
Неучтенные расходы 1%					60
Всего:					6120

4.4.3 Затраты на заработную плату

Для выполнения данной работы требуется 3 исполнителя – заведующий лабораторией (зав. лаб.), инженер-исследователь (инж.-иссл.) и инженер лаборатории (инж.).

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:

$$L_o = T_c \cdot T_{pi},$$

где T_c – тарифная ставка (данные НИИ ИФПМ СО РАН);

T_{pi} — фактически отработанное время.

Основную заработную плату рассчитывают следующим образом:

$$L_{осн} = L_o + 0,3 \cdot L_o$$

где L_o - оклад;

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

Дополнительную заработную плату рассчитываются по формуле:

$$L_{доп} = 0,2 \cdot L_{осн}$$

Вычисленные затраты на заработную плату представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на заработную плату

№	Статьи	Зав. Лаб.	инженер-исследователь	инж
1	T_c , р./день	1600	880	570
2	T_{pi} , дн	39	26	145
3	L_o , р.	62400	22880	82650
4	$0,3 \cdot L_o$, р.	18720	6864	24795
5	$L_{осн}$, р.	81120	29744	107445
6	$L_{доп}$, р.	16224	5948,8	21489
7	$\Sigma (L_{осн} + L_{доп})$, р.	97344	35692,8	128934

Основная заработная плата составит: $81120 + 29744 + 107445 = 218309$ р.

Дополнительная заработная плата составит: $16224 + 5948,8 + 21489 = 43661,8$ р.

Итого фонд оплаты труда: $97344 + 35692,8 + 128934 = 261970,8$ р.

4.4.4 Отчисления на социальные нужды

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Таким образом, затраты на страховые отчисления составят:

$$261970,8 \cdot 0,271 = 70994,09 \text{ р.}$$

4.4.5 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{C} \times N \times n \times t_{\text{зан.ч}}$$

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 23

Таблица 23 – Затраты на электроэнергию

	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t _{зан.ч.} , ч.	Затраты, р.
1	Атомно-силовой микроскоп Solver HV	4,36	1,5	1	24	156,96
2	Оптический микроскоп Zeiss Axiovert	4,36	0,7	1	160	488,32
3	Растровый электронный микроскоп LEO EVO 50	4,36	2	1	40	348,8
4	Просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100	4,36	2	1	40	348,8
5	Испытательная машина INSTRON Микротвердомер INSTRON	4,36	2	1	40	348,8
6	Установка для испытания образцов на износ Taber	4,36	0,6	1	40	104,64
7	Elcometer 5135	4,36	0,3	1	40	52,32
	Установка для вырезки образцов					
	Итого:					3235,12

4.4.6 Смета затрат на НИР

Теперь сложим все прямые затраты на исследование (Таблица 24).

Таблица 24 – Прямые затраты

№	Затраты	Сумма, р.
1	Основные и вспомогательные материалы	6120
2	Основная заработная плата	218309
3	Дополнительная заработная плата	43661,8
4	Страховые отчисления	70994,09
Итого:		339084,89

Расшифровка накладных расходов представлена в таблице 25 (данные НИИ ИФПМ).

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

$$0,5 \times 218309 = 109154,5 \text{ р.}$$

Таблица 25 – Накладные расходы

№	Затраты	Сумма, р.
1	Амортизация оборудования	35047,5
2	Электроэнергия	3235,12
3	Прочие	109154,5
Итого:		147437,12

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

$$339084,89 + 147437,12 = 486522,01 \text{ р.}$$

Значит, при проведении НИР необходимо затратить 486522,01 р.

Составим смету затрат на НИР (Таблица 26).

Таблица 26 – Смета затрат на НИР

№	Элементы затрат	Сумма, р.	%
1	Заработная плата	261970,8	53,8
2	Страховые отчисления	70994,09	14,6
3	Затраты на материалы	6120	1,3
4	Амортизация оборудования	35047,5	7,2
5	Затраты на электроэнергию	3235,12	0,7
6	Прочие накладные расходы	109154,5	22,4
8	ИТОГО: себестоимость S	486522,01	100
9	Плановая прибыль (рентабельность $P=25\%$)	121630,5	
10	Цена выполнения НИР	608152,51	
11	НДС (18%)	109467,45	
12	Всего с НДС	717619,96	

Таким образом, в данном разделе работы проведено экономическое обоснование проведенных исследований:

-рассчитана себестоимость НИР, которая составила 486522,01 р.;

-рассчитана договорная цена на проведение НИР с учетом рентабельности в 25% и НДС (18%), которая составила 717619,96 р.;

-рассчитано время проведения НИР – 134 дня.

Учитывая, что размер гранта составляет 530000р, фактическая рентабельность НИР $P_{\phi} = (530000-486522,01) \cdot 100 / 486522,01 = 8,94 \%$.