

**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
<b>Исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта и неорганических частиц и волокон</b>

УДК 620.22-419.8:621.893

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6А	Валентюкевич Наталья Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Панин С.В.	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Петухов О.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения контроля и диагностики	Раденков Т.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Овечкин Б.Б.	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01*

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
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 ОМ  
\_\_\_\_\_ В.А. Клименов

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6А	Валентюкевич Н.Н.

Тема работы:

Исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта и неорганических частиц и волокон	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ №1490/с от 5.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта, неорганических частиц и волокон. Цель исследования является получение износостойкого покрытия для обеспечения высоких эксплуатационных свойств материала. Объектом исследования являются композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена.
---------------------------------	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор с целью выяснения достижений мировой науки техники в исследовании композитов, повышении износостойкости СВМПЭ.</li> <li>2. Постановка задач исследования.</li> <li>3. Подготовка образцов для проведения испытаний на механические и триботехнические свойства.</li> <li>4. Проведения испытаний на механические и триботехнические свойства.</li> <li>5. Обработка полученных данных.</li> <li>6. Обсуждение, объяснение результатов выполненной работы.</li> <li>7. Заключение по работе.</li> </ol>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация ВКР в PowerPoint</p>
---	-------------------------------------

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	<i>О. Н. Петухов, доц. отделения социально-гуманитарных наук</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Т. А. Раденков, асс. отделения контроля и диагностики</i>
<i>Результаты исследования на английском языке Results</i>	<i>Ю.П.Ажель, ст.преподаватель отделения иностранных языков</i>

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
<p>Результаты исследования/Results</p>
<p> </p>
<p> </p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>профессор отделения материаловедения</p>	<p>Панин С.В.</p>	<p>д.т.н.</p>	<p> </p>	<p> </p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4БМ6А</p>	<p>Валентюкевич Н.Н.</p>	<p> </p>	<p> </p>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 109 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 51 \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ 30 \_\_\_\_\_ табл.,  
\_\_\_\_\_ 50 \_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 0 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: износостойкость, полимерные композиты, двухкомпонентные смеси, трехкомпонентные смеси, механические свойства, коэффициент трения, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, армирование короткими углеродными волокнами, твердосмазочный наполнитель

Объектом исследования являются двух и трехкомпонентные композиты сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), фторопласта и неорганических частиц, и волокон.

Цель работы – Исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта, неорганических частиц и волокон, получение износостойкого материала с высокими прочностными показателями при разных режимах эксплуатации.

В процессе исследования проводились спекание под давлением, трение по шору D, статическое растяжение, сухое трение скольжения, трибометрия, растровая электронная микроскопия, оптическая микроскопия.

В результате исследования Исследовано влияние содержание наполнителей на структуру, механические и триботехнические свойства, рассмотрены надмолекулярные структуры образцов композитов на основе СВМПЭ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Повышение механических (прочность, твердость, модуль Юнга) и триботехнических (износостойкость) характеристик многокомпонентных смесей.

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

Область применения: машиностроение, горно-добывающая промышленность (футеровка), медицина (протезирование).

Экономическая эффективность/значимость работы применение полученных в работе результатов позволяет повысить длительность эксплуатации полимеров, тем самым компенсируя затраты на изготовление.

В будущем планируется исследование многокомпонентных полимерных композитов с обеспечением высокой адгезии между матрицей и наполнителем, для дальнейшего повышения характеристик в различных условиях эксплуатации.

## Содержание

	ВВЕДЕНИЕ	8
<b>Глава 1</b>	<b>ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</b>	<b>10</b>
1.1	Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ)	10
1.1.1	Общие закономерности трения и износа полимеров. Закон трения Кулона	14
1.1.2	Роль поверхности контакта трущихся тел	15
1.1.3	Виды и механизмы изнашивания полимеров и материалов на их основе	16
1.1.4	Влияние температуры на механические свойства и износостойкость СВМПЭ	20
1.2	Наполнители	24
1.2.1	Политетрафторэтилен (ПТФЭ)	24
1.2.2	Углеродные волокна	30
<b>Глава 2</b>	<b>МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>39</b>
2.1	Материалы исследований	39
2.2	Методики исследований	40
<b>Глава 3</b>	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>45</b>
3.1	Композиты на основе СВМПЭ, наполненные мелкодисперсными частицами 5 % ПТФЭ (марки «Флуралит»), 10 % ПТФЭ, 20 % ПТФЭ	45
3.1.1	Механические свойства, структура	45
3.1.2	Триботехнические характеристики, упругое восстановление	48
3.2	Сравнение 5 вес.% Ф-4ПН <sub>20</sub> и 5 вес.% Ф-4 «Флуралит»	52
3.3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5 вес.% Ф-4ПН <sub>20</sub> «неорганические частицы»	54
3.4	Композиты на основе СВМПЭ, наполненные 5% короткими углеродными волокнами (КУВ), 10 % КУВ, 20 % КУВ +5 вес.% ПТФЭ (марки «Флуралит»)	56
3.4.1	Механические свойства, структура	56
3.4.2	Триботехнические характеристики, упругое восстановление	59
3.5	Композиты на основе СВМПЭ, наполненные 10 % (КУВ) + 5 % ПТФЭ (марки «Флуралит»)+10% HDPE –g– SMA	65
3.5.1	Механические свойства, структура	65
3.5.2	Триботехнические характеристики, упругое восстановление	68
<b>Глава 4</b>	<b>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b>	<b>71</b>
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	72

4.2	Разработка устава НИР	73
4.2.1	Цели и результаты проекта	73
4.2.2	Организационная структура проекта	74
4.2.3	Ограничения и допущения проекта	75
4.3	Планирование и график НИР	76
4.3.1	Иерархическая структура работы	76
4.3.2	Календарный план проекта	77
4.4	Составление сметы затрат	79
4.4.1	Затраты на амортизацию оборудования	79
4.4.2	Затраты на основные и вспомогательные материалы	80
4.4.3	Затраты на заработную плату	81
4.4.4	Отчисления на социальные нужды	82
4.4.5	Затраты на электроэнергию	82
4.4.6	Смета затрат на НИР	83
<b>Глава 5</b>	<b>Раздел «Социальная ответственность»</b>	<b>85</b>
	Введение	87
5.1	Производственная безопасность	88
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, возникающих при исследовании полимерных материалов	88
5.1.1.1	Освещенность	89
5.1.1.2	Зрительное напряжение	93
5.1.1.3	Шум и вибрация	94
5.1.1.4	Факторы электрической природы	96
5.2	Экологическая безопасность	98
5.3	Безопасность при возникновении ЧС	99
5.3.1	Факторы пожарной и взрывной природы	100
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	102
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>104</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>105</b>

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день наблюдается стремительный рост производства полимеров и полимерных композиционных материалов (ПКМ), проникновение их в самые различные области науки и техники (машиностроение, судостроение, строительство, медицина, ракетостроение), успешное вытеснение ими многих традиционных материалов: металлов, керамики, незаполненных полимеров и т.д.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) является одним из наиболее перспективных полимеров, благодаря его высоким механическим и триботехническим свойствам, химической стойкости в агрессивных средах, высокой морозостойкости, физиологической инертности.

Быстрое развитие современной науки и техники диктует высокие требования к материалам в различных условиях эксплуатации. В жестких условиях эксплуатации (высокие нагрузки и скорости) свойства СВМПЭ значительно снижаются. Поэтому повышение характеристик СВМПЭ за счет создания композитов на его основе в настоящем представляется актуальной научно-технической задачей.

На данный момент известно большое количество публикаций, работ по исследованию влияния наноразмерных и микронных наполнителей на СВМПЭ-матрицу. В качестве наполнителей используют нанотрубки, частицы (политетрафторэтилена, дисульфид молибдена, графита), волокна (углеродные, стеклянные, арамидные). В том числе свойства композита в достаточной степени зависят от силы связи матрица – наполнитель, для адгезии матрицы с наполнителем применяют различные модификации поверхностей компонентов (термические, химические).

При разработке композиционных материалов на основе СВМПЭ, при выборе наполнителей как правило, опираются на преимущественные условия их эксплуатации: сухое трение, трение в граничной смазке либо жидкой среде, абразивный износ и др. Поэтому разработка двух- и более компонентных композитов на СВМПЭ-матрице позволяет одновременно повысить

прочностные свойства композитов и износостойкость, в частности за счет введения армирующих волокон и твердосмазочных наполнителей.

***Целью работы*** является исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта, неорганических частиц и волокон для получения износостойкого материала с высокими прочностными показателями при разных режимах эксплуатации.

## ГЛАВА 1

### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

#### 1.1 Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ)

Свервысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – полимер линейной структуры. Молекулярная масса этого полимера – более 1,5 млн. Химическая структура СВМПЭ – это цепочка атомов углерода, к каждому из которых присоединяется по две молекулы водорода.

Схематическое изображение структур полиэтилена и этилена показано на рисунке 1.

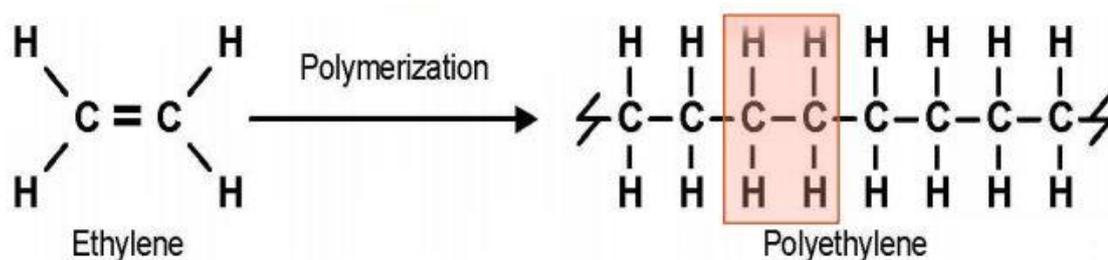


Рисунок 1 – Химические структуры этилена и полиэтилена [1]

При исследовании надмолекулярной структуры СВМПЭ, можно отметить ее состав: сферолиты, которые состоят из ламелей.

При кристаллизации полимера гибкие регулярные макромолекулы образуют пачки. Данные пачки складываются в ленты, путем большого количества поворотов на  $180^\circ$ , что происходит из-за избыточной поверхностной энергии выпрямленной пачки. Этот процесс портит и даже разрушает пространственную кристаллическую решетку в точках поворота пачки.

Следующим этапом понижения поверхностной энергии является примыкание лент плоскими сторонами к друг другу, образуя пластины (ламели).

Схематическое представление ламели изображено на рисунке 2.

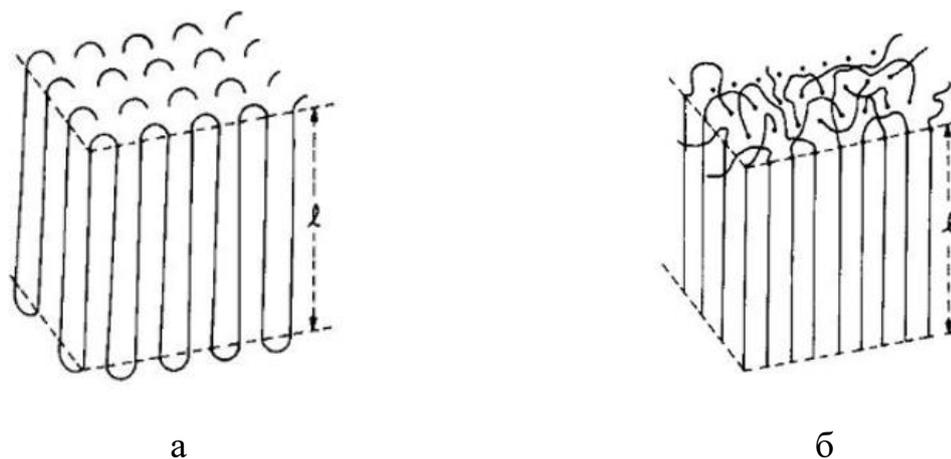


Рисунок 2 – Схематическое представление ламели полимера: идеально упакованной ламели (а) и ламели с петлями и длинными участками (б)

На рисунке 2 (а) изображена идеально упакованная регулярная ламель. На рисунке 2 (б) отображено схематическое представление кристаллической ламели с не вошедшими в кристалл частями макромолекул – длинными участками и петлями. Данные длинные участки называются проходными цепями, из-за их возможности входить в структуру соседней ламели. Следует отметить, что проходные цепи и петли образуют между ламелями аморфную прослойку. Возникает интересная ситуация, с одной стороны, за счет проходных макромолекул, которые участвуют в построении некоторых соседних ламелей, кристаллические ламели прочно соединены, с другой стороны эти же ламели разделены слоями аморфного не закристаллизовавшегося полимера [2].

Сферолит – это кристаллическое образование округлой формы, рисунок 3, состоит из кристаллизующихся из одного центра ламелей.

От десятых долей микрометра до нескольких миллиметров и даже сантиметров могут колебаться размеры сферолитов [3].

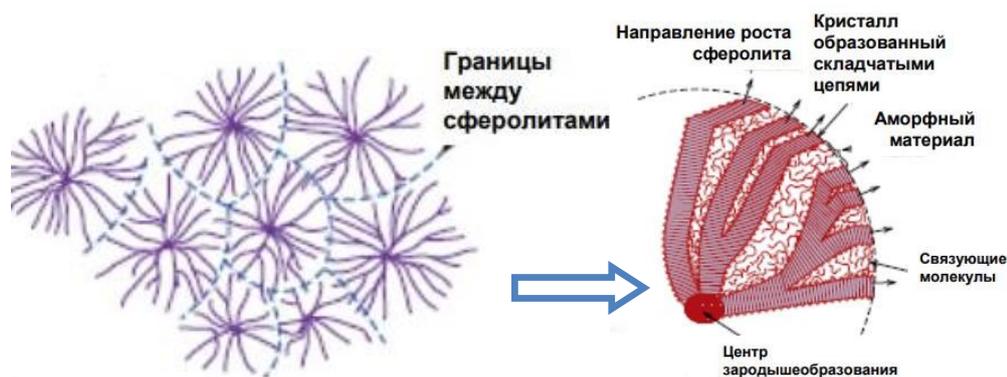


Рисунок 3 – Схематическая морфология сферолитов

СВМПЭ обладает меньшей плотностью и степенью кристалличности относительно распространённым ранее полиэтиленом низкого давления (ПЭНД), эти особенности СВМПЭ связаны в первую очередь с сложной кристаллизацией, напрямую зависящей от специфичности строения макромолекул и их большей длине. СВМПЭ относительно ПЭНД характеризуется более высокими прочностными и трибо- характеристиками. В то же время такие показатели как плотность, твердость и модуль упругости СВМПЭ ниже, чем у ПЭНД. В таблице 1 отображены механические и физические свойства СВМПЭ.

Таблица 1 – Сравнение среднестатистических механических и физических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и полиэтилена низкого давления (ПЭНД) [4]

Показатели	ПЭНД	СВМПЭ
Плотность	0,95–0,96	0,93
Твердость по Бринеллю, МПа	45-60	40-50
Модуль Юнга при растяжении* (ГПа)	0,41–0,61	0,5–0,8
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)	121–132	200

СВМПЭ инертен к большинству химических реагентов [5].

СВМПЭ обладает высокой морозостойкостью, сохраняет высокие прочностные характеристики в интервале температур эксплуатации (от -200 до 85°C). Именно поэтому СВМПЭ применяется в условиях криогенных температур, в условиях Крайнего Севера [6].

Отличительной чертой СВМПЭ является тот, факт, что при нагреве выше температуры плавления он переходит в высокоэластическое состояние. Разные ученые исследовали температуру плавления СВМПЭ и получили следующий диапазон температур от 130 до 160 °С. Установлено, что при температурах свыше 200 °С начинается полное плавление кристаллической фазы. Перерабатывается СВМПЭ методами порошковой металлургии, горячим прессованием и экструзией.

Также характерными свойствами сверхвысокомолекулярного полиэтилена являются:

- Физиологическая инертность, стойкость к микроорганизмам и плесени позволяют использовать СВМПЭ в пищевой и медицинской промышленности (безопасные нетоксичные покрытия, конвейерные ленты, имплантанты, хирургические нити);
- Высокие диэлектрические свойства позволяют изготавливать из СВМПЭ электроизолирующие покрытия;
- Вибростойкость и хорошее поглощение шума;
- Нулевое водопоглощение и несмачиваемость;
- Хорошая обрабатываемость механическими методами.

Особые отличительные характеристики СВМПЭ определяют и специфичные сферы применения. В областях где обычные марки ПЭНД и другие полимерные материалы не справляются с суровыми условиями эксплуатации применяется СВМПЭ и его композиты. Вдобавок СВМПЭ является менее затратным в экономическом плане, в сравнении с дорогостоящими материалами,

а в некоторых случаях является единственно пригодным для данной цели материалом. Таким образом, данный материал СВМПЭ, может заменить уже давно известную бронзу, и другие более дорогостоящие полимеры (полиамид, фторопласт).

Важнейшими характеристиками, обуславливающими сферы применения СВМПЭ, являются высокая износостойкость и низкий коэффициент трения. Коэффициент трения скольжения составляет в режиме сухого трения 0,07-0,20, со смазкой –0,05-0,1. Значение износостойкости при испытаниях на абразивный износ, например, у фторопласта в 3-4 раза ниже СВМПЭ. Если рассматривать поведение СВМПЭ с точки зрения трибологии, то незначительно отличается от поведения других кристаллических полимеров, в частности, ПТФЭ (политетрафторэтилена). Для него характерны аналогичные зависимости трибологических характеристик от нагрузки, скорости, пути скольжения и температуры [4].

### **1.1.1 Общие закономерности трения и износа полимеров. Закон трения Кулона**

Внешнее трение обусловлено механическим сопротивлением, возникающим при относительном перемещении двух соприкасающихся тел в плоскости их касания. Существует несколько видов трения (ювенильное, сухое, граничное, гидродинамическое), но для полимеров типа СВМПЭ, чаще характерно сухое трение. Впервые сформулировал влияние силы нормального давления на силу трения в 1669 г. Амонтон (закон внешнего трения).

В 1785 г. Кулон обобщил зависимость, сформулированную ранее Амонтоном, введя в нее постоянное слагаемое  $A$ , выражающее адгезионное схватывание поверхностей:

$$F=A+fN,$$

Где  $f$  – это безразмерная величина, равная отношению силы трения к силе  $N$  нормального давления.

Кулон определил влияние площади контакта поверхностей, природы материалов трущихся тел на силу трения и влияние продолжительности контакта на начальную силу трения [7].

### **1.1.2 Роль поверхности контакта трущихся тел**

Контактирующие поверхности твердых тел обычно взаимодействуют на отдельных малых площадях, которые расположены в определенных парах трения, так как поверхности твердых тел обладают волнистостью и шероховатостью.

Понятие контакта между парами трения весьма условно. Взаимодействие двух поверхностей осуществляется через пятна касания. Данные пятна касания, образующиеся при трении есть не что иное, как фрикционные связи. Каждая фрикционная связь действует ограниченное время, это связано с недолгой зоной взаимодействия выступов при скольжении. Фрикционная связь предопределяет развивающиеся во времени износостойкость и иные свойства, обусловленные температурой. Именно поэтому продолжительность жизни фрикционной связи играет большую роль в процессе трения и является важной характеристикой этого процесса.

В местах локальных контактов происходит деформация поверхностей под действием силы нормального давления. При трении скольжении эти контакты разрушаются. Поэтому сила трения зависит не только от механических свойств выступов поверхности, но и от молекулярных сил прилипания. В итоге, по Крагельскому, трение имеет двойственную молекулярно-механическую природу. Это обусловлено механическими потерями при деформации поверхностных выступов (механическая составляющая) и потерями на преодоление межмолекулярных связей (адгезионная составляющая).

На рисунке 4 показана зависимость коэффициента трения скольжения и его составляющих от давления. При повышении давления механическая составляющая коэффициента трения увеличивается, так как площадь касания

примерно пропорциональна силе нормального давления, а сопротивление зависит от деформируемого объема поверхностного слоя. При возрастании адгезионная составляющая сначала уменьшается, а затем остается постоянной.

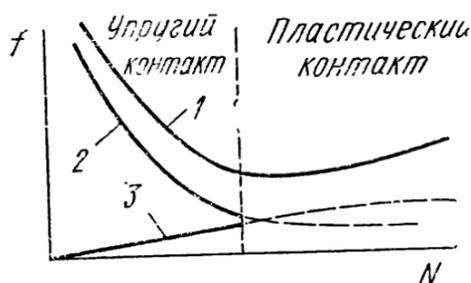


Рисунок 4 –Зависимости коэффициента трения скольжения (1) и его адгезионной (2) и механической (3) составляющих от силы нормального давления [7]

### 1.1.3 Виды и механизмы изнашивание полимеров и материалов на их основе

Количественно износ оценивают по изменению размеров или массы детали, а характеризуют скоростью изнашивания (отношение величины износа ко времени, в течение которого он возник) и интенсивностью изнашивания (отношение величины износа к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы).

Применительно к композиционным материалам на основе полимеров различают адгезионное, усталостное, абразивное и эрозионное изнашивание. Главную роль в процессе *адгезионного изнашивания* играет поверхностная активность трущихся материалов, определяющая соотношение адгезии и когезионной прочности пограничных слоев. Основу механизма адгезионного износа в процессе граничного и сухого трения составляет фрикционный перенос, локализованный в тончайших поверхностных слоях.

В локальных зонах фактического контакта происходит интенсивное молекулярное (адгезионное) взаимодействие, силы которого превосходят прочность и связи между отдельными элементами надмолекулярных образований или полимерных молекул, находящихся в напряженно-

деформированной зоне трения. В процессе ограниченного количества актов фрикционного взаимодействия происходит поверхностное разрушение материала, продукты которого образуют «третье тело» - более или менее устойчивые участки пленки отдельные фрагменты материалов, молекул и т.д., которые в большинстве случаев в результате дальнейшего фрикционного воздействия диспергируются и уносятся из зоны трения. Процесс этот может многократно повторяться.

Это характерно, прежде всего, для таких полимеров, как фторопласт и полиэтилен. При этом для определенного сочетания условий эксплуатации (нагрузочно-скоростных параметров, температуры и т.д.) и шероховатости взаимодействующих поверхностей существует оптимальная толщина перенесенного слоя, определяющего минимальный износ узла трения.

*Усталостное изнашивание* происходит при многократном фрикционном деформировании в результате утомления материала в поверхностных слоях. В этих слоях образуются микротрещины, развитие которых приводит к микровыкрашиванию материала.

Согласно молекулярно-механической теории трения твердых тел, минимальное усталостное изнашивание реализуется при упругом характере контакта: интенсивность усталостного изнашивания при пластическом деформировании микронеровностей на несколько порядков выше. Такое соотношение сохраняется и для материалов на основе полимеров.

В отличие от классических твердых тел одной из основных причин усталостного изнашивания материалов на основе полимеров является трибоккрекинг полимерных молекул, происходящий вследствие интенсивного контактного механического и термического взаимодействий [8].

Деформационные процессы в этом случае вносят наиболее важный вклад в механизм трения и изнашивания, проявляясь в виде образования волн деформированного материала перед движущимся индентором.

Знакопеременное деформирование поверхностных слоев материалов является основной причиной их фрикционно-контактной усталости. На рисунке

5 продемонстрировано схематичное представление о напряженном состоянии поверхностного слоя материала при трении, приводящем к фрикционно-контактной усталости.

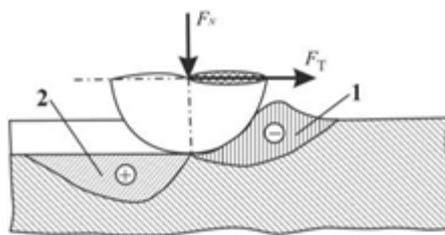


Рисунок 5 – Напряженное состояние, создаваемое скользящей твердой микронеровностью в сопряженном материале [27]: 1 – зона сжимающих напряжений, 2 – зона растягивающих напряжений [9]

**Абразивное изнашивание** происходит при определенном сочетании условий фрикционного нагружения и геометрии сопряженных поверхностей, когда характеристики напряженно-деформированного состояния достигают определенных предельных значений, превышающих прочностные показатели в соответствующих локальных точках взаимодействующих материалов. Происходит фрикционное разрушение материалов вследствие однократных воздействий индентора. Самым характерным проявлением абразивного изнашивания является микрорезание. При абразивном изнашивании в зоне контакта интенсивно протекают трибодеструкционные процессы.

**Эрозионное изнашивание** происходит в процессе обтекания тела жидкой или газовой, в том числе высокотемпературной средой.

Основные факторы, определяющие характер и интенсивность изнашивания полимерных материалов: природа материалов; поверхностные и объемные механические, физические и химические свойства фрикционно-взаимодействующих тел; параметры нагружения (величина и закон изменения нагрузки, скорость перемещения); макро- и микрогеометрией (форма, волнистость, шероховатость) контактирующих поверхностей; фрикционная температура и параметры внешней среды (температура, атмосферное воздействие, наличие смазки и т.д.) [8].

Исходя из огромного количества факторов влияющих на процессы изнашивания необходимо установление закономерностей изнашивания с определением точных граничных условий по всем данным исходным данным и учета изменяющихся в процессе взаимодействия параметров.

Лучшим образом для этой цели подходит классификация нарушения фрикционных связей и базирующиеся на ней теории усталостного и аразивного изнашивания, разработанная И.В. Крагельским с сотр. [10].

На рисунке 6 представлена классификация видов нарушения фрикционных связей, предложенная Крагельским.

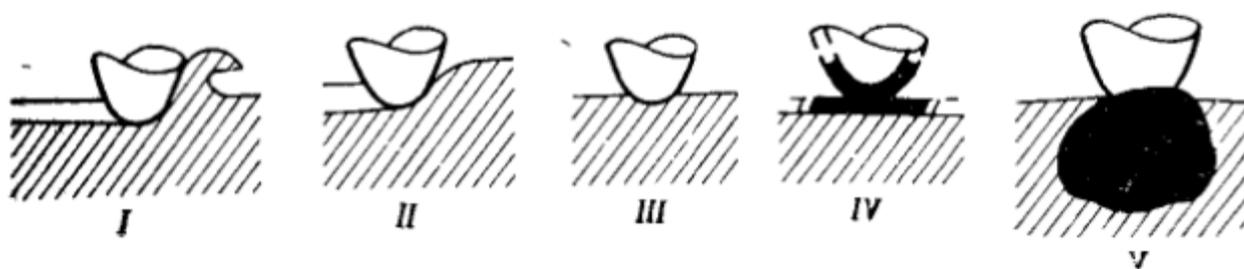


Рисунок 6 – Основные виды нарушения фрикционных связей (по Крагельскому) [8]: I –срез; II – пластическое отеснение; III –упругое отеснение; IV – схватывание и разрушение пленок, покрывающих поверхность твердых тел; V – схватывание поверхностей, сопровождающееся глубинным вырыванием

1. Микрорезание, характеризующееся разрушением менее прочных зон материалов внедренными неровностями фрикционно-взаимодействующих тел; изнашивание происходит в этом случае в результате единичных взаимодействий.
2. Пластическое деформирование, происходящее в зоне взаимного внедрения неровностей, напряженное состояние в окрестностях которых превышает предел текучести менее твердого материала. Основной механизм изнашивания –фрикционно-контактная усталость.

3. Упругое деформирование, не вызывающее в областях фактического контакта напряжений и деформаций, сравнимых с предельными разрушающими квазистатическими значениями прочностных характеристик взаимодействующих материалов. Для полимеров при низких скоростях скольжения следует рассматривать и вязко-упругий характер деформирования. В условиях упругого (вязко-упругого) деформирования изнашивание материала происходит преимущественно вследствие фрикционно-контактной усталости поверхностных слоев.
4. Адгезионное взаимодействие, развивающееся на пятнах молекулярного контакта и не приводящее к непосредственному разрушению поверхности и износу. Однако, в ряде случаев адгезионное взаимодействие сопровождается изнашиванием (фрикционный перенос) уже в начальных период контактного взаимодействия.
5. Когезионный отрыв, характеризующий схватывание, – глубинное разрушение материала [11].

#### **1.1.4 Влияние температуры на механические свойства и износостойкость СВМПЭ**

Для полноценного понимания поведения полимера при трении в условиях сухой или ограниченной смазки необходимо проанализировать изменения полимера в диапазоне температур.

В своей работе Juan-Carlos Vaena, Zhongxiao Peng исследовали изменение твердости и износостойкости СВМПЭ с изменением температуры (20°-60°С). Количественная оценка твердости и износа при различных температурах были скоррелированы и дополнены качественным анализом морфологии изношенной поверхности [12].

Анализ полученных данных по изменению твердости в заданном диапазоне температур позволил выделить две стадии изменения.

Оценка твердости с изменением температуры показала, что твердость в интервале температур (первая стадия): от комнатной (20°C) до 40°C, снижается в два раза больше, чем на второй стадии (от 40°C до 60°C). Общее снижение твердости около 30 %. Графическое изображение изменение твердости с температурой продемонстрировано на рисунке 7.

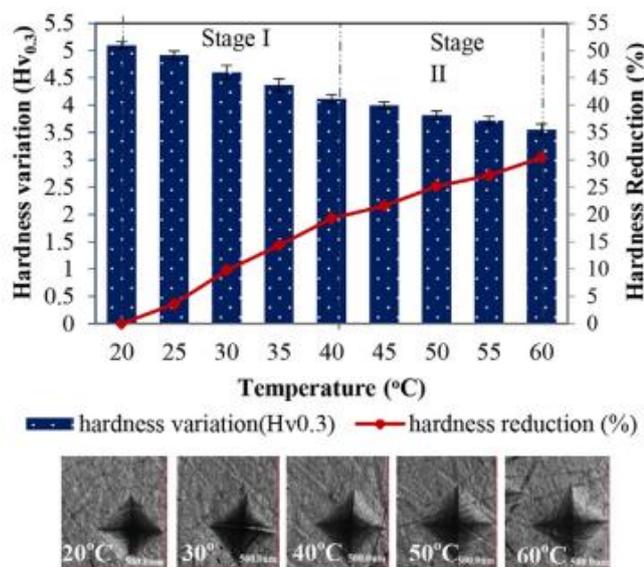


Рисунок 7 – Количественная оценка изменения твердости с температурой

Изменение скорости износа при повышении температуры были проанализированы в интервале температур между 20°C и 50°C, рисунок 8. Скорость износа резко увеличилась от 30°C до 40°C. Это свидетельствует о том, что износ был более тяжелым на стадии II (40°C - 50°C), что увеличение рабочих температур на этапе II может привести к значительным потерям, следовательно, значительным сокращением срока службы СВМПЭ.

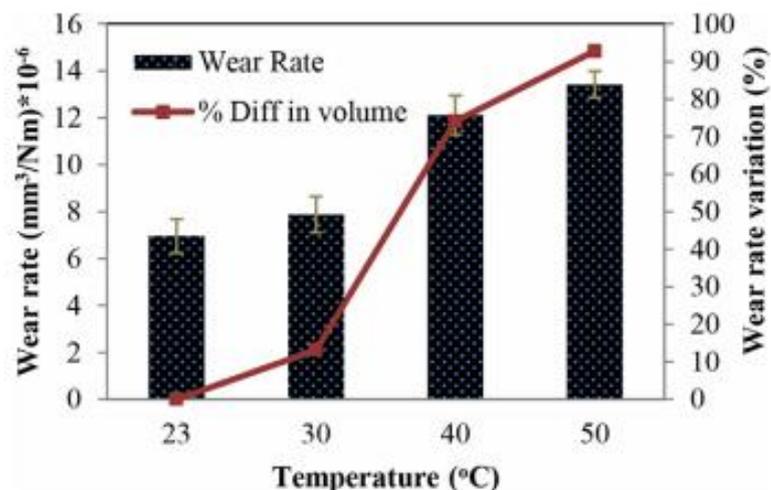


Рисунок 8 – Скорость износа СВМПЭ при разных температурах, от 20°C до 50°C

На рисунке 9 показано, что с увеличением температуры интенсивность износа, пластическая деформация становятся больше и заметнее.

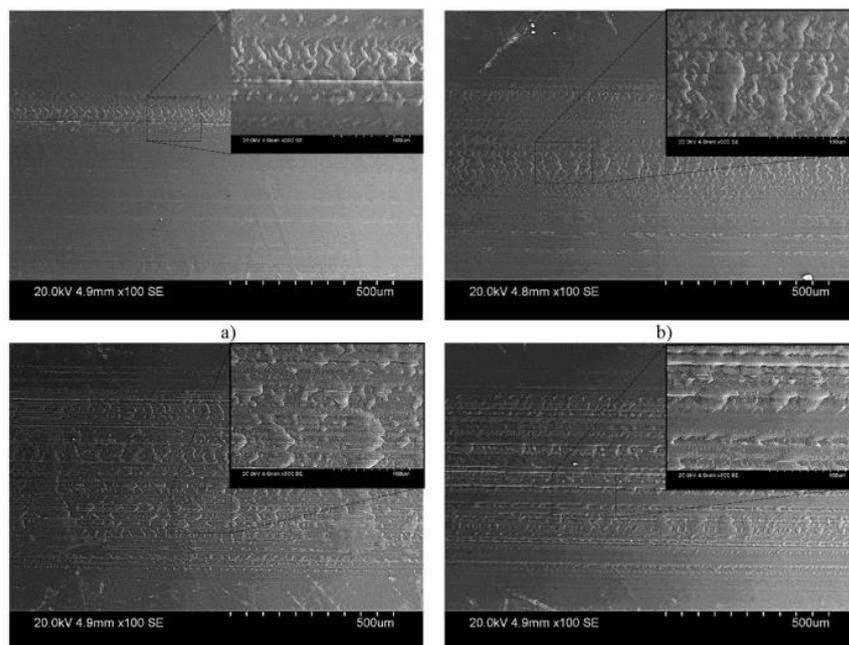


Рисунок 9 – Морфология поверхности дорожек трения при разных температурах: а) 20°C, б) 30°C, с) 40°C, д) 50°C при увеличениях X100 и X500

Полученные результаты в этом исследовании свидетельствуют об увеличении степени износа при изменении температуры и ее корреляция со снижением твердости. В дополнение к пластической деформации и абразивному

износу, адгезия также способствует потере материала. Хотя адгезия не была четко видна на дорожках трения, ее можно обнаружить на поверхности шара из нержавеющей стали (контртела).

На рисунке 10 продемонстрирована поверхность контртела после испытания при двух разных температурах (20°C и 50°C).

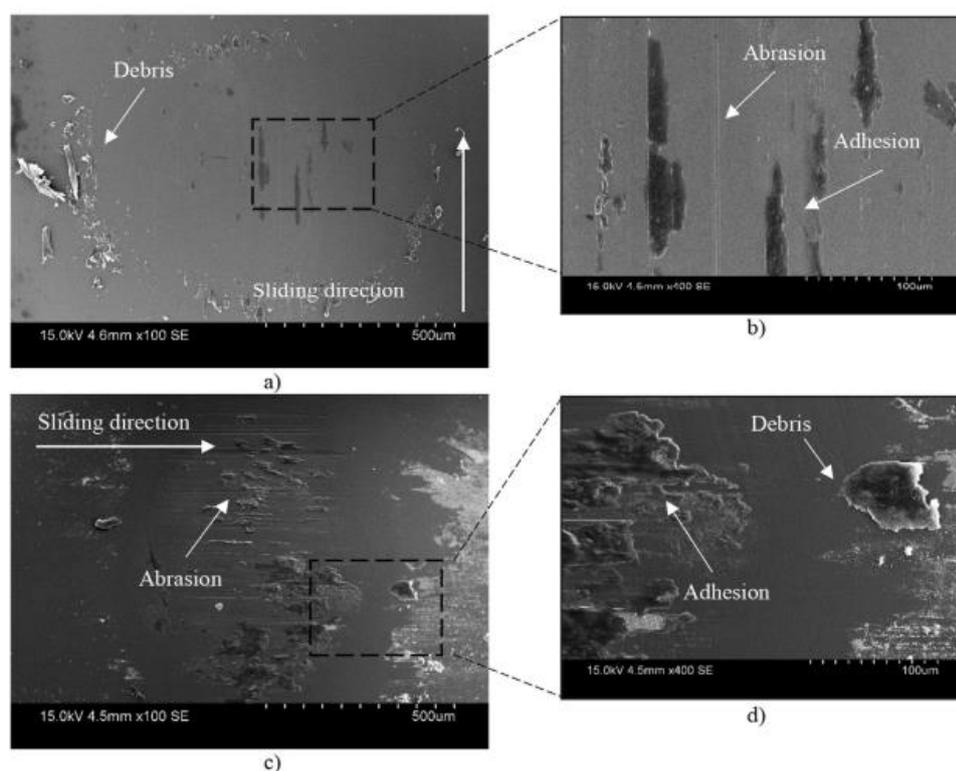


Рисунок 10 – РЭМ изображения поверхностей контртела после испытания на износ при температурах: (a) и (b) комнатная температура (20°C); (c) и (d) 50°C

## 1.2 Наполнители

### 1.2.1 Политетрафторэтилен

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4) – линейный кристаллический полимер со степенью кристалличности до 90%. Молекулярная масса – от нескольких сотен тысяч до 10 млн. На рисунке 11 отображена зависимость плотности от степени кристалличности ПТФЭ.

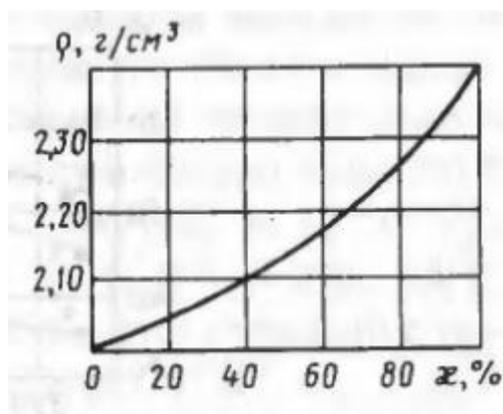


Рисунок 11 – Зависимость плотности ПТФЭ от степени кристалличности [13]

Политетрафторэтилен получают суспензионной и эмульсионной полимеризацией газообразного тетрафторэтилена. Политетрафторэтилен или ПТФЭ состоит из углеродной основной цепи, а к каждому атому углерода присоединено по два атома фтора. Схематическое изображение структуры политетрафторэтилена продемонстрировано на рисунке 12.

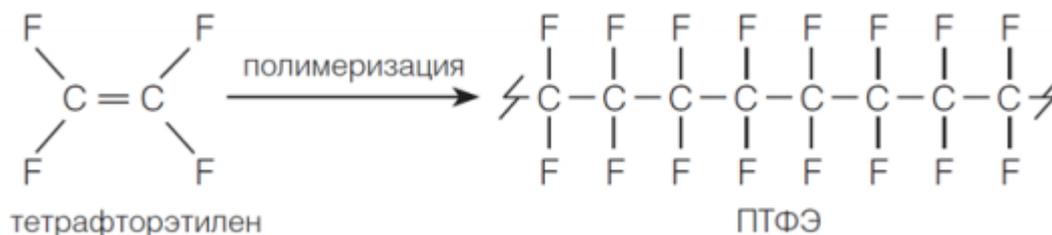


Рисунок 12 – Химические структуры тетрафторэтилена и ПТФЭ [13]

ПТФЭ обладает совершенно уникальной химической стойкостью: не горит, не растворяется ни в каких растворителях, не вступает во взаимодействие с концентрированными кислотами и щелочами. Абсолютно не токсичен и физиологически безвреден. Данный полимер обладает высокими диэлектрическими свойствами.

Таблица 2 – Среднестатистические механические и физические свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ) [15]

Показатели	ПТФЭ	СВМПЭ
Плотность	2,15-2,44	0,93
Твердость по Бринеллю, МПа	30-40	40-50
Модуль Юнга при растяжении* (ГПа)	0,68	0,5–0,8
Удлинение при растяжении* (МПа)	250-500	350–420
Предел текучести (МПа)	11,8	21–28
Предел прочности (МПа)	14-34	36–45
Степень кристалличности (%)	50-70	39–75
Температура плавления (°С)	327	200

Фторопласт-4 является прекрасным антифрикционным материалом: его коэффициент трения по стали (без смазки) примерно находится в диапазоне 0,04...0,05 при скорости скольжения до  $1 \cdot 10^{-2}$  м/с. Повышение скорости скольжения на вдвое увеличивает коэффициент трения в 2-3 раза, однако интенсивность изнашивания значительно увеличивается из-за низкой теплопроводности и невысоких механических свойств.

В ситуации с повышенными скоростями скольжения без охлаждения и смазки температура в зоне трения значительно повышается. Это приводит к изменению надмолекулярной структуры, падению прочностных характеристик и разрушению (изнашиванию) поверхностного слоя материала [15].

На рисунке 13 приведена зависимость коэффициента трения ПТФЭ от давления при скорости скольжения 0,5 м/с. Следует отметить, что повышение нагрузки приводит к значительному снижению коэффициента трения.

Наблюдается резкое падение коэффициента трения при увеличении величины нагрузки до 0,4 МПа, при последующее ее увеличение незначительно сказывается на коэффициенте трения. Такая зависимость характерна при малых скоростях скольжения, увеличение скорости скольжения уменьшает степень влияния контактного давления на коэффициент трения.

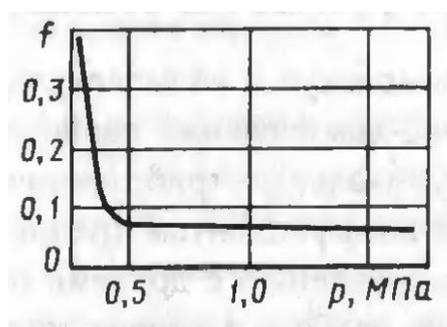


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента трения ПТФЭ от давления при скорости скольжения 0,5 м/с [13]

Температура окружающей среды также влияет на антифрикционные свойства ПТФЭ.

Например, влияние низких температур на коэффициент трения ПТФЭ связывается с понижением подвижности молекулярных цепей и надмолекулярных образований, что значительно затрудняет проявление ориентационного эффекта. Кроме того, при сильном охлаждении увеличивается адгезионное взаимодействие, в котором могут участвовать сильные межатомные связи молекулярных цепей. Уменьшение коэффициента трения с повышением температуры выгодно отличает ПТФЭ от других полимеров, рисунок 14.

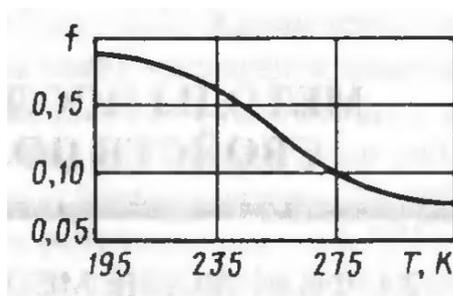


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента трения ПТФЭ от температуры [13]

Еще одним достоинством этого материала является его высокая термостойкость: деструкция фторопласта-4 начинается после 415 °С.

При всех положительных характеристиках этого полимера, есть и недостатки такие, как высокая ползучесть под действием даже незначительных механических нагрузок. Снижения ползучести можно достичь созданием композиционного материала на основе ПТФЭ, используя армирующие наполнители (стекловолокно, углеродное волокно и т.д) [15].

Также ликвидировать или минимизировать недостатки политетрафторэтилена, включив его сильные стороны можно используя его в качестве наполнителя в композициях на основе других полимеров [16]. В этом случае ПТФЭ будет играть роль твердой смазки, тем самым улучшая триботехнические характеристики исходных смесей.

При введении ПТФЭ в матрицу сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), при варьировании содержания наполнителя можно достигать необходимые свойства, что определяется, прежде всего, планируемой сферой применения. При этом удастся значительно снизить величину износа полимерной смеси, прежде всего, в условиях сухого трения скольжения.

Исследования в области износостойкости композитов СВМПЭ проводили различные авторы, в том числе QiufengWang и сотр.. В их работе [17] в качестве объекта исследования в качестве твердосмазочного наполнителя был выбран политетрафторэтилен (ПТФЭ). При этом были изготовлены композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, армированные углеродными волокнами (УВ) и политетрафторэтиленом (ПТФЭ). Исследовано влияние наполнителей на микроструктуру и деформационное поведение при изнашивании композиционных материалов. Результаты исследований с применением рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии показали, что микроструктура наполненных композитов сильно изменилась. Кроме того, показано, что одновременное введение УВ и ПТФЭ при соответствующем их содержании, способствовало значительному снижению трения и повышению износостойкости СВМПЭ композитов.

Были приготовлены пять видов композиций на основе СВМПЭ, армированных микропорошком УВ и / или ПТФЭ с различной массовой долей: «СВМПЭ-20% УВ», «СВМПЭ-15% УВ-5% ПТФЭ», «СВМПЭ-10% УВ-10% ПТФЭ», «СВМПЭ-5%УВ-15% ПТФЭ» и «СВМПЭ -20% ПТФЭ» (соответствующие композиты на основе СВМПЭ (UHMWPE) обозначены как «UHMWPE-1», «UHMWPE-2», «UHMWPE-3», «UHMWPE-4» и «UHMWPE -5»).

Поведение при износе СВМПЭ и его композитов было выполнено по схеме возвратно-поступательного трения на трибометре SRV-IV, Optimol Corporation, Германия. Контактная схема пары трения показана на рисунке 15.

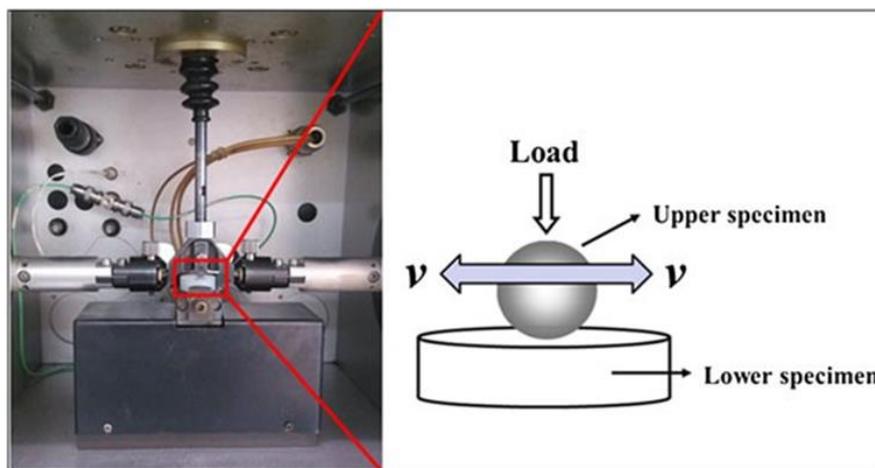


Рисунок 15 – Контактная схема испытания пары трения

Верхний образец представляет собой стальной шарик из подшипниковой стали ШХ15 диаметром 10 мм, который удерживается в неподвижном держателе. Перед каждым испытанием образцы очищали салфеткой, смоченной в ацетоне. Параметры испытания: частота перемещения индентора 100 Гц, ход 100 мкм, нормальная нагрузка 10 Н, продолжительность испытания 60 мин. Коэффициент трения автоматически регистрировался с помощью компьютера, подключенного к трибometру.

Таблица 3 – Свойства композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ)

Материал	Плотность (г/см <sup>-3</sup> )	Температура плавления (T <sub>m</sub> , °C)	Степень кристалличности (%)	Твердость (Шор S)
UHMWPE	0.930	136.5 ± 1.1	48.7	67
UHMWPE-1	1.025	137.6 ± 0.5	53.6	72
UHMWPE-2	1.031	135.8 ± 0.2	51.0	67
UHMWPE-3	1.037	136.1 ± 1.0	49.9	66
UHMWPE-4	1.043	135.8 ± 0.8	49.5	64
UHMWPE-5	1.050	137.8 ± 0.2	49.0	63

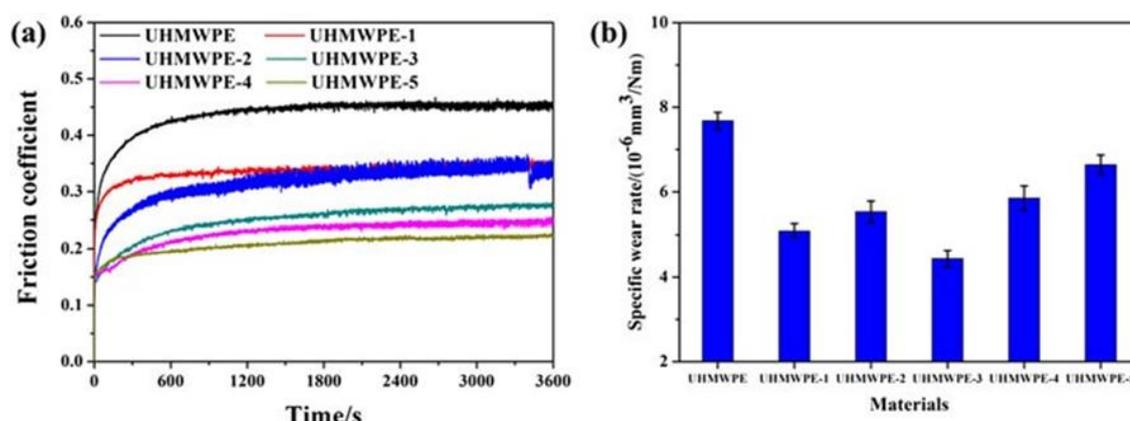


Рисунок 16 – Изменение (а) коэффициента трения и (б) удельной скорости износа СВМПЭ (UHMWPE) и его композитов.

Коэффициенты трения СВМПЭ и его композитов, а также величина износа по стали ШХ15, показаны на рисунке 16. Видно, что введение УВ (СF) приводит к значительному снижению коэффициента трения СВМПЭ (UHMWPE). Более того, в композитах СВМПЭ с «15 % УВ + 5% ПТФЭ», «10% УВ + 10% ПТФЭ», 5% УВ + 15% ПТФЭ», и «20% ПТФЭ» наблюдается дальнейшее снижение коэффициента трения, которое достигает минимального значения в образце «UHMWPE-5». Это указывает на то, что введение ПТФЭ и УВ приводит к значимому снижению коэффициента трения и значения износа.

## 1.2.2 Углеродные волокна

Углеродные волокна широко распространены в сфере создания композитов, благодаря их специфичным свойствам.

На рисунке 17 показана структура углеродного волокна. Оно имеет сложную трехмерную структуру, основой которой являются тонкие и изогнутые кристаллы графита, ориентированные преимущественно вдоль оси волокна.

Структура атомной решетки графита изображена на рисунке 18. Она представляет собой наложенные друг на друга пластины графита. Плоскость пластин называется базальной. Высокая прочность графита в базальной плоскости обусловлена прочными ковалентными связями атомов углерода в кольцах. Это обеспечивает высокую жесткость и прочность волокна в осевом направлении. Соседние пластины графита связаны ван-дер-ваальсовым взаимодействием атомов углерода. Этим обусловлена низкая прочность графита при растяжении в перпендикулярном направлении и низкая прочность при сдвиге в плоскости пластин. Модуль Юнга графита в плоскости слоев и в перпендикулярном направлении равен 1060 ГПа и 36,5 ГПа соответственно. Модуль сдвига в плоскости слоев равен лишь 4,5 ГПа [18].

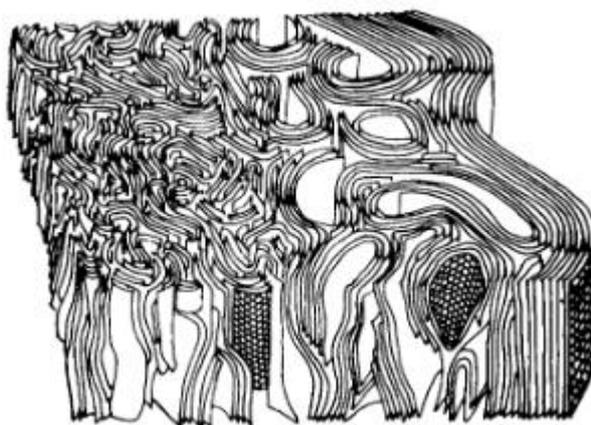


Рисунок 17 – Модель трехмерной структуры базальных плоскостей графита в углеродном волокне

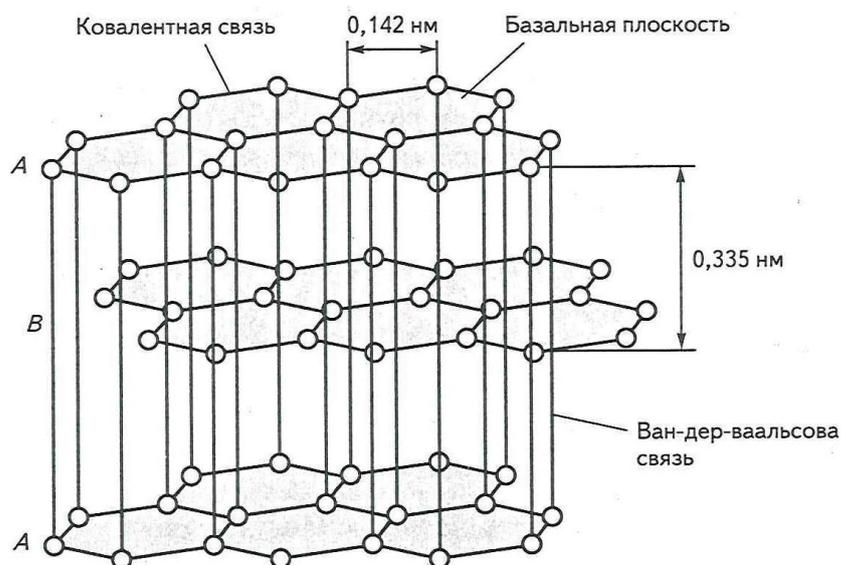


Рисунок 18 – Кристаллическая структура графита

Первые работы над созданием и исследованием углеродных волокон запатентованы американским изобретателем – Томасом Эдисоном еще в 1880 г. Он использовал их в качестве нитей накаливания в электрических лампах. Волокна, полученные путем пиролиза вискозного или хлопкового волокна, имели высокую пористость и хрупкость. В продолжение создания и исследования волокон Томас Эдисон предложил получать углеродные волокна на основе различных природных волокон.

Однако в полной мере интерес к углеродным волокнам проявился лишь в конце 1950-х годов. Они оказались наиболее подходящим армирующим материалам композитов для изготовления ракетных двигателей поскольку обладают неплохими теплоизоляционными свойствами, высокой термостойкостью, коррозионной стойкостью к воздействию газовых и жидких сред, высокими удельными прочностью, сопротивлением усталости и жесткостью [19].

#### *Свойства углеродных волокон*

Рассматривая свойства углеродных волокон, хочется выделить высокий модуль упругости и прочность, низкий коэффициент трения и низкую плотность. УВ характеризуются высокой стойкостью к химическим реагентам и

атмосферному воздействию. Отличительной чертой углеродных волокон и композитов из них помимо малого веса и высоких прочностных характеристик хорошая электропроводимость и свойственный черный цвет.

Вместе с тем малый, почти нулевой коэффициент линейного расширения, увеличивает область применения углеродных волокон и делает их ценными в некоторых специальных отраслях.

Углеродные волокна создают достаточно высокую конкуренцию, по армированию материалов, другим типам волокон, используемых в создании композитах [20].

Сравнивая углеродные волокна со стеклянными волокнами, надо отметить, что жесткость (модуль упругости) углеволокон выше, чем стекловолокон. Помимо этого, они близки по прочности, но УВ обладают меньшим удельным весом.

В таблице 4 показана сравнение углеродных волокон и стекловолокон по физико-механическим свойствам [21].

Таблица 4 – Физико-механические характеристики углеродных волокон и стекловолокон

Волокно	Показатели свойств			
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Предельная температура эксплуатации, °С
Углеродное	1,6-2,0	2,5-5,0	200-700	450
Стеклоанное	2,2-2,8	1,5-5,0	50-90	550

Недостатком углеродных волокон является низкая поверхностная энергия углеволокон, которое приводит к плохому смачиванию связующим в сравнении с стеклянными волокнами.

Характеристики углеродных волокон можно варьировать исходя из разного исходного сырья и изменяя технологии обработки.

### *Применение углеродных волокон*

Углеродные волокна используются в большинстве композиционных материалов для армирования, также в химостойких, теплозащитных материалах, помимо этого применяют для создания углепластиков.

Углеродные волокна служат основой для создания гибких и жесткий электронагревателей, например, популярные «карбоновые нагреватели», которые обогревают обувь и одежду. Такие устройства как термопары, экраны, поглощающие электромагнитное излучение; электроды, изделия для радио- и электротехники.

Обширная сфера применения УВ в настоящее время – использование в самолетах самых разных производителей, таких как «Boeing» и «Airbus» (до 30 тонн на одно изделие), для создания первичных и вторичных структур.

В 2004 -2006 гг. произошло резкое подорожание УВ из-за дефицита, вызванного широкими спектрами применения и активного использования волокна [22].

Возможности углеродного волокна в качестве армирующего наполнителя в полимерной матрице не исчерпали себя и исследуются по сей день.

Использование углеродных волокон в качестве наполнителя в полимерных композитах связано в первую очередь с их свойствами: высокой износостойкостью и хорошими механическими характеристиками. При исследовании влияния углеродных волокон на полимерную матрицу получали необходимые свойства путем варьирования размера волокон, способов дополнительной обработки поверхности волокон [23], количественного содержания наполнителя и т.д.

В работе [23] J. K. Lancaster исследовал влияние армирования углеродным волокном полимерной матрицы на трение и износ. Эксперименты показали, что триботехнические характеристики полимеров можно значительно улучшить за счет включения углеродных волокон. Также было установлено, что влияние волокон наиболее заметно, когда они ориентированы по нормали к поверхности

трения, хотя даже хаотично распределенные короткие волокна очень эффективны.

Влияния углеродных волокон на снижение износа отмечено как в условиях сухого трения скольжения, так и при водной смазке. Введение коротких углеродных волокон в различные полимерные матрицы показано в работе Hari Shankar Vadivel и сотр. [24], в которой состав 10 вес. % КУВ+ СВМПЭ показал снижение износа на 31% по сравнению с незаполненным СВМПЭ. Однако показана перспективность дальнейших исследований по созданию многокомпонентных смесей. Композит СВМПЭ + оксид графена + короткие углеродные волокна + наноалмазы показал на 21 % меньше коэффициент трения и на 15% ниже значение износа относительно с чистым СВМПЭ, в то время как композит СВМПЭ + короткие углеродные волокна не показал снижения коэффициента трения.

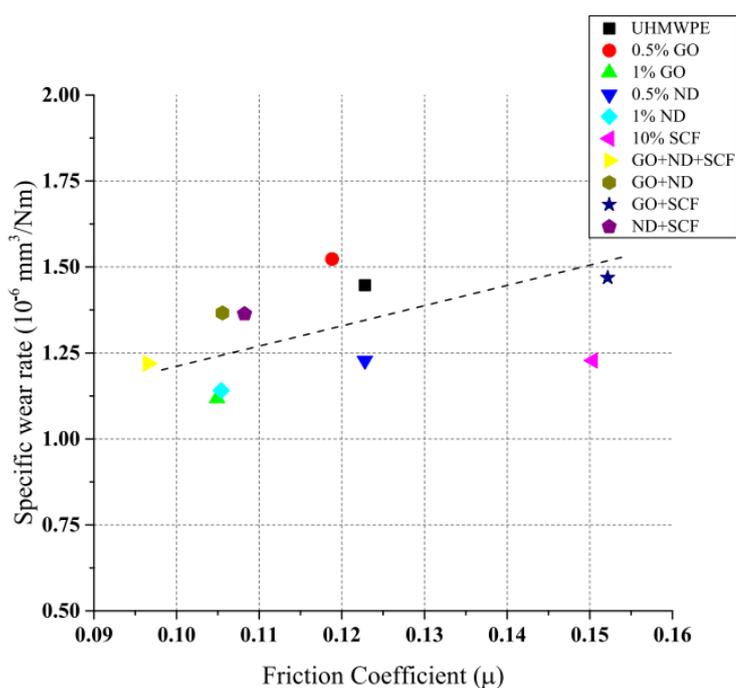


Рисунок 19 – Удельный коэффициент износа и коэффициент трения для различных композитов (GO-оксид графена, ND-наноалмазы, SCF- короткие углеродные волокна, UHMWPE – сверхвысокомолекулярный полиэтилен)

Особое внимание в композиционных материалах необходимо уделять границе раздела армирующих элемент – матрица, именно она часто подвержен

всем видам воздействия, именно здесь начинается разрушение при внешнем влиянии [25]. Для укрепления этого слабого места композита осуществляют специальную обработку поверхности волокон. Один из вариантов — это формирование полярных групп (оксидных, гидроксильных и т.д.) за счет окисления углеродных волокон, полярные группы хорошо взаимодействуют с матрицей полимера.

При работе, для достижения высоких показателей, с многокомпонентными смесями необходимо добиваться хорошей адгезии между наполнителями и матрицей. Авторы D.I. Chukov, A.A. Stepashkin, A.V. Maksimkin исследовали структуру, механические и триботехнические свойства композитов на основе СВМПЭ с короткими углеродными волокнами и показали влияние поверхностной модификации углеродных волокон на свойства композитов: повышение модуля Юнга, износостойкости композитов [26]. На рисунке 20 показано влияние поверхностной модификации на связь между наполнителем и матрицей, что непременно положительно сказывается на характеристиках композита в целом.

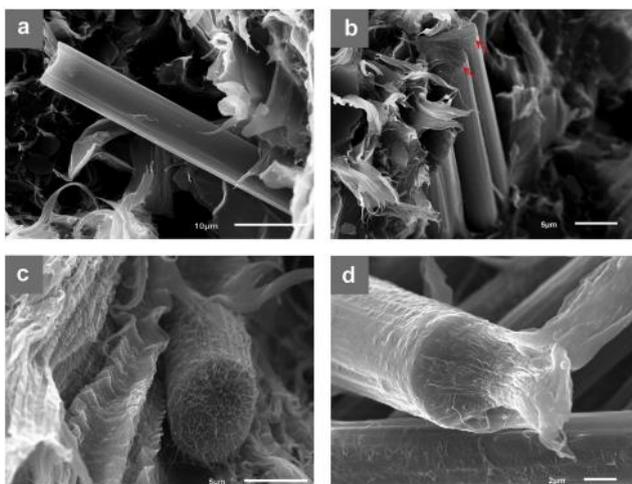


Рисунок 20 – Микроструктура композитов на основе СВМПЭ, армированных немодифицированными (a, b) и модифицированными (после термического окисления при 500 °С в течении 10 мин) (c, d) углеродными волокнами

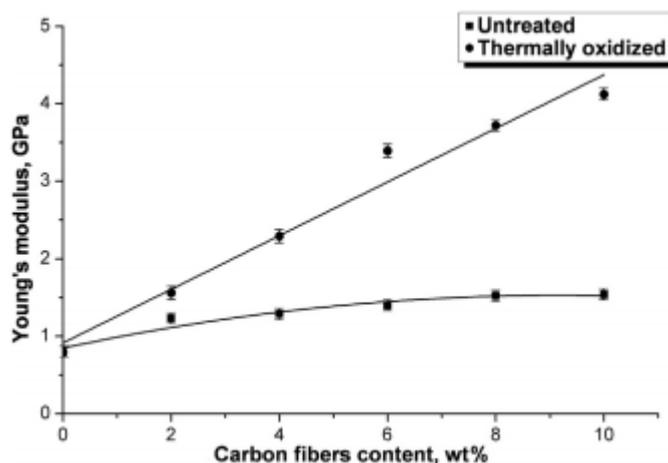
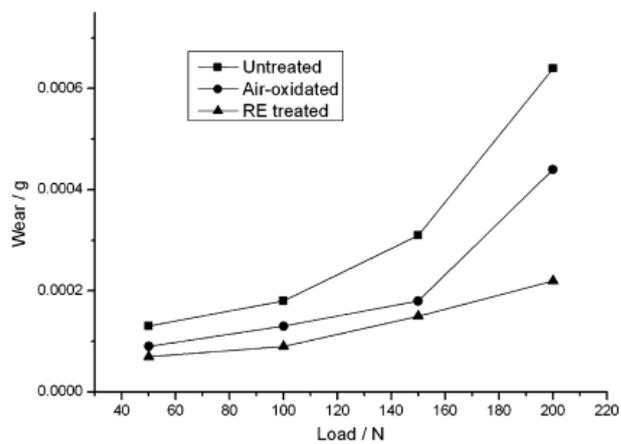
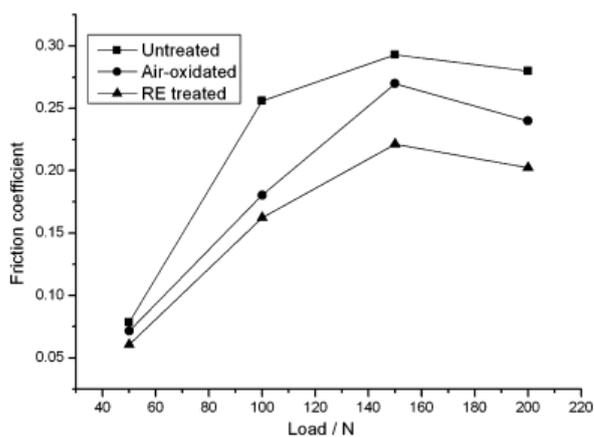


Рисунок 21 – Модуль Юнга композита с углеродными волокнами на основе СВМПЭ немодифицированного и модифицированными (после термического окисления при 500 °С в течении 10 мин)

Исследователи находят и другие различные поверхностные обработки углеродного волокна для улучшения адгезии волоконно-матричных, межфазных связей. Shangguan Qian-qian, Cheng Xian-hua в своей работе по введению обработанных углеродных волокон в матрицу политетрафторэтилена (ПТФЭ) используют два метода поверхностной обработки углеродных волокон [27]:

- окисление на воздухе (волокна нагревали до 450 °С, выдерживали в печи в течение 40 мин с последующим охлаждением до комнатной температуры в печи);
- обработка rare earths (RE), основной компонент которой - редкоземельная смесь LaCl (Shanghai Yuelong New Materials Co., Ltd); углеродные волокна пропитывали спиртовым раствором LaCl в течение 3 ч с последующей сушкой в инертной атмосфере при 80 °С в течение 4 часов.

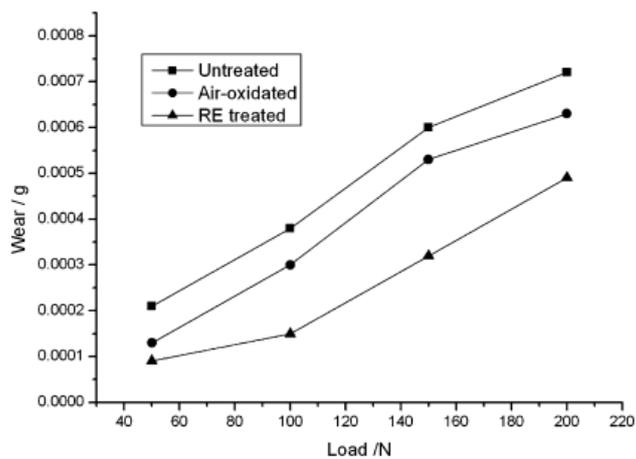
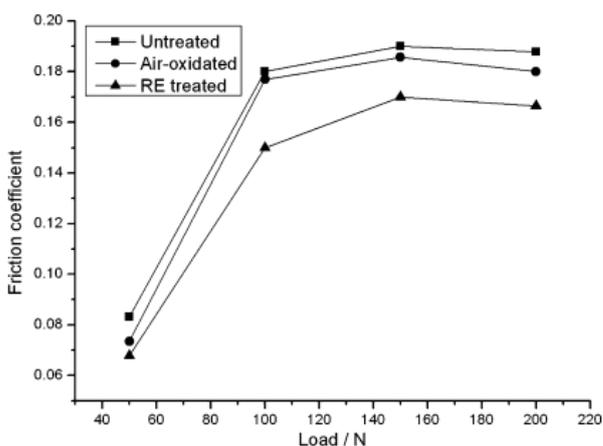
На рисунке 21 показано изменение коэффициента трения и износа композитов УВ/ПТФЭ от нагрузки со скоростью 200 об/мин. Видно, что коэффициент трения всех композитов сначала увеличивается с ростом нагрузки, а затем уменьшается при приложенной нагрузке 150 Н.



a)

b)

Рисунок 22 – (а) Изменение коэффициента трения с нагрузкой композитов УВ/ПТФЭ (скорость скольжения: 200 об/мин) (б) Изменение износа с нагрузкой для композитов УВ/ПТФЭ (скорость скольжения: 200 об/мин)



a)

b)

Рисунок 23 – (а) Изменение коэффициента трения с нагрузкой композитов УВ/ПТФЭ (скорость скольжения: 400 об/мин) (б) Изменение износа с нагрузкой для композитов УВ/ПТФЭ (скорость скольжения: 400 об/мин)

На рисунке 24 (а) фотография изношенной поверхности композита с необработанными волокнами, видно, что многие углеродные волокна отделяются от матрицы, матрица сильно отслаивается. Это показывает, что без поверхностной обработки УВ, межфазная связь между УВ и ПТФЭ слаба. Отслоения матрицы и грубая поверхность на рисунке 24 (б) говорят о

недостаточной адгезии, хотя углеродные волокна подвергались окислению. На рисунке 24 (с) наблюдается довольно гладкая поверхность, волокна погружены в матрицу, что указывает на хорошую адгезию.

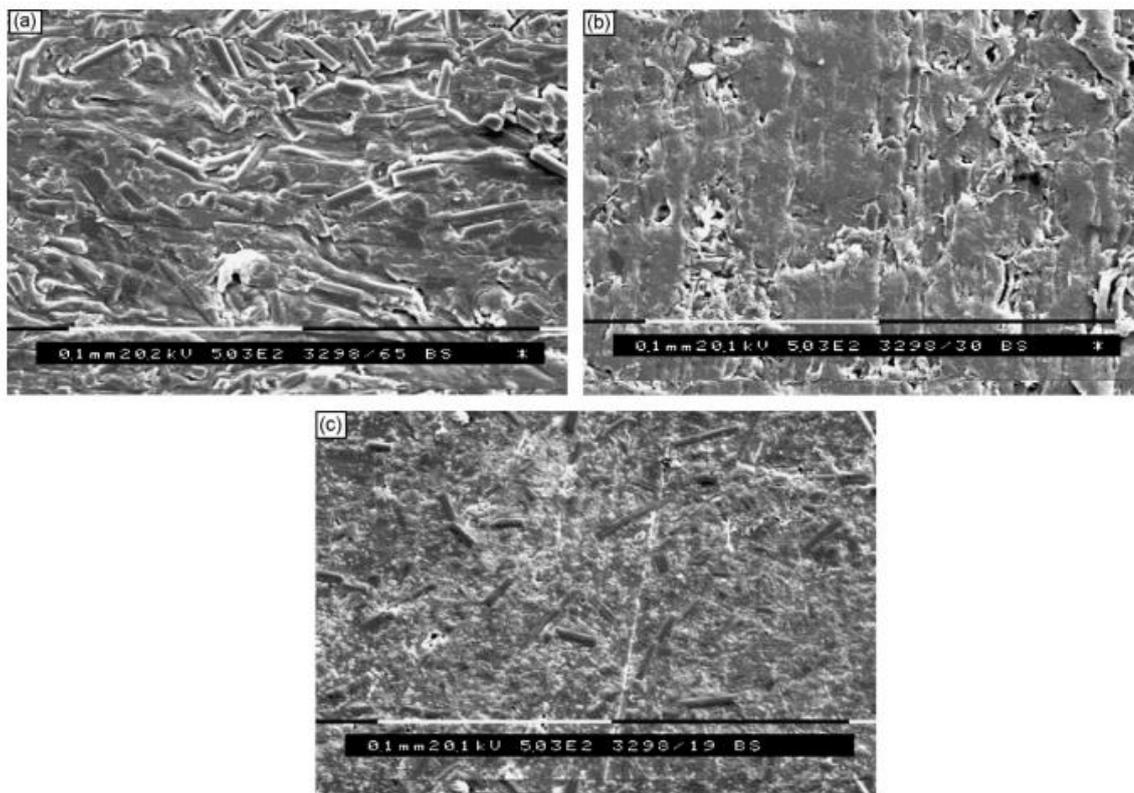


Рисунок 24 – РЭМ фотографии изношенных поверхностей композитов УВ/ПТФЭ (нагрузка: 150 Н, скорость скольжения: 400 об/мин) а) необработанные, б) окисленные на воздухе, с) RE обработанные

В целом при различных приложенных нагрузках и скоростях скольжения износостойкость композитов из УВ/ПТФЭ улучшилась после обработки RE. Обработка RE увеличивает количество кислородсодержащих групп на поверхности углеродного волокна, следовательно, межфазная адгезия между углеродным волокном и ПТФЭ увеличивается, соответственно улучшаются и триботехнические характеристики композитов УВ/ПТФЭ.

## ГЛАВА 2

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 2.1 Материалы исследований

В работе использовали:

а) *Матрица:*

- порошок СВМПЭ GUR-2122 (Ticona, Германия) молекулярной массой 4,0 млн. и размером частиц  $5 \div 15$  мкм;

б) *Наполнители:*

- порошок ПТФЭ марки Ф-4 «Флуралит» (ООО «Флуралит синтез») размером менее 3 мкм [28];
- порошок ПТФЭ марки Ф-4ПН<sub>20</sub> размером 14 мкм;
- микрочастицы оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунд) –  $\varnothing$  50 мкм;
- короткие углеродные микроволокна средней длиной ~65 мкм ( $\varnothing$  7,5 мкм);
- привитый блок-сополимер HDPE-g-SMA (размер частиц ~150 мкм, ООО «Новые полимерные технологии»).

Проводили диспергирование порошков полимерного связующего СВМПЭ и наполнителей взвеси компонентов в этиловом спирте в ультразвуковой ванне.

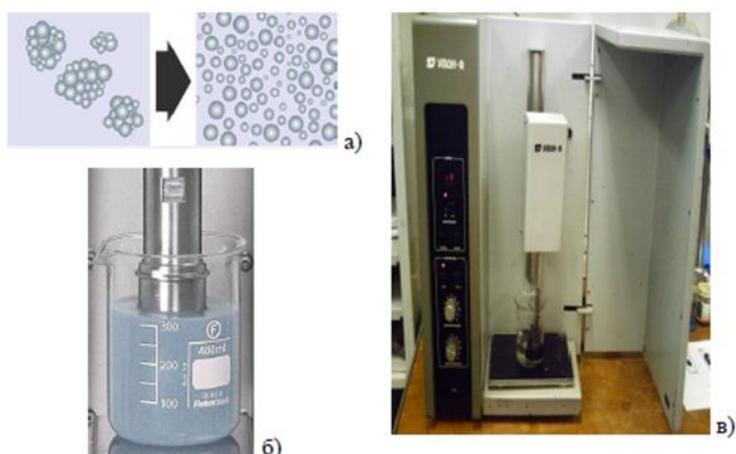


Рисунок 25 – а) процесс ультразвукового диспергирования частиц, б) деагломерация в этиловом спирте наночастиц, в) устройство ультразвукового диспергирования частиц УЗДН-А

Образцы смесей на СВМПЭ-матрице получали компрессионным спеканием, методика показана на рисунке 26. Величина давления при прессовании составляла 10 МПа; температура выдержки составляла 200 °. Форма заготовки представляет собой прямоугольный параллелепипед размерами 50x45x8 мм.

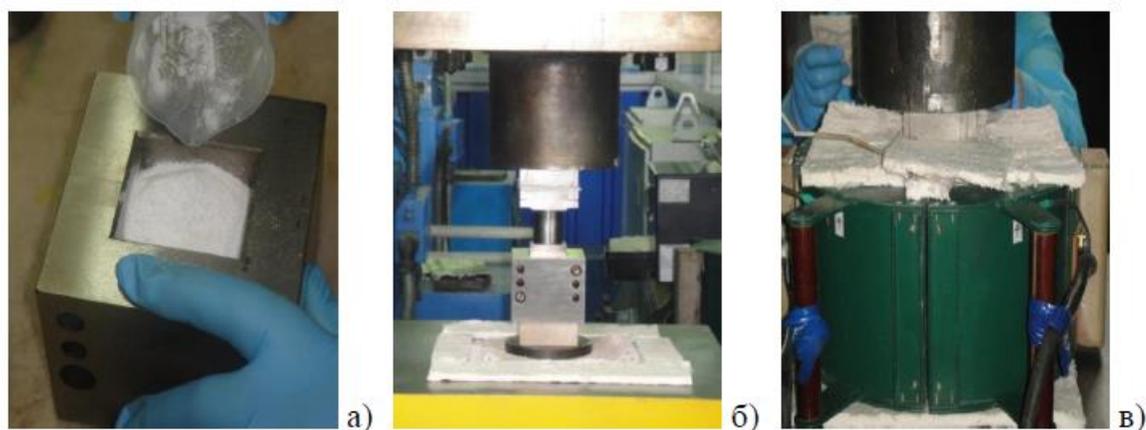


Рисунок 26 – Поэтапные шаги подготовки образца методом горячего прессования (а) порошок, б) пресс-форма, в) пресс для компрессионного спекания

## 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.** Проведение испытаний на растяжение осуществлялось при постоянной нагрузке на установке «Instron-5582». Были проведены испытания не менее 4-х образцов каждого типа.

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  $\Delta L$ , с помощью которых затем вычисляют механическое

напряжение и деформацию. Полученная кривая позволяет вычислить предел прочности модуль Юнга, относительное удлинение, предел текучести.

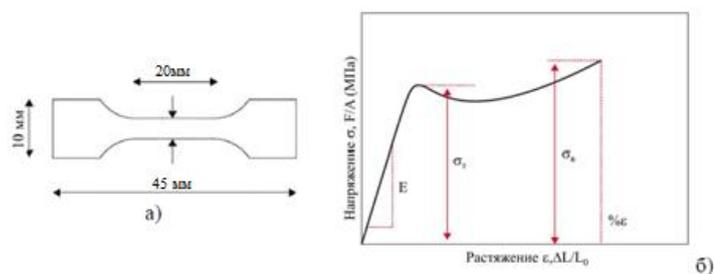


Рисунок 27 - а) схема образца для тестирования на растяжение, б) классическая диаграмма растяжения



а)



б)

Рисунок 28 – Этапы определения механических свойств: а) машина для испытаний «Instron – 5582», б) испытываемый образец в захватах.

Определение величины плотности осуществляется по формуле:

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

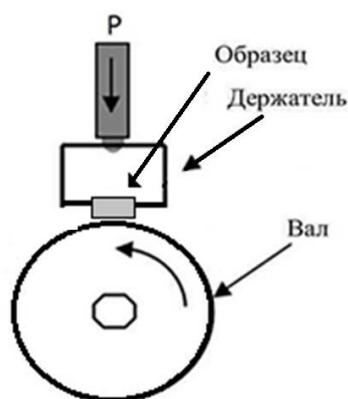
где  $m$  - масса образцов, г;  $v$  – объём, мм<sup>3</sup>.

На рисунке 29 изображен прибор «Instron 902», на котором ввелись измерения твердости по Шору Д.



Рисунок 29 - 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, рисунок 30.



а)



б)

Рисунок 30- Схематичное представление методики «вал-колодка» (а) и изображение контртела (б).

Форма образцов представляет собой параллелепипед прямоугольный, размер которого составил 16х6,35х10мм; диаметр используемого контртела 35мм, скорость, при которой вращается вал - 100 об/мин. Нагрузка при трении составляла 60Н и 140Н. Скорость, с которой проводились испытания, составляла 0,3-0,5 м/с.

**Величину износа** проводили с помощью контактного профилометра Alpha-Step IQ, рисунок 31.

Далее для расчета величины объемного износа значение, полученное на профилометре (площадь дорожки трения) умножается на ширину образца (дорожки трения).



Рисунок 31 – Контактный профилометр Alpha-Step IQ.

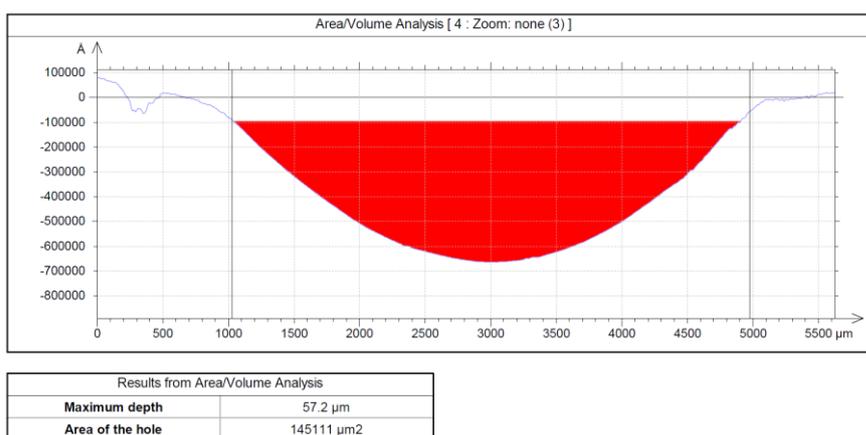


Рисунок 32 – Измерение величины износа.

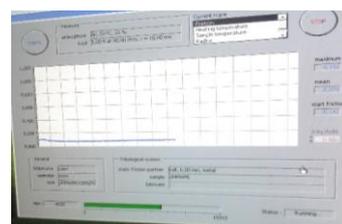
**Измерение коэффициента трения** происходило на установке Tribometer CSEM (Швейцария) по методике «Pin-on disc». Форма образцов представляет собой прямоугольный параллелепипед размерами 50x45x8 мм, нагрузка 5 Н, скорость испытания 0,3 м/мин, радиус 10 мм, длина пути 1 км.



а)



б)



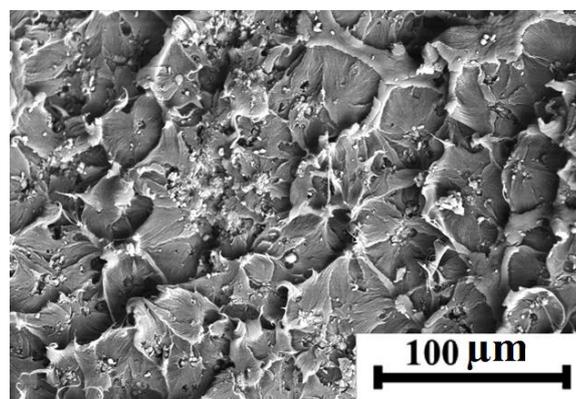
в)

Рисунок 33 – Испытания на коэффициент трения: (а) трибометр CSEM, (б) испытание образца, (в) измерение коэффициента трения

**Растровая электронная микроскопия (РЭМ).** Для исследования надмолекулярной структуры СВМПЭ и его композиций был использован растровый электронный микроскоп LEO EVO 50 (Zeiss, Германия – рисунок 34 а). Надмолекулярная структура смеси СВМПЭ+5 вес.% Ф-4 приведена на рисунке 34, б. До проведения исследования в РЭМ образцы были покрыты слоем серебра с целью повышения разрешения и во избежание электризации.



а)



б)

Рисунок 34 – (а) растровый электронный микроскоп LEO EVO 50; (б) надмолекулярная структура СВМПЭ+5 вес.% Ф-4

## ГЛАВА 3

### 3.1 Композиты на основе СВМПЭ, наполненные мелкодисперсными частицами 5 % Ф-4 (Флуралит), 10 % Ф-4, 20 % Ф-4

#### 3.1.1 Механические свойства, структура

Для исследования влияния мелкодисперсного политетрафторэтилена (флуралита) на матрицу СВМПЭ в двухкомпонентных композитах были подготовлены смеси СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 10 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 20 вес. % Ф-4. Цель этого исследования – определение содержания наполнителя (Ф-4) в композиции в условиях сохранения сферолитной надмолекулярной структуры и минимального снижения прочностных свойств сверхвысокомолекулярной матрицы.

В таблице 5 и на рисунке 35 приведены результаты испытаний на механические характеристики. Из таблицы следует, что механические свойства снижаются по мере увеличения содержания флуралита, что связано с испорченной структурой относительно незаполненной матрицы. С точки зрения введения наполнителя на этапе рассмотрения механических характеристик, наилучшими показателями обладает смесь с 5 вес. % флуралита.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов на механические свойства СВМПЭ и композитов «СВМПЭ+ n вес. % Ф-4»

Содержание флуралита, вес. %	Плотность, $\rho$ г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору D	Модуль упругости E, МПа	Предел текучести $\sigma_y$ , МПа	Предел прочности $\sigma_m$ , МПа	Отн. удлинение $\epsilon$ , %
0	0.928	57.5±0.1	711±40	22.1±0.4	42.9±3.1	482±28
5	0,954	54,2±0,3	474±22	20,3±0,2	33,9±2	422±41
10	0,978	54,4±0,3	372±43	19,4±0,6	31,7±3,8	397±48
20	1,009	55,6±0,6	306±29	17,1±0,9	22,2±1,5	267±29

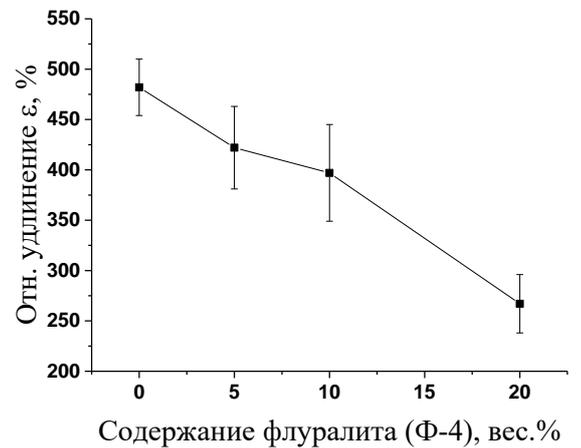
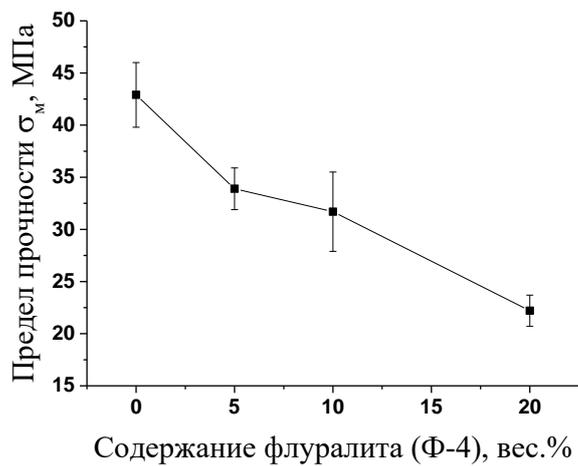
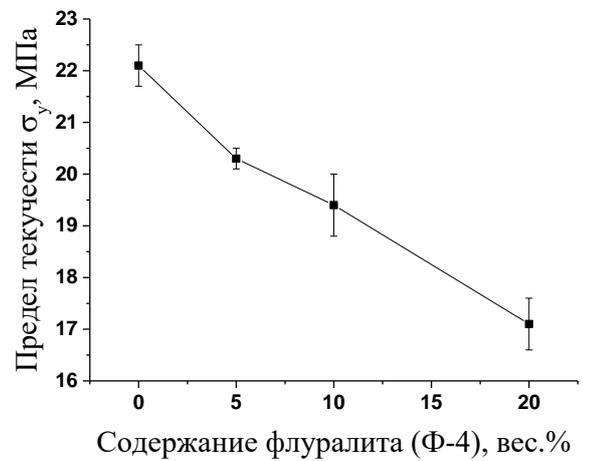
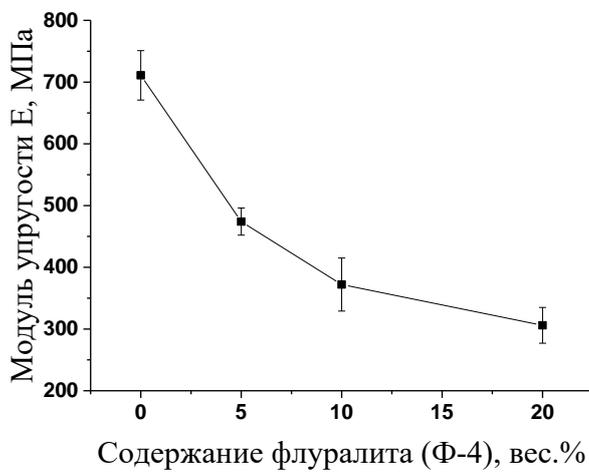
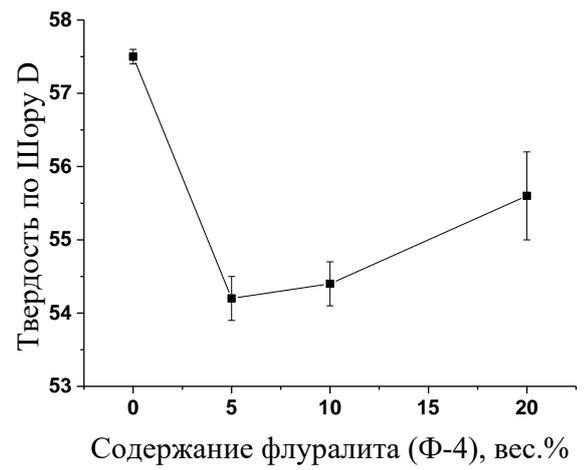
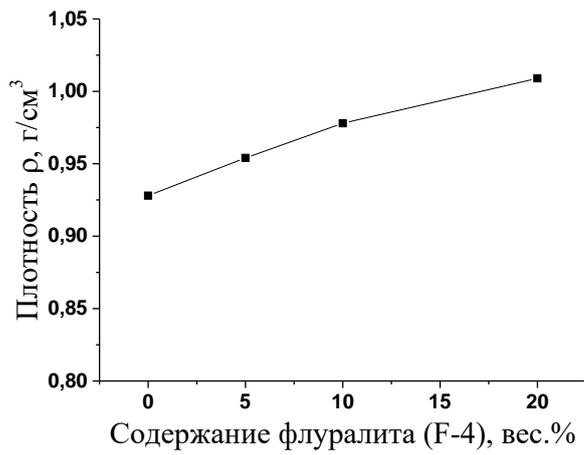


Рисунок 35 – Диаграммы физико-механических характеристик СВМПЭ и композиций на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 10 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 20 вес. % Ф-4

При исследовании надмолекулярной структуры композитов с флуоралитом было показано, что наполнитель оказывает влияние на рост сферолитов. Наличие мелкодисперсных частиц Ф4, имеющего температуру плавления, значительно превосходящую температуру, использованную при горячем прессовании СВМПЭ, сопровождается уменьшением до нескольких раз характерного размера сферолитов, рисунок 36. Однако при содержании 5вес.% наполнителя сферолитный характер надмолекулярной структуры композита сохраняется, рисунок 36 б. Благодаря мелкодисперсной природе, наполнитель равномерно распределяется в матрице СВМПЭ, рисунок 36 б.

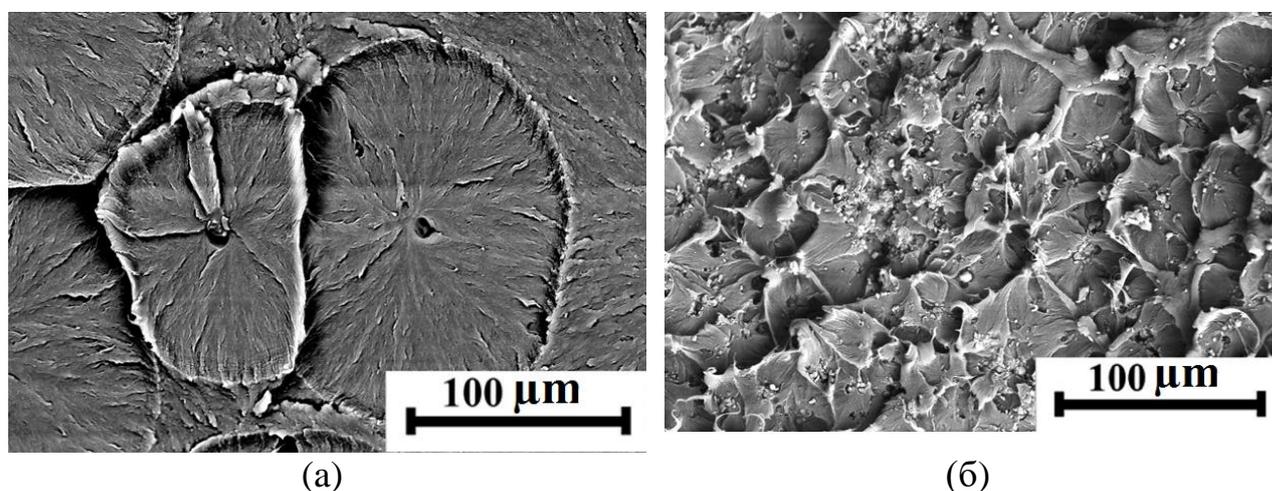


Рисунок 36 –РЭМ-фотографии надмолекулярной структуры СВМПЭ (а) и композитов «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4» (б)

### 3.1.2 Триботехнические характеристики, упругое восстановление

На рисунке 38 приведены данные испытаний на изнашивание композитов на основе СВМПЭ с различным содержанием флуоралита в условиях различных нагрузок и скоростей скольжения. Из данных рисунка 38 видно, что при введении наполнителя наблюдается снижение износа образцов. При умеренной нагрузке 60 Н скоростях 0,3 м/с и 0,5 м/с ( $P \cdot V = 16$  и  $30 \text{ Н} \cdot \text{м/с}$ ) достаточно введения 5 вес. % флуоралита для получения минимального значения износа композиции (износ уменьшается в два раза по сравнению с исходным СВМПЭ). Этот факт подтверждает поверхность трения данных композитов, которая выглядит более гладкой нежели для ненаполненного СВМПЭ, таблица 7.

В наиболее жестких условиях испытаний ( $P = 140 \text{ Н}$  и  $V = 0,5 \text{ м/с}$ ) лишь добавление 20 вес. % флуоралита обеспечивают двукратное снижение износа; однако такое наполнение матрицы СВМПЭ значительно снижает механические свойства, таблица 5.

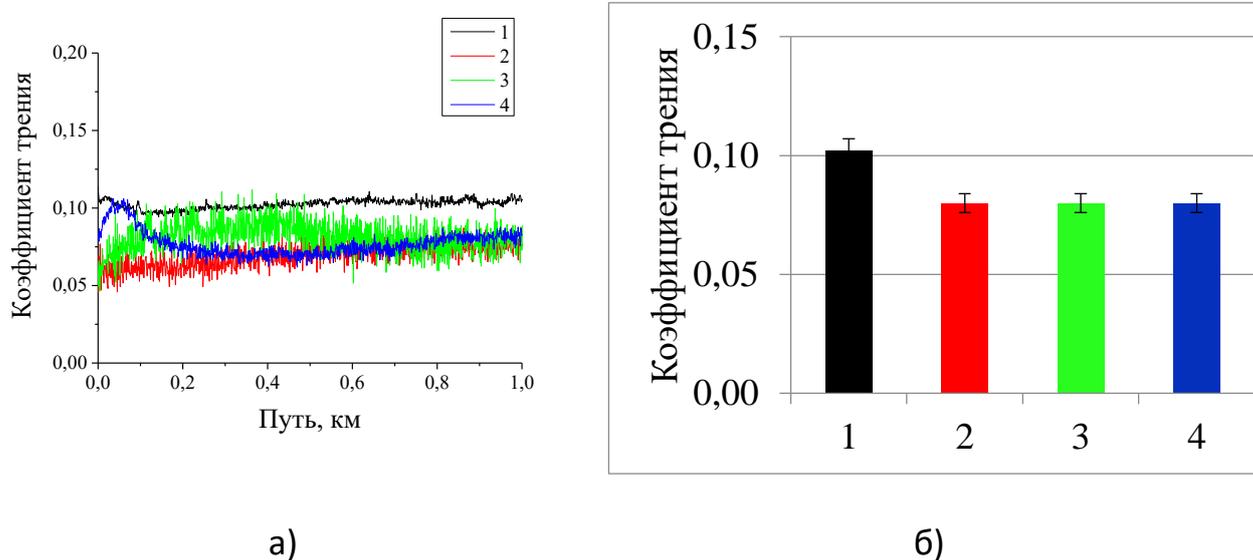
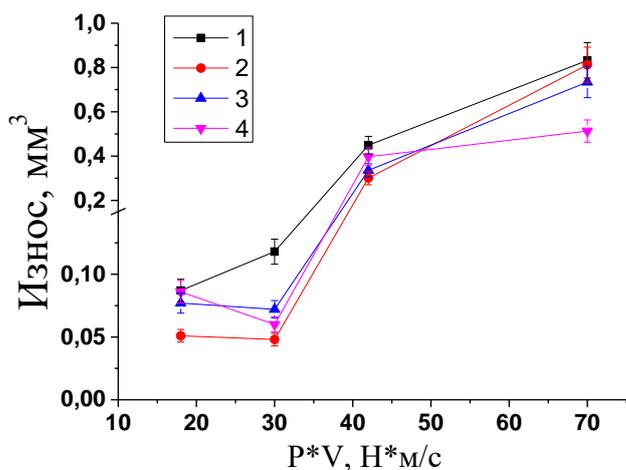


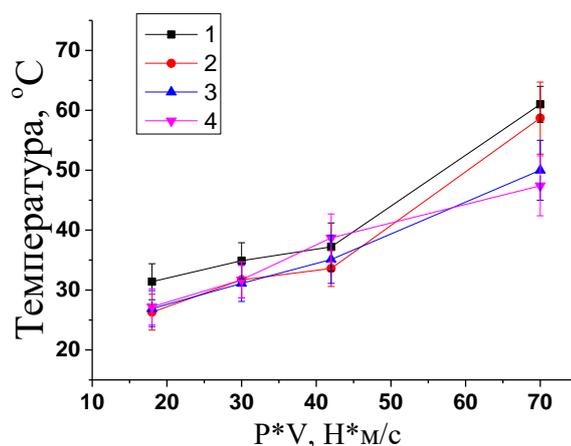
Рисунок 37 – Коэффициенты трения СВМПЭ (1) и композитов СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4 (2), СВМПЭ+ 10 вес. % Ф-4 (3), СВМПЭ+ 20 вес. % Ф-4 (4)

Из рисунка 37 видно, что введение флуоралита снижает коэффициент трения и минимальное его значение демонстрирует композиция СВМПЭ+5вес.%Ф-4.

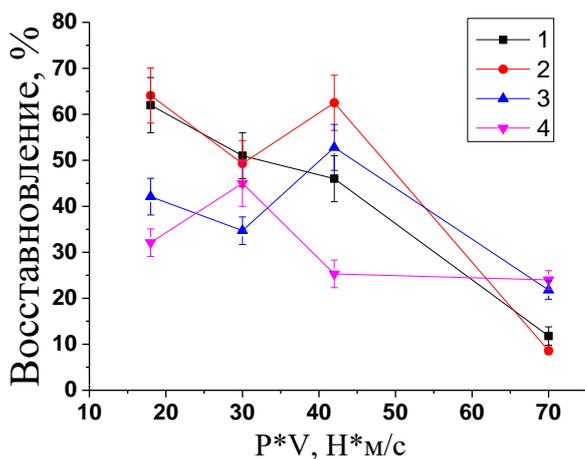
На рисунке 38 б) показано значения температуры контртела при изнашивании образцов исследуемых смесей. Иллюстрируемые значения коррелируются с данными по изнашиваю этих образцов.



а)



б)



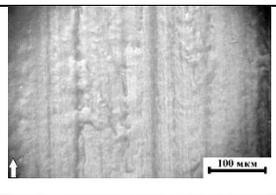
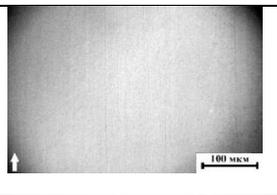
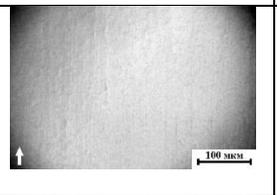
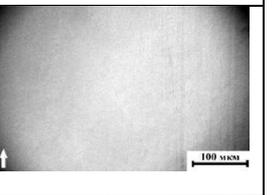
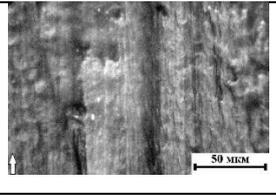
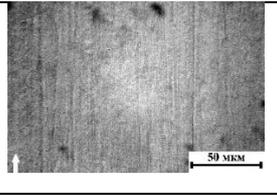
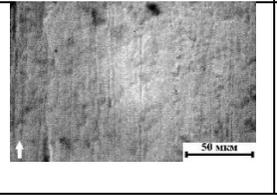
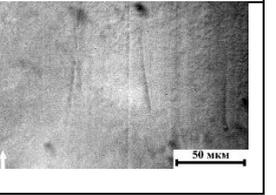
в)

Рисунок 38 – (а) Величина объемного износа (мм<sup>3</sup>), (б) значения температуры контртела (°С), (в) упругое восстановление (%) после трибоиспытаний в течении 1 часа: 1 –СВМПЭ, 2 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4, 3 –СВМПЭ+10 вес.% Ф-4, 4 –СВМПЭ+20 вес.% Ф-4;

На рисунке 38 (в) приведены значения упругого восстановления полимерных смесей в процентах. Следует отметить, что значения восстановления различаются из-за различных условий испытаний. Однако видно, что минимальное восстановление наблюдается при жестких условиях испытаний, там, где наиболее испорчена сферолитная структура.

Таблицы 6 и 7 иллюстрируют топографию поверхностей износа образцов продемонстрированных выше полимерных композитов при скорости скольжения 0,3 м/с и 0,5 м/с, соответственно, при различных нагрузках (60Н и 140Н). Поверхности изнашивания композитов на основе СВМПЭ с наполнителем флуоралитом выглядят значительно глаже и ровнее относительно ненаполненного СВМПЭ, что подтверждает ранее приведенные данные по объемному износу. Также стоит отметить, что при высокой нагрузке 140Н просматриваются «наплывы» и «царапины» в большем объеме, нежели, чем при нагрузке 60Н. Этот факт подтверждает зависимость износа от величины нагрузки.

Таблица 6 – Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 10 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 20 вес. % Ф-4 в условиях сухого трения скольжения, при скорости скольжения 0,3 м/с

	СВМПЭ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4	СВМПЭ+10 вес.% Ф-4	СВМПЭ+20 вес.% Ф-4
60Н* 0,3м/с X400				
60Н* 0,3м/с X1000				

140Н* 0,3м/с X400				
140Н* 0,3м/с X1000				

Таблица 7 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 10 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 20 вес. % Ф-4 в условиях сухого трения скольжения, при скорости скольжения 0,5 м/с

	СВМПЭ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4	СВМПЭ+10 вес.% Ф-4	СВМПЭ+20 вес.% Ф-4
60Н* 0,5м/с X400				
60Н* 0,5м/с X1000				
140Н* 0,5м/с X400				
140Н* 0,5м/с X1000				

### 3.2 Сравнение 5 вес.% Ф-4ПН<sub>20</sub> и 5 вес.% Ф-4 «Флуралит»

Снижение износа полимера за счет твердосмазочного наполнителя один из путей расширения номенклатуры антифрикционных материалов для трибоузлов в машиностроении и медицине. Ранее проведенные авторами исследования показали влияние твердосмазочного наполнителя политетрафторэтилена (ПТФЭ) на триботехнические характеристики СВМПЭ [16]. Для дальнейших исследований необходимо проанализировать вклад в износостойкость мелкодисперсного флуралита (Ф-4) относительно твердосмазочного наполнителя более крупной фракции Ф-4ПН<sub>20</sub>.

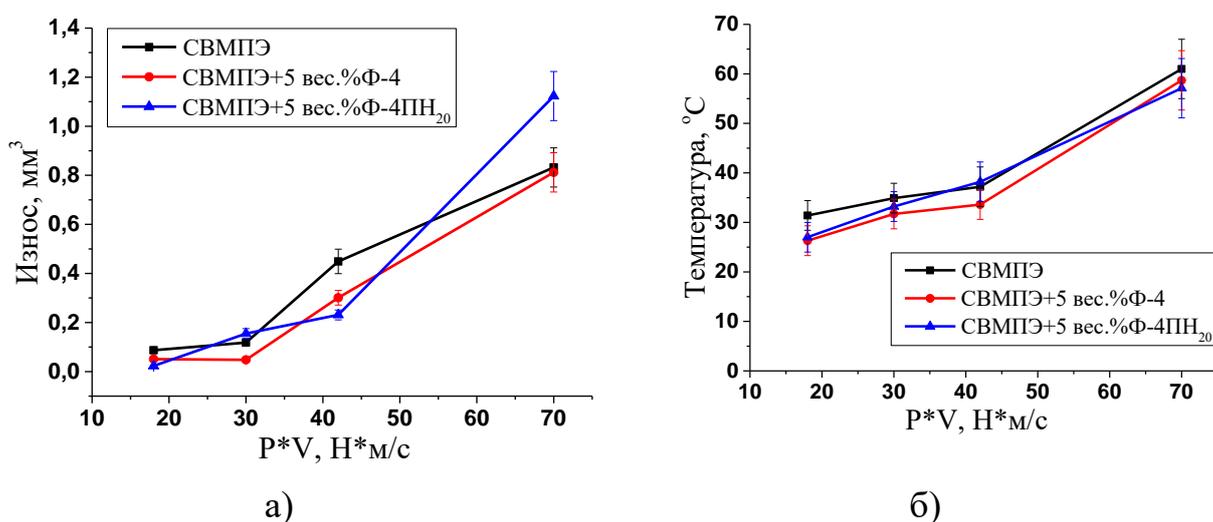
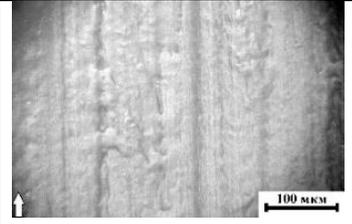
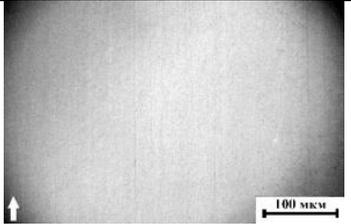
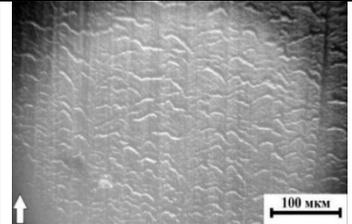
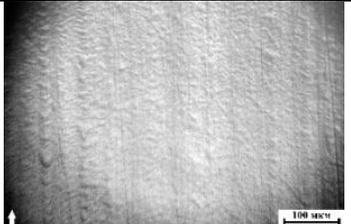


Рисунок 39 –Значение износа (а) и температуры (б): СВМПЭ и его композитов СВМПЭ +5 вес.% Ф-4, СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4ПН<sub>20</sub>

Исходя из полученных данных, рисунок 39, можно сделать вывод, что при умеренных скоростях и нагрузке (0,3 м/с и 60 Н) более эффективным оказывается фторопласт с размером порошка 14 мкм при наполнении СВМПЭ 5 вес.%. Износостойкость СВМПЭ возрастает более, чем вдвое. При жестких условиях (высокой скорости скольжения (0,5 м/с) более эффективным оказывается дисперсионный фторопласт марки «Флуралит», что подтверждается поверхностями изнашивания, таблица 8. Поверхности с мелкодисперсным фторопластом выглядят глаже и ровнее. Эти особенности поведения

порошкового фторопласта различных фракций в формировании пленки переноса на контртеле, определяющей износ композиций, связана с агломерацией дисперсионного порошка «Флуралит» [16].

Таблица 8 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4ПН<sub>20</sub>, в условиях сухого трения скольжения

	СВМПЭ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4	СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4ПН <sub>20</sub>
60Н* 0,3м/с X400			
140Н* 0,5м/с X400			

### 3.3 Сравнение СВМПЭ+5 вес.% Ф-4, СВМПЭ+5 вес.% Ф-4 +20 вес.%

$Al_2O_3$

С целью дальнейшего улучшения износостойкости используются неорганические частицы корунда ( $Al_2O_3$ ).

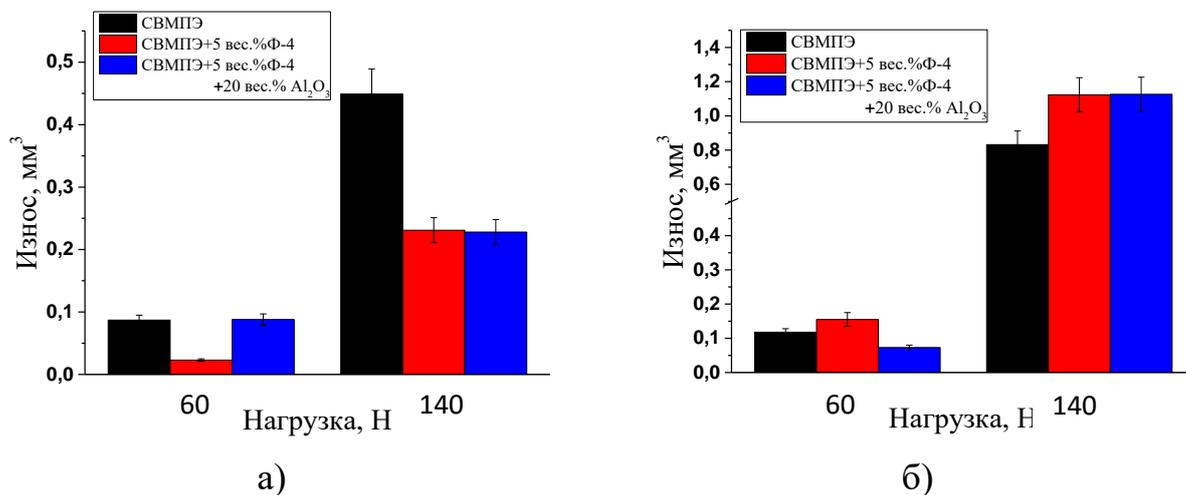
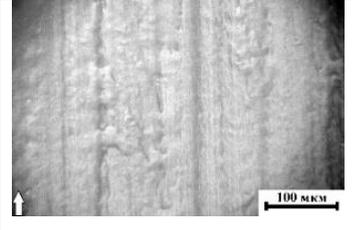
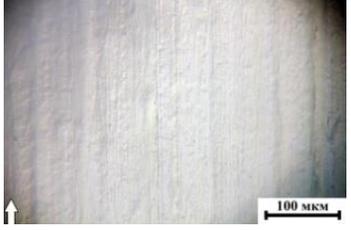
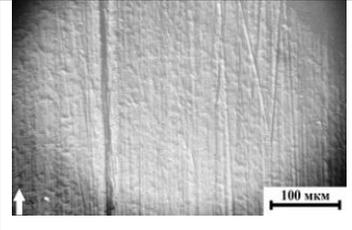
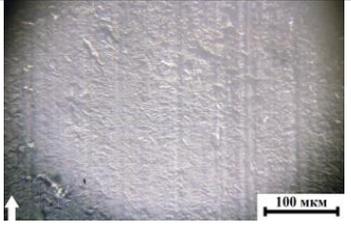


Рисунок 40– Значение износа при скорости скольжения 0,3 м/с (а) и 0,5 м/с (б): СВМПЭ и его композитов СВМПЭ +5 вес.% Ф-4, СВМПЭ+5 вес.% Ф-4 +20 вес.%  $Al_2O_3$  (4)

Исходя из проведенных испытаний на триботехнические свойства можно сказать, что введение мелкодисперсного наполнителя ПТФЭ (Ф-4) эффективнее с точки зрения износостойкости при малых скоростях скольжения. При высокой нагрузке и скорости введение корунда незначительно влияет на износостойкость композита.

В таблице 9 приведены фотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов. На поверхности композита СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4+20 вес.%  $Al_2O_3$  при режиме 60Н\*0,3 м/с наблюдаются неровности, складки, что объясняет больший износ.

Таблица 9 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4+20 вес.%  $Al_2O_3$  в условиях сухого трения скольжения

	СВМПЭ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4	СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4+20 вес.% $Al_2O_3$
60Н* 0,3м/с Х400			
140Н* 0,3м/с Х400			

### **3.4 Композиты на основе СВМПЭ, наполненные 5% короткими углеродными волокнами (УВ), 10 % УВ, 20 % УВ +5 % Ф-4 (Флуралит)**

#### **3.4.1 Механические свойства, структура**

Введением мелкодисперсного политетрафторэтилена (флуралита) удалость повысить износостойкость и коэффициент трения СВМПЭ, за счет эффекта самосмазывания. Однако это отрицательно сказалось на механических характеристиках, снизив их, таблица 5.

По этой причине необходимо обратить внимание на трехкомпонентные смеси, подобрав нужный компонент, позволяющий достичь необходимый уровень модуля упругости, прочности и износостойкости композитов на основе СВМПЭ. Поэтому изготовлены образцы композитов с короткими углеродными волокнами, играющие армирующую роль, и флуралитом, который повысит износостойкость.

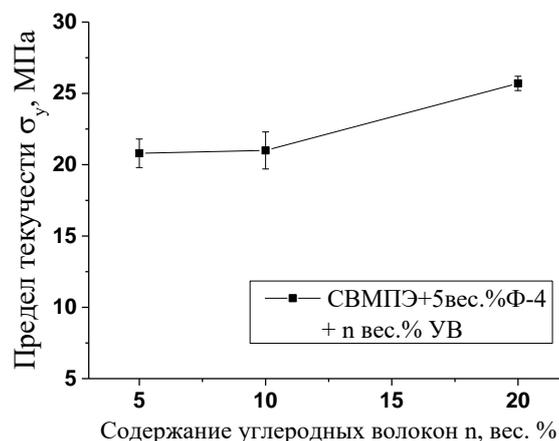
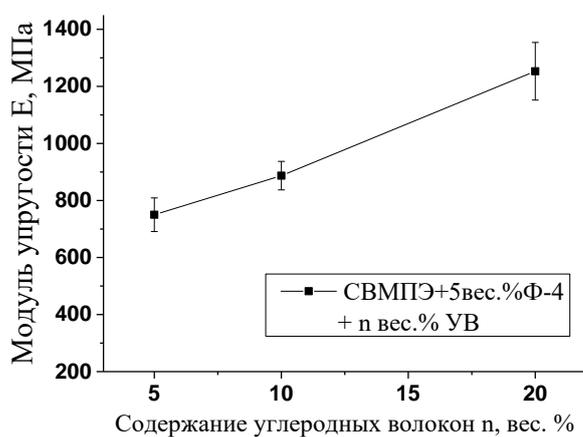
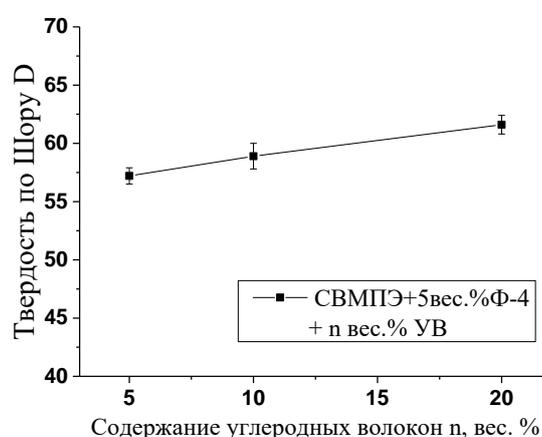
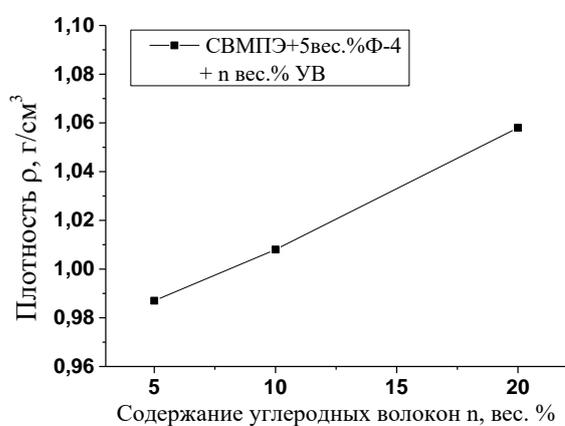
В предыдущем этапе исследования выбрано оптимальное содержание флуралита в СВМПЭ 5 вес.%. Углеродные микроволокна взяты в следующем объеме: 5, 10, 20 вес. %.

В таблице 10 и рисунке 41 приведены механические свойства трехкомпонентных композитов на основе СВМПЭ с различным содержанием УВ. Из таблицы 10 и рисунке 41 следует, что по мере увеличения содержания волокон возрастают прочностные характеристики композитов (плотность, твердость, модуль упругости, предел текучести). Пластичность и прочность остаются высокими при наполнении 5 вес.% УВ и 10 вес.% УВ, далее снижаются. По результатам исследования механических характеристик оптимальным содержанием коротких углеродных волокон в смеси СВМПЭ + 5 вес.% Ф-4 +n вес.%УВ можно определить 10 вес.%. В подтверждении этого факта следует обратиться РЭМ – фотографиям надмолекулярной структуры, рисунок 42.

Таблица 10 – Механические характеристики СВМПЭ

и композитов «СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4 + n вес. % УВ»

Содержание наполнителя, вес. %	Плотность, $\rho$ г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору D	Модуль упругости E, МПа	Предел текучести $\sigma_y$ , МПа	Предел прочности $\sigma_m$ , МПа	Отн. удлинение $\varepsilon$ , %
5 % Ф-4 + 5 % УВ	0,987	57,2±0,7	750±59	20,8±1	35±4	405±26
5 % Ф-4 + 10 % УВ	1,008	58,9±1,1	887±50	21±2,3	34±3	403±30
5 % Ф-4 + 20 % УВ	1,058	61,6±0,8	1253±101	25,7±0,5	27,5±0,9	287±23



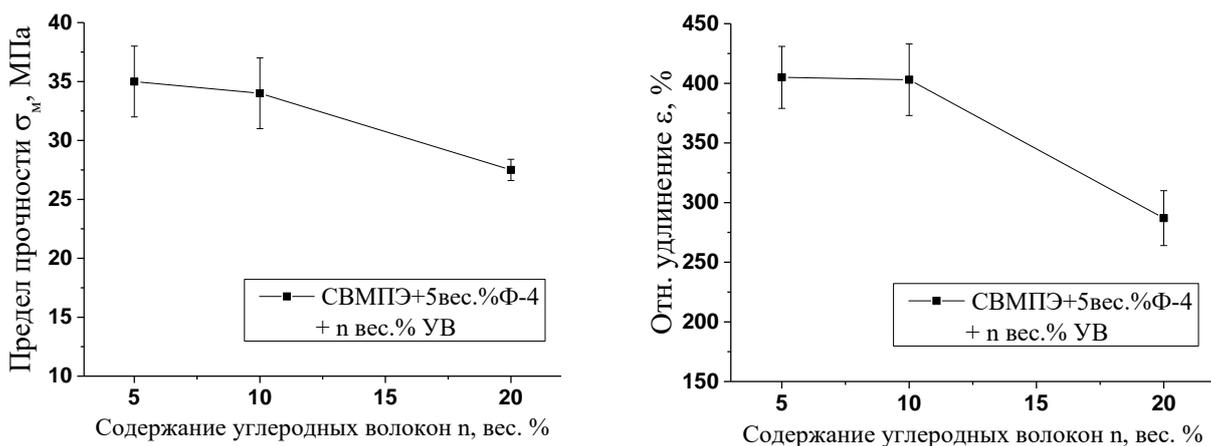


Рисунок 41 – Диаграммы физико-механических характеристик СВМПЭ и композиций на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Φ-4+5 вес.% УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Φ-4+ 10 вес.% УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Φ-4+ 20 вес.% УВ

Рисунок 42 (с) демонстрирует надмолекулярную структуру трехкомпонентного композита «СВМПЭ+5 вес. % флуоралита+10 вес. % УВ»: сферолитная структура композита сохраняется, флуоралит и углеродное волокно достаточно равномерно распределены по объему образца. Следует отметить факт снижения характерного размера сферолитов при одновременном введении обоих наполнителей. При дальнейшем наполнении композиции углеродным волокном надмолекулярная структура перестает носить сферолитный характер, представляя скорее механическую смесь компонентов. Согласно данным РЭМ адгезия между углеволокном и матрицей отсутствует.

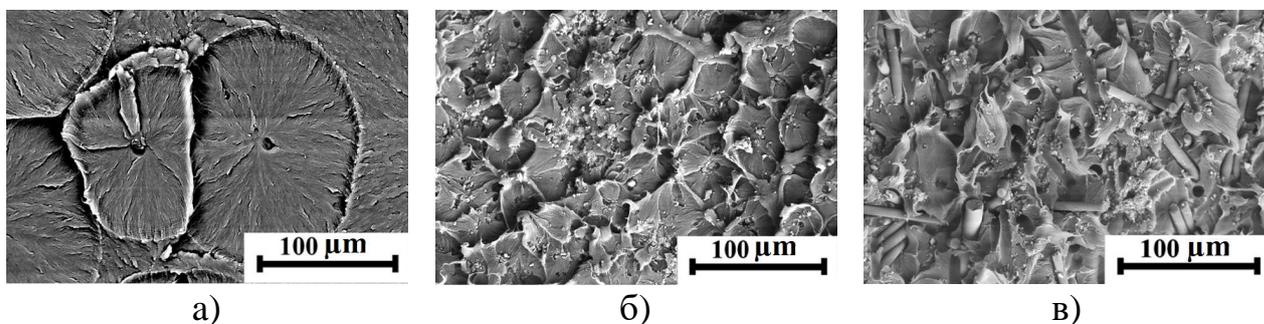
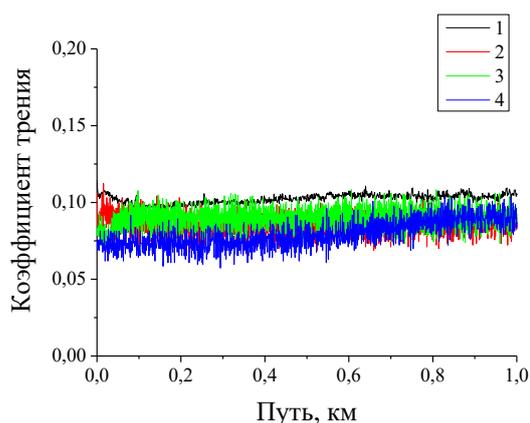


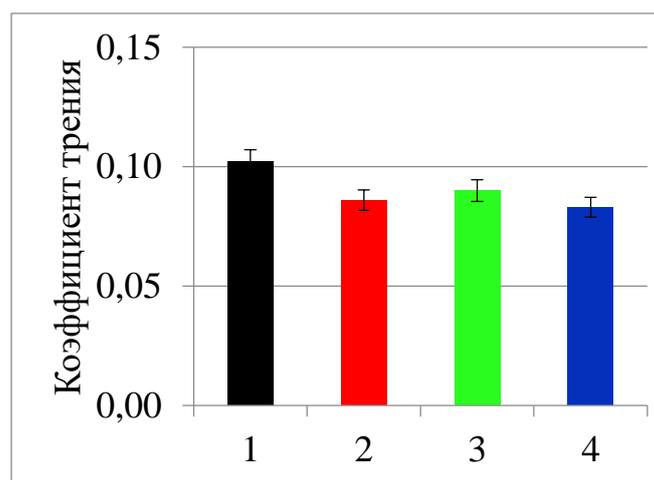
Рисунок 42 – РЭМ-фотографии надмолекулярной структуры СВМПЭ (а) и композитов «СВМПЭ + 5 вес. % Φ-4» (б), «СВМПЭ + 5 вес. % Φ-4 + 10 вес. % УВ» (в)

### 3.4.2 Триботехнические характеристики, упругое восстановление

На рисунке 44 приведены результаты триботехнических испытаний композитов «СВМПЭ+5 вес. % Ф-4+n вес. % УВ» в различных условиях трибонагружения (60 Н×0,3 м/с, 60 Н×0,5 м/с, 140 Н×0,3 м/с, 140Н×0,5 м/с). Из рисунка 44 следует, что при умеренной нагрузке 60Н и скоростях скольжения 0,3 и 0,5 м/с трехкомпонентные смеси с 5,10 и 20вес. % углеволокна показывают интенсивность изнашивания близкую к таковой для двухкомпонентной смеси «СВМПЭ+5 вес. % Ф-4». Это подтверждает положительную роль флуоралита как твердой смазки в трехкомпонентной композиции. В наиболее жестких условиях трибоиспытаний (P=140 Н и V=0,5 м/с) интенсивность износа возрастает. Причиной этого может быть неспособность флуоралита обеспечить формирование и длительное сохранение постоянной равномерной пленки переноса на контртеле [5, 16]. Подтверждением «жесткости» условий трибоиспытаний является температура на поверхности контртела, измеренная сразу после окончания испытаний. Видно, что при соотношении P\*V=70 Н\*м/с температура значительно повышается, рисунок 44 б.



а)



б)

Рисунок 43 – Коэффициенты трения СВМПЭ (1) и композитов СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4+ 5 вес. % УВ (2), СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ (3), СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4 + 20 вес. % УВ (4)

Из рисунка 43 видно, что введение коэффициент трения смесей ниже относительно незаполненного СВМПЭ и значение коэффициента трения незначительно меняется при варьировании вес.% содержания углеродных волокон.

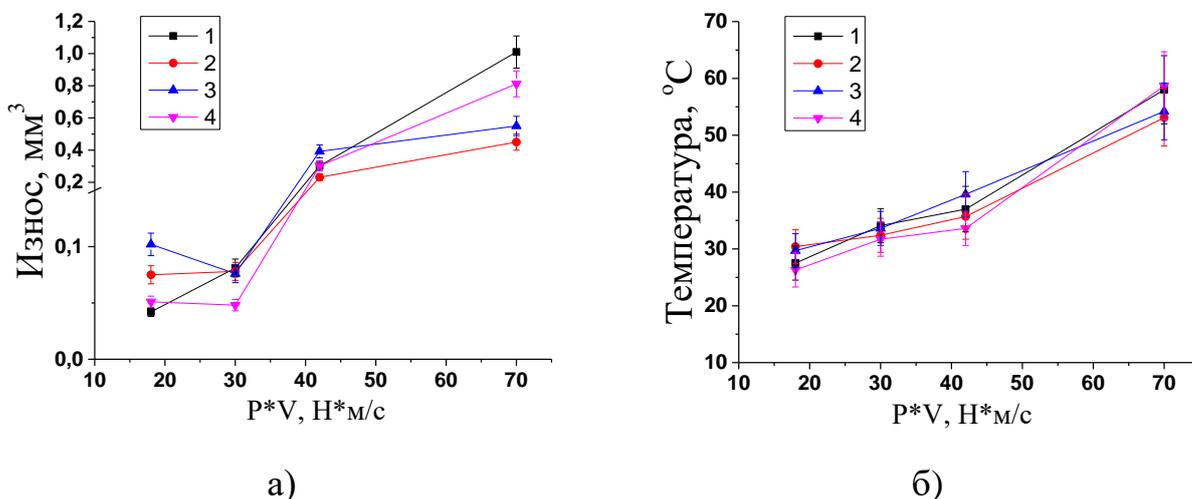


Рисунок 44 – (а) Величина объемного износа (мм<sup>3</sup>), (б) значения температуры контртела (°C) после трибоиспытаний в течении 1 часа: 1 – СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+5 вес.% УВ, 2 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+10 вес.%УВ, 3 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+20 вес.% УВ, 4 – СВМПЭ+5 вес.% Ф-4;

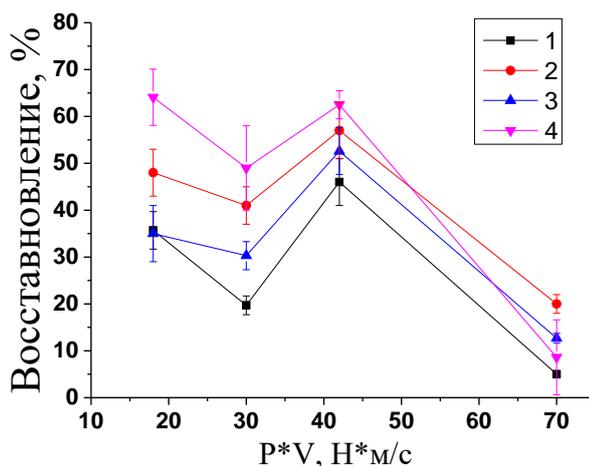
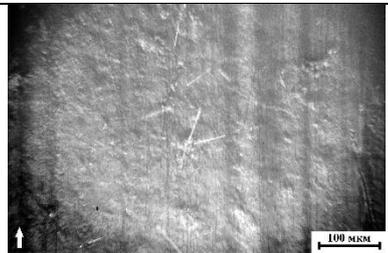
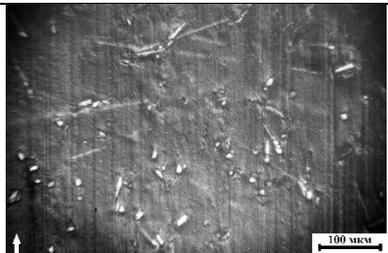
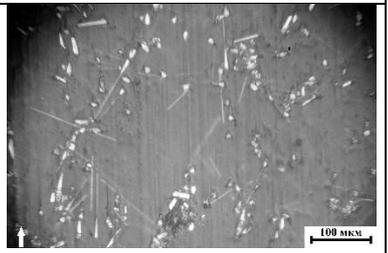


Рисунок 45 – Упругое восстановление (%) после трибоиспытаний в течении 1 часа: 1 – СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+5 вес.% УВ, 2 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+10 вес.%УВ, 3 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+20 вес.% УВ, 4 –СВМПЭ+5 вес.% Ф-4;

На рисунке 45 приведено упругое восстановление трехкомпонентных смесей и композита с 5 вес.% Ф-4. Из рисунка 45 видно, что восстановление трехкомпонентных смесей снижается с введением углеродных волокон в связи с нарушенной структурой (преграды на пути роста сферолитов в виде волокон и частиц). Однако жесткие условия испытания воздействуют на структуру двухкомпонентной смеси сильнее, снижая величину упругого восстановления. В этой ситуации углеродные волокна оказывают положительное влияние, поддерживая (армируя) матрицу.

В таблицах 11 и 12 представлена топография поверхностей износа образцов трехкомпонентных полимерных смесей на основе СВМПЭ при скоростях скольжения 0,3 м/с и 0,5 м/с соответственно, при различных нагрузках (60 Н и 140 Н). Фотографии поверхностей говорят о сложном механизме изнашивания, связанном с разной природой, размерами и формой наполнителя. На поверхностях образцов с меньшим количеством углеродных волокон (5 вес.% КУВ и 10 вес.% УВ) наблюдается складчатость при жестких условиях испытаний (140Н×0,3 м/с, 140Н×0,5 м/с).

Таблица 11 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+5 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+20 вес. % УВ в условиях сухого трения скольжения, при скорости скольжения 0,3 м/с

	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+ 5 вес.% УВ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4 +10вес.% УВ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+20 вес.% УВ
60Н* 0,3м/ с X400			

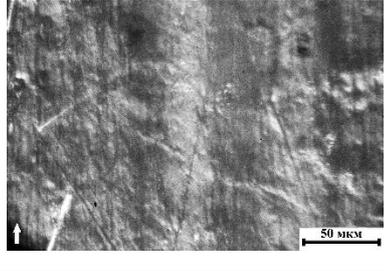
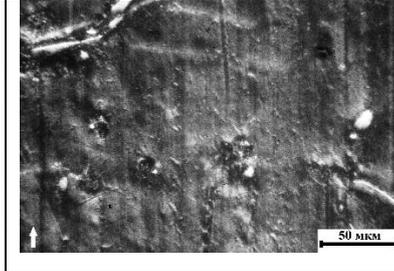
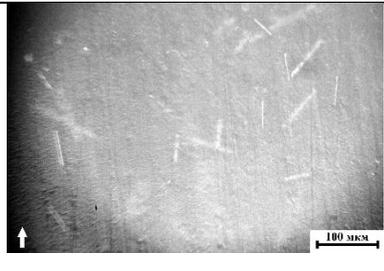
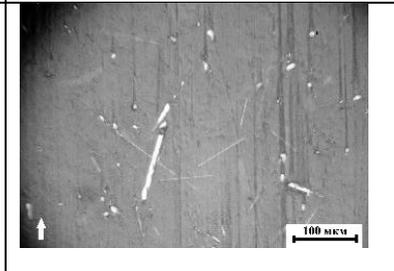
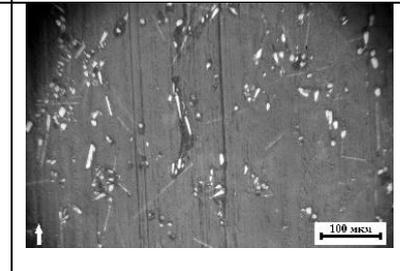
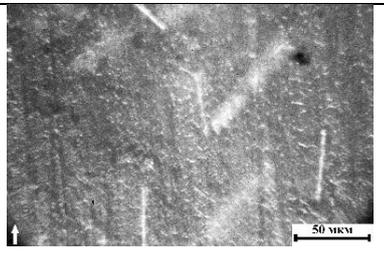
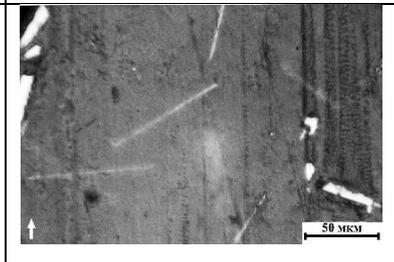
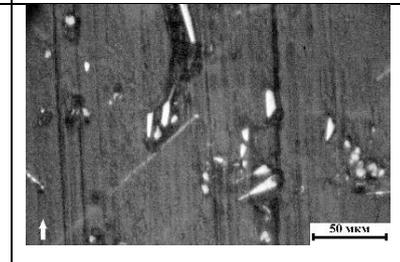
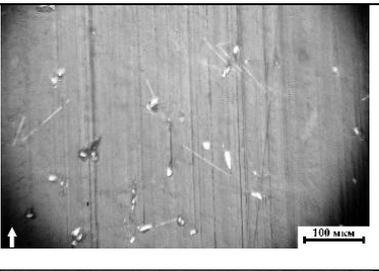
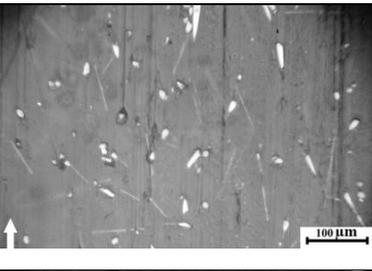
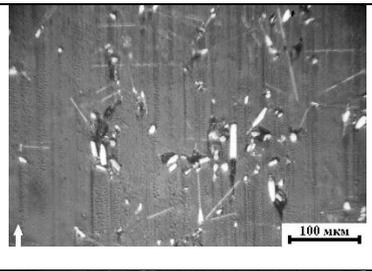
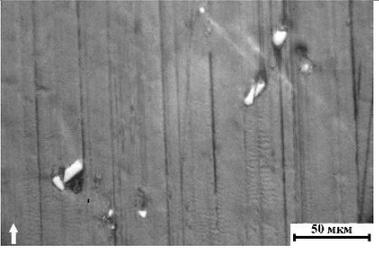
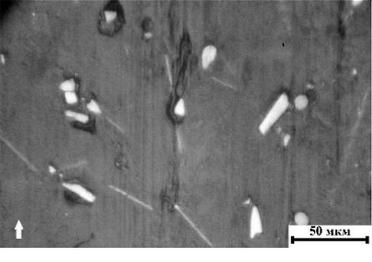
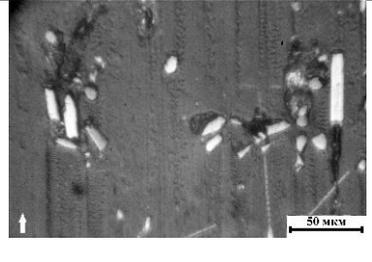
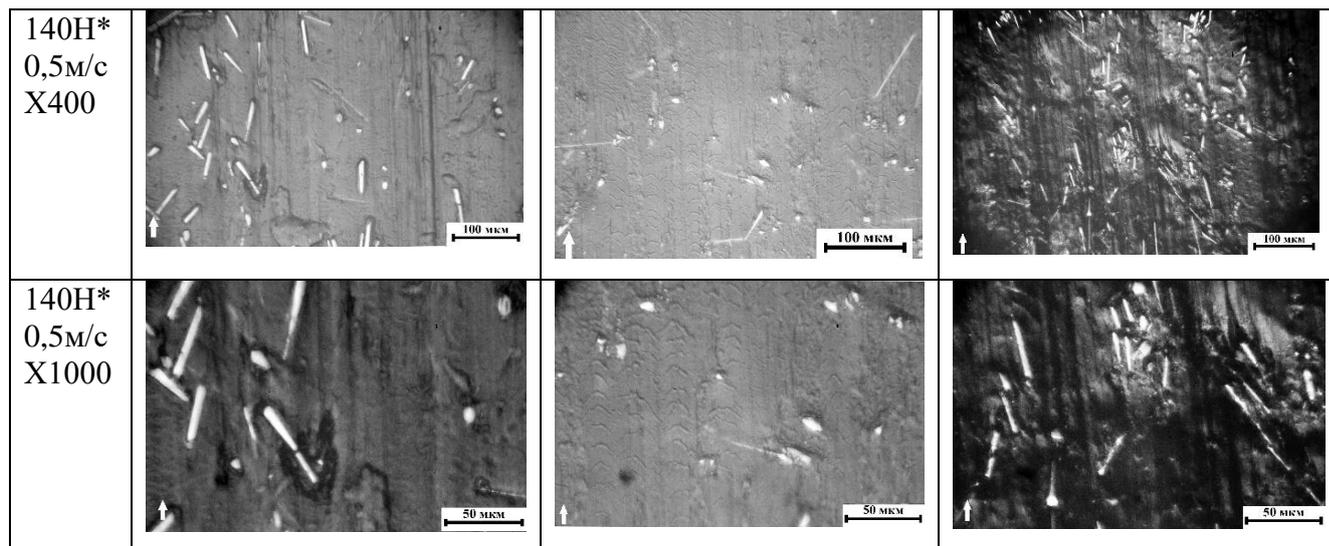
<p>60H* 0,3м/с X100 0</p>			
<p>140H* 0,3м/с X400</p>			
<p>140H* 0,3м/с X100 0</p>			

Таблица 12 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов на его основе СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+5 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+20 вес. % УВ в условиях сухого трения скольжения, при скорости скольжения 0,5 м/с

	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+ 5 вес.% УВ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4 +10вес.% УВ	СВМПЭ+5 вес.% Ф-4+20 вес.% УВ
<p>60H* 0,5м/с X400</p>			
<p>60H* 0,5м/с X1000</p>			



Для того чтобы оценить вклад коротких углеродных волокон в трехкомпонентные смеси на основе СВМПЭ необходимо рассмотреть полученные данные в совокупности, рисунок 46. На рисунке 46 представлены оптические фотографии поверхностей износа СВМПЭ и его композитов при нагрузке 60 Н и скорости скольжения 0,5 м/с.

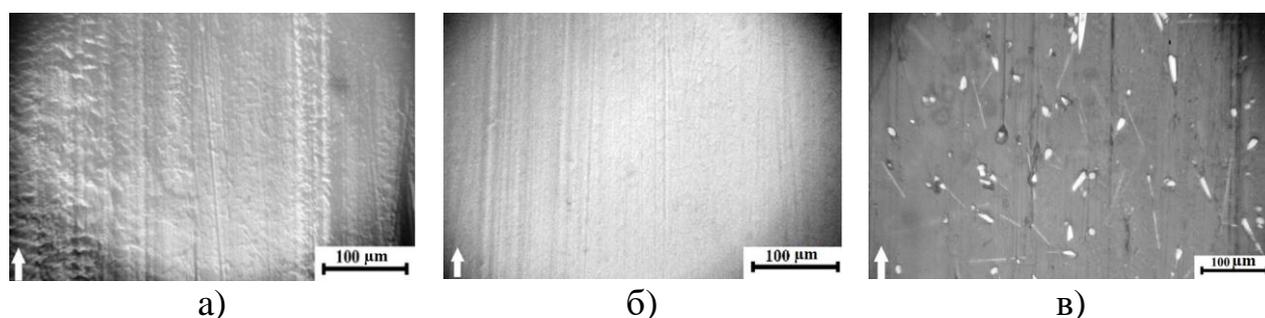


Рисунок 46 – Оптические фотографии поверхностей износа СВМПЭ (а) и композитов «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4» (б), «СВМПЭ + 5 вес.% Ф-4 + 10 вес. % УВ» (в) при нагрузке 60 Н и скорости скольжения 0,5 м/с.

Из рисунка 46 следует, что при наполнении композита УВ в количестве до 10 вес.% и мелкодисперсным флуоралитов в содержании до 5вес.% обеспечивается формирование равномерной (однородной) пленки переноса на контртеле. В результате поверхность трения является гладкой, чем заметно отличается от ненаполненного СВМПЭ. Кроме того, короткие углеродные

волокна не только способствуют повышению прочностных характеристик трехкомпонентного композита, но принимают на себя действие сжимающей (Р) и сдвигающей (V) нагрузки от контртела, «предохраняя» поверхность трибосопряжения от интенсивного изнашивания.

При высокой степени наполнения короткими углеродными волокнами (в количестве 20 вес. %) механические характеристики трехкомпонентного композита возрастают, таблица 10, однако износостойкость снижается. Возможно этот факт связан с переносом вида изнашивания на абразивное, так как фрагменты твердых углеродных волокон, отделяющиеся из зоны трибоконтакта, начинают играть роль абразива. Это в том числе, способствует удалению пленки переноса политетрафторэтилена с поверхности контртела. В пользу этого свидетельствует и изменение коэффициента трения, рисунок 43. Это также согласуется с фактом постепенного повышения коэффициента трения с увеличением содержания углеволокна. Дополнительным подтверждением этого предположения является постепенное повышение температуры на поверхности контртела, измерявшееся сразу после окончания трибоиспытаний, рисунок 44 б.

### 3.5 Композиты на основе СВМПЭ, наполненные 10 % УВ + 5 % Ф-4 (Флуралит) + 10% HDPE –g– SMA

#### 3.5.1 Механические свойства, структура

Приведенные выше результаты по исследованию свойств трехкомпонентных смесей показали, повышение механических свойств композитов за счет армирования короткими углеродными волокнами и хорошую износостойкость за счет твердосмазочного мелкодисперсного политетрафторэтилена (флуралита). Однако по результатам РЭМ адгезия между матрицей и наполнителями отсутствует. Предполагая увеличение механических и триботехнических характеристик за счет адгезии была модифицирована матрица за счет введения привитого малеиновым ангидридом полиэтилена высокой плотности (компатибилизатора) «СВМПЭ+10%HDPE-g-SMA [29].»

Далее исследован многокомпонентный композит СВМПЭ+ 5 вес.% Ф-4 + 10 вес.% КУВ + 10 % HDPE -g- SMA. В таблице 13 и на рисунке 47 приведены результаты испытаний на механические характеристики.

Таблица 13 – Механические характеристики СВМПЭ и композитов «СВМПЭ+ n вес. % Ф-4», «СВМПЭ+ n вес. % УВ», «СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4+n вес. %УВ», «СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4+10 вес. %УВ+ 10 вес. % HDPE-g- SMA»

Содержание наполнителя, вес. %	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору D	Модуль упругости E, МПа	Предел текучести $\sigma_y$ , МПа	Предел прочности $\sigma_m$ , МПа	Отн. удлинение $\epsilon$ , %
0	0.928	57.5±0.1	711±40	22.1±0.4	42.9±3.1	482±28
5 % Ф-4	0.954	54.2±0.3	474±22	20.3±0.2	33.9±2	422±41
10 % УВ	0.969	59.7±0.4	974±59	24±0.1	35.7±2.1	397±37
5 % Ф-4 +10 % УВ	1.008	58.9±1.1	887±50	21±2.3	34±3	403±30
5 % Ф-4 +10 % УВ +10%HDPE-g-SMA	1,011	60.3±0,6	698±54	23.9±0.3	29.2±0.6	360±16

Из таблицы следует, что механические характеристики многокомпонентной смеси снижаются. Предел текучести и плотность

многокомпонентной смеси с компатибилизатором увеличивается до уровня двухкомпонентного композита с углеродными волокнами. Значения модуля упругости композита с компатибилизатором поднялось до уровня чистого СВМПЭ относительно двухкомпонентной смеси с флуоралитом, однако оказалось ниже показателей других композитов. Снижение свойств обусловлено достаточно большим наполнением, что непременно нарушает матрицу.

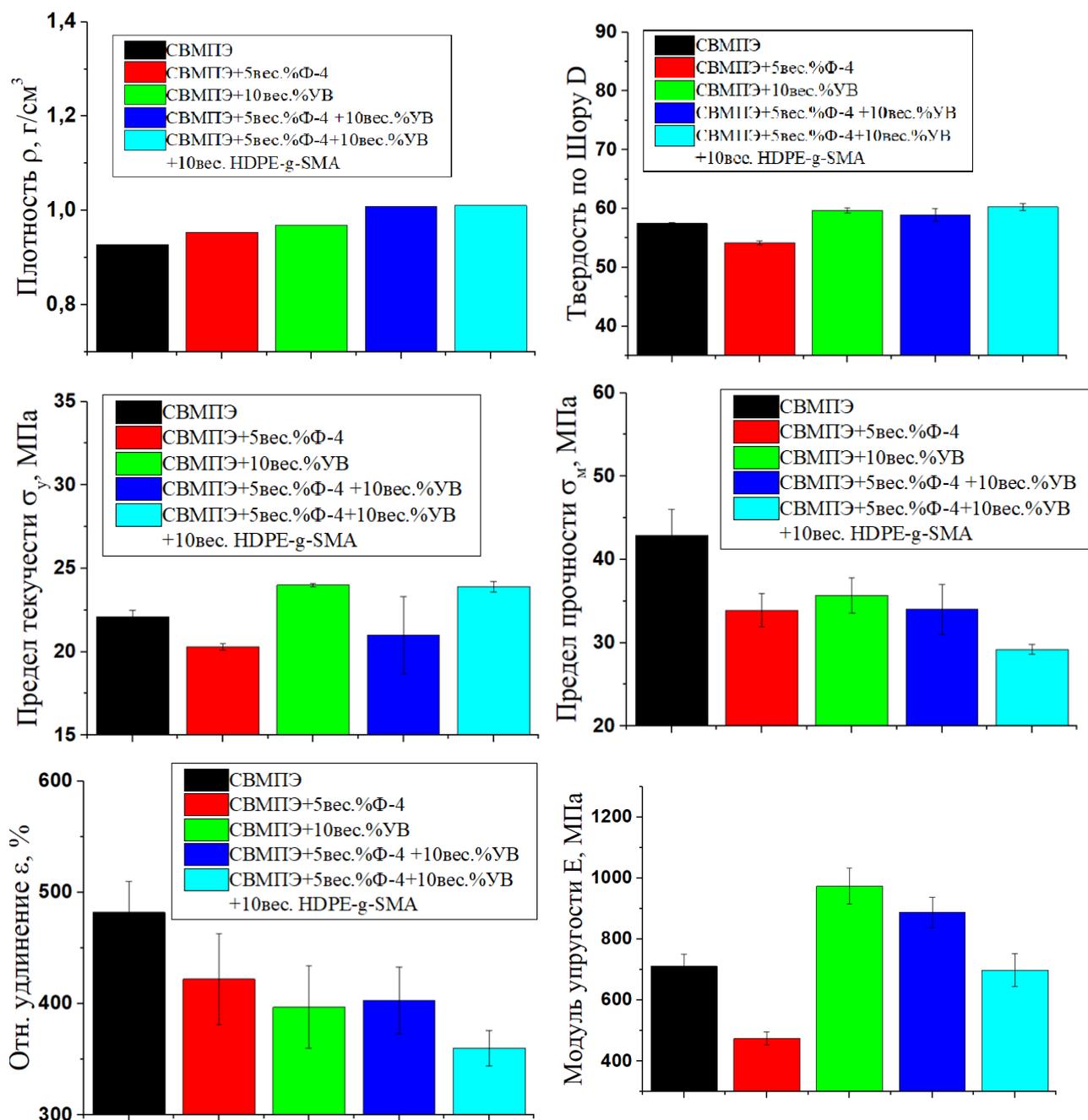


Рисунок 47 – Диаграммы физико-механических характеристик СВМПЭ и композиций на его основе

Рисунок иллюстрирует надмолекулярную структуру трехкомпонентных композитов «СВМПЭ+5 вес. % флуоралита+10 вес. % УВ» и (компатибилизированной матрицы) «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ +10% HDPE-g-SMA»: сферолитная структура композита сохраняется, флуоралит и углеродное волокно достаточно равномерно распределены по объему образца. Для сравнения на рисунке 48 приведена надмолекулярная структура двухкомпонентного композита «СВМПЭ + 10 вес. % УВ», которая указывает на подобие надмолекулярных структур двух- и трехкомпонентного композитов. По данным РЭМ адгезия между наполнителями и матрицей отсутствует.

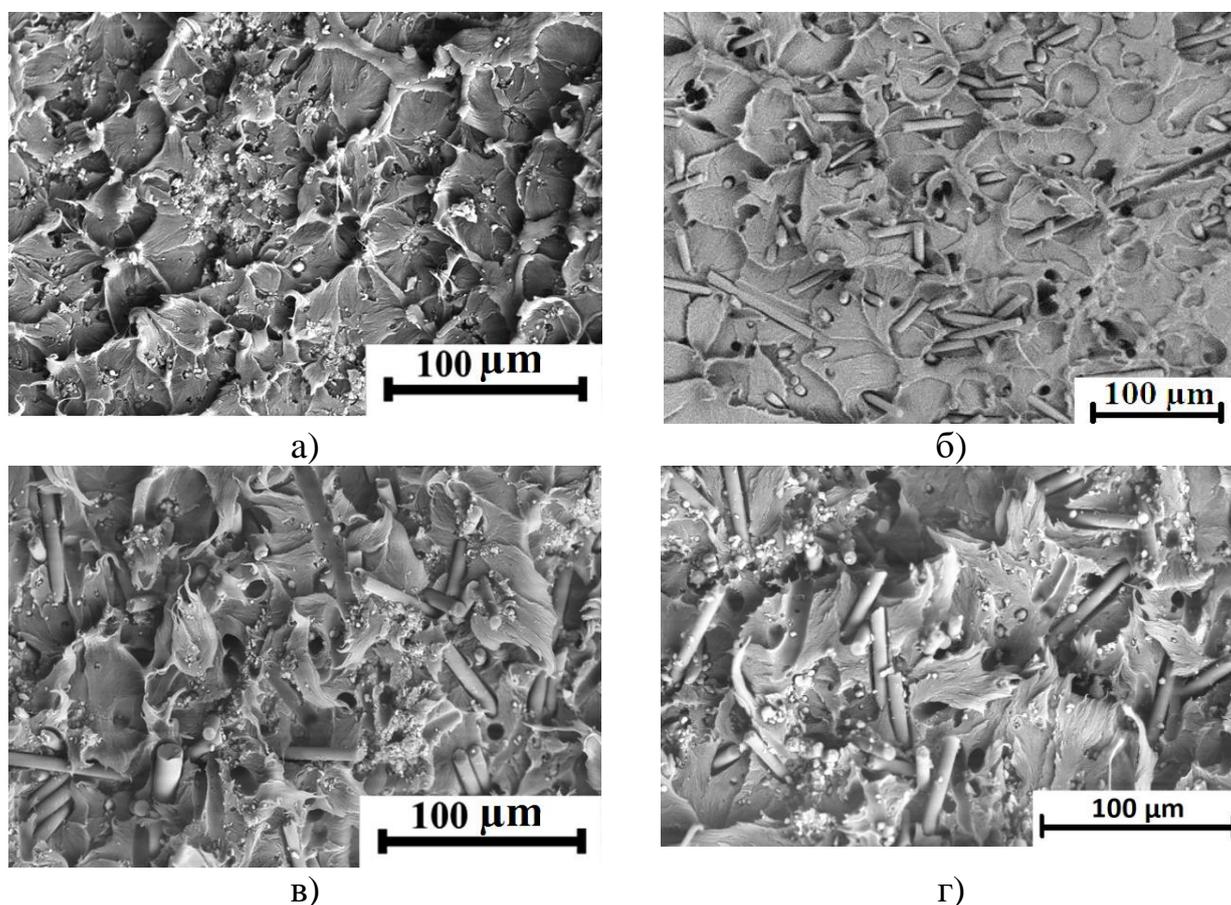


Рисунок 48 – РЭМ-фотографии надмолекулярной структуры и композитов «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4» (а), «СВМПЭ + 10 вес. % УВ» (б), «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ» (в), «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ+10 вес. % HDPE-g-SMA» (г)

### 3.5.2 Триботехнические характеристики, упругое восстановление

В таблице 14 приведены результаты триботехнических испытаний СВМПЭ и многокомпонентных смесей в различных условиях трибонагружения (60 Н×0,3 м/с, 60 Н×0,5 м/с, 140 Н×0,3 м/с, 140 Н×0,5 м/с). При режиме изнашивания 60 Н×0,5 м/с композит СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ+10 вес. % HDPE-g-SMA показал снижение величины износа. При умеренной скорости (0,3 м/с) при любой нагрузке (140 Н и 60 Н), как и при режиме 140 Н×0,5 м/с смесь с компатибилизатором оказалась близка по значениям объемного износа с композитом СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ.

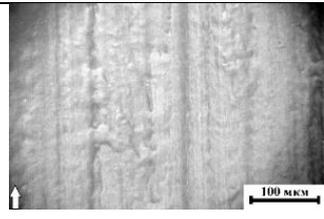
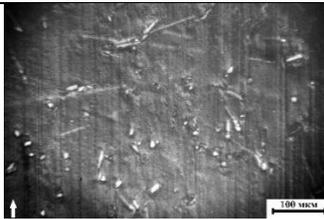
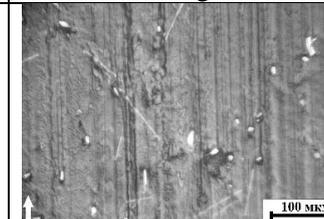
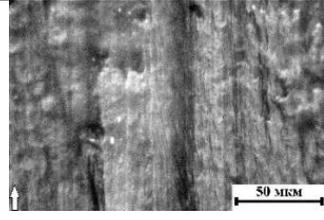
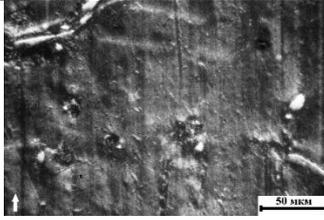
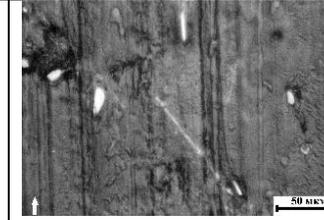
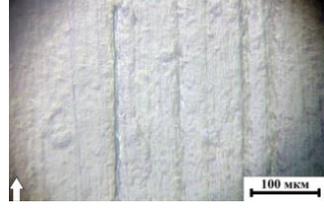
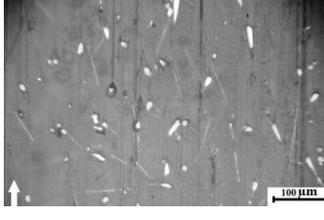
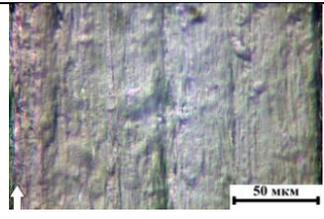
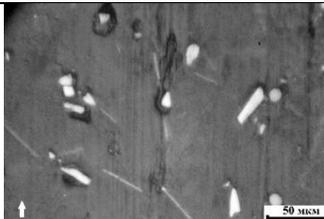
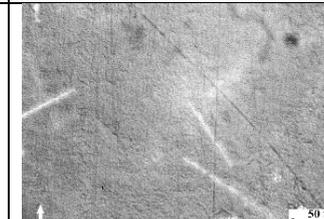
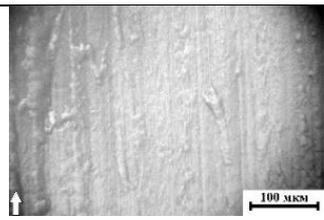
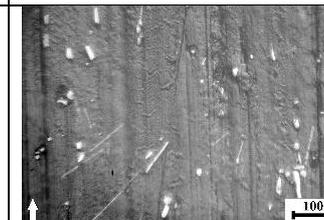
Таблица 14 – Результаты испытаний образцов на триботехнические характеристики СВМПЭ и композитов «СВМПЭ+ 5 вес. % Ф-4, СВМПЭ + 10 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ+10 вес. % HDPE-g-SMA»

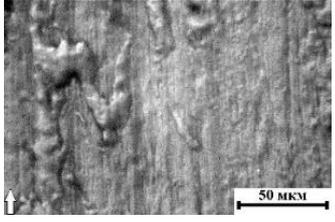
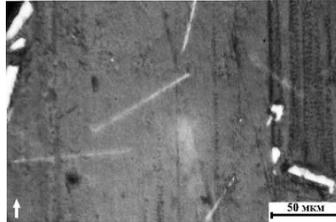
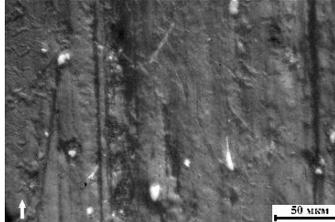
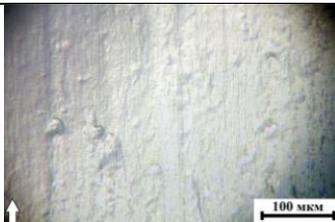
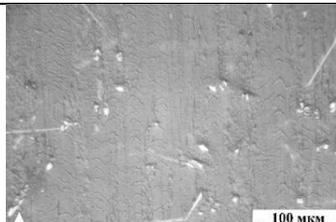
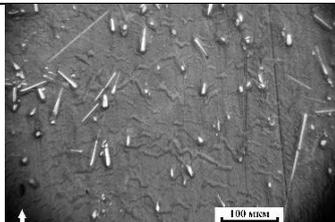
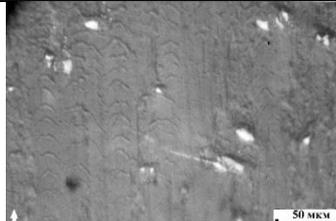
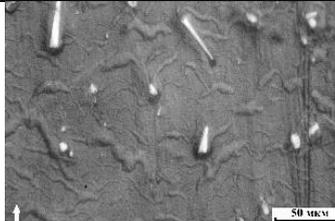
Содержание наполнителей, п вес. %	Режим испытания								Коэффициент трения, <i>f</i>
	60Н · 0,3м/с		140Н · 0,3м/с		60Н · 0,5м/с		140Н · 0,5м/с		
	Износ, мм <sup>3</sup>	Т, °С							
0	0,087	31,4	0,449	37,2	0,118	34,9	0,832	61	0,102
5 % Ф-4	0,051	26,3	0,301	33,6	0,048	31,7	0,812	58,7	0,077
10 % УВ	0,049	28,6	0,360	40,1	0,071	33,6	0,492	28,6	0,134
5 % Ф-4 + 10 % УВ	0,075	30,4	0,231	35,7	0,078	32,4	0,450	53,1	0,086
5 % Ф-4 + 10 % УВ +10%HDPE-g-SMA	0,072	27,1	0,270	35,4	0,057	30,8	0,430	54,8	0,096

В таблице 15 приведены оптические фотографии, характеризующие морфологию поверхностей изнашивания для композита с модифицированной за счет введения привитого полиэтилена высокой плотности матрицей «СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+10 вес. % КУВ +10 % HDPE-g-SMA» [29]. Целью добавления привитого полимера являлось обеспечение совместимости компонентов смеси (компатибилизация). Следует отметить, что топографии поверхностей СВМПЭ

+ 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ и СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ+10 вес. % HDPE-g-SMA похожи, наблюдаются «бороздки», «царапины», а также «наплывы» в более жестких условиях испытаний (140 Н×0,5 м/с).

Таблица 15 –Микрофотографии поверхностей изнашивания СВМПЭ и композитов СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ, СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4+ 10 вес. % УВ+10 вес. % HDPE-g-SMA в условиях сухого трения скольжения

	СВМПЭ	СВМПЭ + 5 вес. % Ф-4 + 10 вес. % УВ	СВМПЭ+5вес.%Ф4 +10вес.%УВ+10вес.% HDPE-g-SMA
60Н* 0,3м/с X400			
60Н* 0,3м/с X1000			
60Н* 0,5м/с X400			
60Н* 0,5м/с X1000			
140Н* 0,3м/с X400			

<p>140H* 0,3м/с X1000</p>			
<p>140H* 0,5м/с X400</p>			
<p>140H* 0,5м/с X1000</p>			

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМ6А	Валентюкевич Наталья Николаевна

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедение</b>
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
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	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. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Петухов О.Н.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6А	Валентюкевич Наталья Николаевна		

#### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В таблице 16 демонстрирует всех потребителей, различных видов, результатов данной работы.

Таблица 16 – 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

Так как исследование принадлежит к фундаментальным исследованиям, основными потребителями будут государство и общество. Однако при продолжении исследования могут быть привлечены все остальные возможные потребители результатов.

## 4.2 Разработка устава НИР

### 4.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 17 приведены заинтересованные в данном исследовании (проекте) стороны.

Таблица 17 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)	Выполнение условий договора по НИР, получение отчета по НИР
ИФПМ СО РАН	Отчисления в бюджет организации из средств РФФ. 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 18 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Исследование механических и триботехнических свойств композитов на основе двух и трех компонентных смесей СВМПЭ, фторопласта и неорганических частиц и волокон в срок с сентября 2016 г по июнь 2018 г. Защитить магистерскую диссертацию в ТПУ с 13.06 по 15.06.2018 г.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Магистерская диссертация
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах. Участие в конференциях.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Успешная защита магистерской диссертации в ТПУ

В данном проекте указаны два заказчика: Российский фонд фундаментальных исследований и Томский политехнический университет.

#### 4.2.2 Организационная структура проекта

Таблица 19– Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудовые затраты, час.</b>
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	Валентюкевич Наталья Николаевна, ТПУ, магистрант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и магистерскую диссертацию.	1160
4	РФФИ	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
<b>ИТОГО:</b>				<b>1740</b>

### 4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Таблица 20 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	750000р
3.1.1. Источник финансирования	Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2016 г – июнь 2018 г.
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2016
3.2.2. Дата завершения проекта	16.06.2018
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

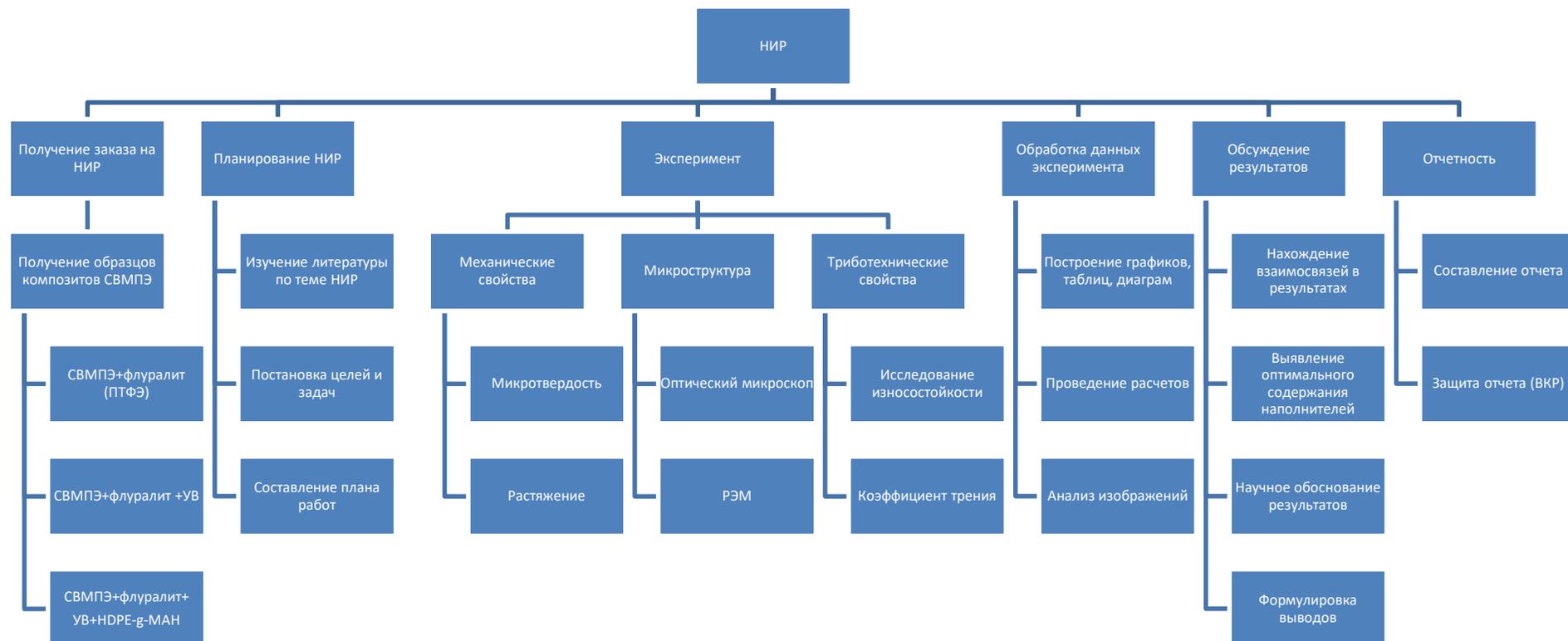


Рисунок 49 – Иерархическая структура НИР

### 4.3.2 Календарный план проекта

Таблица 21 - Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Составление плана работ	3	01.09.2016	03.09.2016	Панин С. В. (зав. лаб.)
Изучение литературы по теме НИР	25	01.09.2016	05.10.2016	Валентюкевич Н.Н (инж)
Получение и подготовка образцов композитов на основе СВМПЭ: СВМПЭ+флуралит	10	01.09.2016	14.09.2016	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н. (инж)
Постановка целей и задач	2	06.10.2016	08.10.2016	Валентюкевич Н.Н (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Измерение микротвердости композитов	5	15.09.2016	21.09.2016	Валентюкевич Н.Н (инж).
Проведение испытаний на одноосное квазистатическое растяжение СВМПЭ	5	26.09.2016	30.10.2016	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н (инж)
Проведение испытаний на износ в условия сухого трения скольжения	15	03.10.2016	21.10.2016	Валентюкевич Н.Н (инж)
Исследование микроструктуры дорожки трения образцов	5	17.10.2016	21.10.2016	Валентюкевич Н.Н (инж)
Построение графиков, диаграмм, таблиц	22	31.10.2016	01.12.2016	Валентюкевич Н.Н (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Проведение расчетов				
Сравнительный анализ изображений				
Научное обоснование результатов				
Получение и подготовка образцов композитов на основе СВМПЭ: СВМПЭ+флуралит+УВ	10	06.02.2017	17.02.2017	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н. (инж)
Измерение микротвердости образцов	5	20.02.2017	03.03.2017	Валентюкевич Н.Н (инж).
Проведение испытаний на одноосное квазистатическое растяжение СВМПЭ	5			

Проведение испытаний на износ в условия сухого трения скольжения	15	06.03.2017	24.03.2017	Валентюкевич Н.Н (инж)
Исследование микроструктуры дорожки трения образцов				Валентюкевич Н.Н (инж)
Построение графиков, диаграмм, таблиц	15	27.03.2017	14.04.2017	Валентюкевич Н.Н (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Проведение расчетов				
Сравнительный анализ изображений				
Научное обоснование результатов				
Получение и подготовка образцов композитов на основе СВМПЭ: СВМПЭ+флуралит+УВ+HDPE-g-МАН	10	18.09.2017	29.09.2017	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н. (инж)
Измерение микротвердости образцов	5	16.10.2017	20.10.2017	Валентюкевич Н.Н (инж).
Проведение испытаний на одноосное квазистатическое растяжение СВМПЭ	5	23.10.2017	27.10.2018	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н (инж)
Проведение испытаний на износ в условия сухого трения скольжения	15	06.11.2017	24.11.2017	Валентюкевич Н.Н (инж)
Исследование микроструктуры дорожки трения образцов	6	22.11.2018	30.11.2017	Валентюкевич Н.Н (инж)
Исследование морфологии поверхности излома образцов с помощью атомно-силового микроскопа	6	04.12.2017	12.12.2018	Алексенко В.О. инж-исслед.
Измерение коэффициента трения образцов	15	13.03.2018	30.03.2018	Алексенко В.О. инж-исслед., Валентюкевич Н.Н(инж).
Построение графиков, диаграмм, таблиц	10	19.03.2018	02.04.2018	Валентюкевич Н.Н(инж).
Проведение расчетов				
Сравнительный анализ изображений				
Научное обоснование результатов	10	19.03.2018	02.04.2018	Валентюкевич Н.Н (инж)., Панин С. В. (зав. лаб.)
Нахождение взаимосвязей в результатах				
Формулировка выводов				
Составление отчета	30	05.04.2018	15.05.2018	Валентюкевич Н.Н (инж).
Защита отчета (ВКР)	1	13.06.2018	13.06.2018	Валентюкевич Н.Н(инж).

#### 4.4 Составление сметы затрат

В смету затрат входит:

1. Амортизация оборудования;
2. Основные и вспомогательные материалы;
3. Расчет заработной платы:
  - 3.1 Основная заработная плата;
  - 3.2 Дополнительная заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Траты на электроэнергию;
6. Прочие накладные.

##### 4.4.1 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

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

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 22. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 22 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	Ф <sub>сс</sub> , год	Ф <sub>ф</sub> , ч.	З <sub>об</sub> , 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	Машина для испытания на трение и износ 2070 СМТ-1	745000	20	40	745
8	Установка для вырезки образцов	1000000	20	80	2000
	Компьютер	30000	8	900	1687,5
ИТОГО:					35592,5

#### 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 23. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 23– 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	Спирт технический	л	120	3	360
4	Вспомогательные материалы				440
5	ПТФЭ (марки «Флуралит»)	кг	1000	1	1000
6	Углеродные волокна ~65 мкм (ø 7,5 мкм)	кг	3000	1	3000
7	HDPE-g-МАН	кг	1000	1	1000
Итого:					10800
Неучтенные расходы 1%					108
Всего:					10908

#### 4.4.3 Затраты на заработную плату

Сотрудники необходимые для реализации данного проекта: – заведующий лабораторией (зав. лаб.), инженер-исследователь (инж.-иссл.) и инженер лаборатории (инж).

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 24.

Таблица 24 – Затраты на заработную плату

№	Статьи	Зав. Лаб.	инженер-исследователь	инж
1	$T_c$ , р./день	1600	880	570
2	$T_{pi}$ , дн	61	52	187
3	$L_o$ , р.	97600	45760	106590
4	$0,3 * L_o$ , р.	29280	13728	31977
5	$L_{осн}$ , р.	126880	59488	138567
6	$L_{доп}$ , р.	25376	11897,6	27713,4
7	$\sum (L_{осн} + L_{доп})$ , р.	152256	71385,6	166280,4

Основная заработная плата составит:  $126880+59488+138567=324935$  р.

Дополнительная заработная плата составит:  
 $25376+11897,6+27713,4=64987$ р.

Итого фонд оплаты труда:  $152256+71385,6+166280,4=389922$ 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 2016 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 14 % от фонда оплаты труда.

Таким образом, затраты на страховые отчисления составят:

$$389922 \cdot 0,271 = 54589,08\text{р.}$$

#### 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 10

Таблица 25 – Затраты на электроэнергию

	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t <sub>зан.ч.</sub> , 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	4,36	2	1	40	348,8
6	Микротвердомер INSTRON	4,36	0,6	1	40	104,64
7	Машина для испытания на трение и износ 2070 CMT-1	4,36	0,3	1	40	52,32
8	Установка для вырезки образцов	4,36	0,6	1	80	209,28
9	Компьютер	4,36	0,3	1	900	1177,2
	Итого:					3235,12

#### 4.4.6 Смета затрат на НИР

Теперь сложим все прямые затраты на исследование, таблица 26.

Таблица 26 – Прямые затраты

№	Затраты	Сумма, р.
1	Основные и вспомогательные материалы	10908
2	Основная заработная плата	324935
3	Дополнительная заработная плата	64987
4	Страховые отчисления	54589,08
	Итого:	455419,08

Расшифровка накладных расходов представлена в таблице 27 (данные НИИ ИФПМ).

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

$$0,5 \times 218309 = 162467,5 \text{ р.}$$

Таблица 27 – Накладные расходы

№	Затраты	Сумма, р.
1	Амортизация оборудования	35592,5
2	Электроэнергия	3235,12
3	Прочие	162467,5
Итого:		201295,12

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

$$455419,08 + 201295,12 = 656714,20 \text{ р.}$$

Значит, при проведении НИР необходимо затратить 656714,20 р.

Составим смету затрат на НИР, таблица 28.

Таблица 28 – Смета затрат на НИР

№	Элементы затрат	Сумма, р.	%
1	Заработная плата	389922	59,4
2	Страховые отчисления	54589,08	8,3
3	Затраты на материалы	10908	1,7
4	Амортизация оборудования	35592,5	5,4
5	Затраты на электроэнергию	3235,12	0,5
6	Прочие накладные расходы	162467,5	24,7
8	ИТОГО: себестоимость S	656714,20	100
9	Плановая прибыль (рентабельность P=25%)	164178,55	
10	Цена выполнения НИР	820892,75	
11	НДС (18%)	147760,70	
12	Всего с НДС	968653,45	

В целом, в данном разделе работы проведено экономическое обоснование проведенных исследований:

-рассчитана себестоимость НИР, которая составила 656714,20 р.;

-рассчитана договорная цена на проведение НИР с учетом рентабельности в 25% и НДС (18%), которая составила 968653,45р.;

Учитывая, что размер гранта составляет 750000р, фактическая рентабельность НИР  $P_{\phi} = (750000 - 656714,20) \cdot 100 / 656714,20 = 14,2 \%$

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6А	Валентюкевич Наталья Николаевна

Инженерная школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является двух и трех компонентные композиты сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), фторопласта и неорганических частиц, и волокон, предмет исследования – механические и триботехнические характеристики смесей.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p><i>1.1. <u>Вредные и опасные факторы, возникающие при исследовании и методы их предотвращения:</u></i></p> <p>а) <u>Недостаточная освещенность рабочей зоны</u> – приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям освещения на рабочем месте, методы обеспечения этих значений; приводится расчет освещенности на рабочем месте; допустимые нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>б) <u>Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека:</u></p> <p>в) <u>Повышенный уровень статического электричества</u> – приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>г) <u>Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте</u> – приводятся нормы шума и вибрации, не причиняющие вред и неудобства при работе, нормирование вибраций от категории рабочего места, меры защиты (использование звукопоглощающих покрытий, спец. одежда, СИЗ);</p> <p>д) <u>Повышенный уровень ультразвука</u> – изоляция излучающего оборудования, применения СИЗ;</p> <p>е) <u>Зрительное напряжение</u> – приведены нормативные документы, для предотвращения вредного фактора.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p>а) <u>Утилизация отходов (полимерные материалы)</u> – организация безотходного производства (раздельные контейнеры для отходов бытового характера, обеспечение вывоза мусора на переработку за счет договора с соответствующей компанией)</p> <p>б) <u>Анализ влияния объекта исследования на атмосферу, гидросферу.</u></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Типичная ЧС – возникновение пожара в помещениях лаборатории;</i> Для ее предотвращения необходимо соблюдать при работе с нагревательными и воспламеняющимися установками правила эксплуатации, ознакомиться с планом эвакуации, установить необходимые средства оповещения и пожаротушения согласно нормативным документам.</p> <p><i>Возможная ЧС – диверсии;</i> Для предупреждения диверсии предприятие необходимо оборудовать круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи. Должностные проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>а) Приводятся правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в работе);</p> <p>б) Рабочее место соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78;</p> <p>в) В связи наличием вредных и опасных факторов на рабочем месте – различные льготы, правовые меры для сотрудников.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6А	Валентюкевич Наталья Николаевна		

## **Введение**

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы - провести анализ вредных и опасных факторов при исследовании механических и триботехнических характеристик многокомпонентных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Данный процесс включает в себя изготовление (спекание) образцов смесей, подготовку и дальнейшее испытание, анализ образцов на лабораторном оборудовании. В данном разделе рассмотрено воздействие вредных и опасных факторов на человека и окружающую среду в процессе данного исследования. Рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды. Значительная часть работы, в процессе проектирования изделия осуществляется на ПК, где обрабатываются, анализируются полученные данные, строятся графики и диаграммы, а также составляется отчет о проделанном исследовании.

В данном разделе даются рекомендации по мерам защиты от техногенных воздействий, которые были выявлены в процессе исследования композитов. Также рассмотрены меры по пожарной профилактике и охране окружающей среды. Определены возможные чрезвычайные ситуации в данном помещении и предложены меры защиты. Рассмотренные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе разработки и монтажа витрины приведены в таблице 1.

## 5.1 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### 5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, возникающих при исследовании механической и триботехнических характеристик двух и трех компонентных композитов СВМПЭ, фторопласта и неорганических частиц, и волокон

Таблица 29 – Опасные и вредные факторы при исследовании механической и триботехнических характеристик двух и трех компонентных композитов СВМПЭ, фторопласта и неорганических частиц и волокон

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015 [1])		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p><i>Изготовление образцов:</i></p> <p>1) Размешивание смеси с помощью ультразвукового диспергатора</p> <p>2) Спекание в печи</p> <p>3) Подготовка образцов</p> <p><i>Испытания образцов:</i></p> <p>1) Испытания на машине трения СМТ-1</p> <p>2) Испытания на растяжение</p> <p>3) Испытания на коэффициент трения</p> <p>4) Микротвердомер ПМТ-3</p>	<p>1. Повышенный уровень ультразвука</p> <p>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>3. Зрительное напряжение</p> <p>4. Повышенный уровень шума на рабочем месте</p> <p>5. Повышенный уровень вибрации</p>	<p>1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</p>	<p>ГОСТ 12.1.003-83 [36] Шум; Меры и средства защиты от шума указы в ГОСТ 12.1.029-80; СП 52.13330.2011[3] Естественное и искусственное освещение. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[32] Гигиенические требования к ПВЭМ и организации работы; ГОСТ 12.1.038-82[45] Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;</p>

<p><i>Анализ полученных результатов:</i></p> <p>1) Оптический микроскоп</p> <p>2) Атомно-силовой микроскоп</p> <p>3) Работа за ПВЭМ</p>			<p>ГОСТ 12.1.001-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности</p> <p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [41]</p>
---	--	--	--

### 5.1.1.1 Освещенность

Освещенность, в соответствии со СП 52.13330.2011[33] не должна быть ниже 15 Лк в лабораториях, в которых периодически наблюдают за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении.

При правильном проектировании освещения можно обеспечить высокий уровень работоспособности, оказать положительное психологическое влияние на человека и повысить производительность труда.

Производительность труда снижается и может повыситься утомляемость, из-за искажения размеров и форм объектов различия. Данные искажения появляются так как на рабочей поверхности могут быть резкие тени, создающие неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения.

Защитные щитки, очки, шлемы служат для защиты от ослепляющей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором). Очки, в свою очередь, необходимо выбирать легкие, не раздражающие кожу, хорошо прилегающие к лицу, также они должны ограничивать поле зрения.

С помощью метода коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отраженный от потолка и стен, ведется расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности. Ширина помещения  $B = 6$  м, длина  $A = 9$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей

поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. В соответствии со СП 52.13330.2011 нужно обеспечить помещение освещенностью не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы [33].

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м,  $S = 45 \text{ м}^2$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c=50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{IT}=70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z=1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z=1,1$ .

Выбираем лампу люминесцентную ЛБ, световой поток которой равен ФЛД = 1200Лм

Лампы работают только совместно с ЭмПРА. Тип светильника ОД – 2-40.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле[33]:

$$h = h_n - h_p,$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для светильника с двумя ЛЛ лампами типа ОДР:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,2} \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 3 = 9$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 50 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

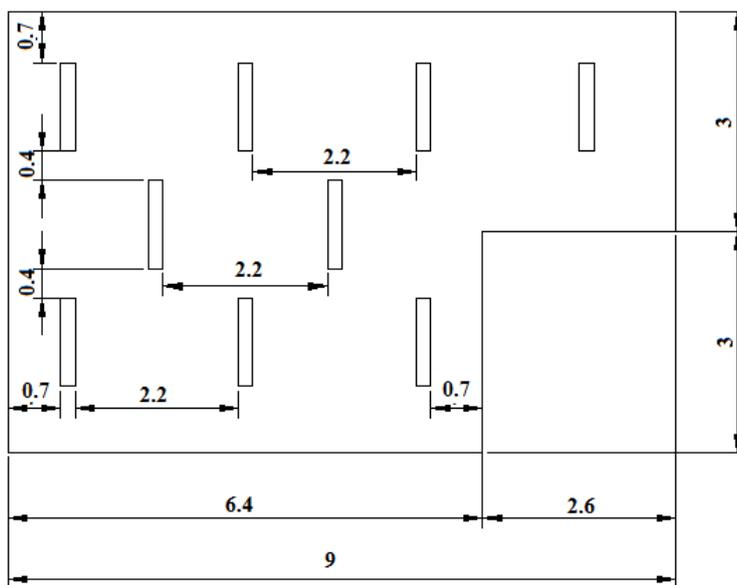


Рисунок 50 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами (в метрах)

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{45}{2,0 \cdot (9 + 6)} = 1,5$$

Коэффициент использования светового потока для светильников типа ОДР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{П}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{С}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,5$  равен  $\eta = 0,43$  [7].

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток лампы  $\Phi_{\text{л}}$  (лм) при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминесцентных лампах рассчитывают по формуле (по СП 52.13330.2011)

$$\Phi_n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 45 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{18 \cdot 0,43} = 1140,8 \text{ лм}$$

где  $E$  — нормированная минимальная освещенность, лк;  $A \cdot B$  — площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $Z$  — коэффициент минимальной освещенности, равный отношению  $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ , значения которого обычно находятся в пределах 1,1—1,5 (в среднем 1,2);  $K_3$  — коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен;  $N$  — число светильников в помещении;  $\eta$  — коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от к. п. д. и кривой распределения силы света светильника, коэффициента отражения потолка ( $\rho_{\text{п}}$ ) и стен ( $\rho_{\text{с}}$ ), высоты подвеса светильников и размеров помещения

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{1200 - 1140,8}{1200} \cdot 100\% = 4,9\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq 4,9\% \leq 20\%$  , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

### 5.1.1.2 Зрительное напряжение

При работе на персональном компьютере необходимо помнить о правилах работы, а конкурентно о продолжительности безотрывной работы, о правильном положении рук, спины, глаз.

Также необходимо помнить о том факте, что чтение информации с монитора ПК и чтение книги, отличается. За счет того, что при чтении с монитора человек смотрит, не наклоняя голову, прямо в источник света, глаза и орган зрения в целом работает усиленно и испытывает постоянный стресс в течении работы. При прочитывании текста с бумаги, такого не происходит и глаза меньше устают. Однако этот минус можно компенсировать за счет хорошего современного монитора и делая перерыв в работе с разминкой глаз.

Признаками усталости и перенапряжения может служить: сухость и покраснение глаз, боли в шеи и голове. Длительные работы без отрыва на отдых могут привести к недосыпаниям и бессоннице, раздражению и т.д.

Для предотвращения зрительного напряжение необходимо следовать указаниям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, [35]:

- Естественное боковое освещение должно составлять 2%, комбинированное искусственное освещение - 400 лк, при общем освещении - 200 лк.

Также следует делать разминки для глаз каждые 15-20 минут, через каждые 2 часа работы необходимо устраивать отдых, желательно с прогулкой на свежем воздухе.

### **5.1.1.3 Шум и вибрация**

Шум и вибрация представляют собой механические колебания, которые распространяются в твердой и газообразной средах. Шум и вибрация различаются между собой частотой колебаний.

При данной исследовательской работе в помещении лаборатории источники шума и вибрации могут возникать при: перемешивании порошков в планетарной шаровой мельнице МР/0,5\*4 (ООО «Техноцентр»), диспергировании взвеси компонентов в этиловом спирте в ультразвуковой ванне, получении образцов компрессионным спеканием, испытании на трибометре и машине трения СМТ-1.

При воздействии шума на организм может происходить ряд функциональных изменений со стороны различных внутренних органов и систем:

- Повышается давление крови, учащается или замедляется ритм сердечных сокращений, могут возникать различные заболевания нервной системы (неврастения, неврозы, расстройство чувствительности). Повышение уровня шума до 40...70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия, и при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха — профессиональной тугоухости.

Нормы шума, не причиняющие вред и неудобства при работе оговорены в ГОСТ 12.1.003-83 [36]: допустимые нормы шума в производственных помещениях не более 80 дБА.

Меры защиты: использование звукопоглощающих покрытий  $\alpha \geq 0,5$ , защитных кожухов, перфорированных экранов, индивидуальные средства защиты.

Нормирование вибраций проводится в зависимости от категории рабочего места, оценка мастерской проводится по 3 «а» категории согласно СН 2.2.4-2.1.8.566 [39]:

Категория 3 - технологическая вибрация, которая влияет на работника около стационарных машин или передающаяся на рабочие места, которые не имеют источников вибрации. Предельно допустимые среднеквадратичные значения колебательной скорости лежат в интервале 92дБ

Таблица 30 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа «а» СН 2.2.4-2.1.8.566 [39].

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям $X_0, Y_0, Z_0$							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		м/с · 10 <sup>-2</sup>		дБ	
	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,10		100		0,20		92

Меры защиты от вибрации указы в ГОСТ 26568-85 [40]. В качестве меры защиты могут выступать: коврики, спец. одежда, поглощающая обувь и т.д.

При изготовлении образцов композитов перешивание наполнителей происходит с помощью ультразвукового диспергатора и, следовательно, присутствует влияние ультразвука. Значения ультразвука контролируются ГОСТ 12.1.001-89 ССБТ [37].

Диапазон акустических колебаний от 18 кГц и более называют ультразвуком. Выделяют несколько способов распространения данного рода колебаний:

- Ультразвук, распространяющийся за счет прикосновения к рукам и другим частям тела, определяется как контактный способ распространения. Норма: частоты 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500 кГц;
- Воздушный способ – ультразвук распространяется по воздуху. Норма: частоты 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 кГц.

У людей, работающих непосредственно с установками на основе ультразвука наблюдаются функциональные нарушения систем и органов.

Для защиты от ультразвука необходимо использовать изолирующие корпуса и экраны, изоляцию излучающих установок, оборудование дистанционного управления, применять средства индивидуальной защиты.

#### **5.1.1.4 Факторы электрической природы**

В лаборатории полимерных материалов распространены источники опасности, такие как электрический ток и статическое электричество и т.д. Учитывая это, необходимо соблюдать меры предосторожности при работе и быть предельно аккуратным, особенно при работе с электроустановками и машинами..

В процессе работы в лабораториях сотрудники могут быть подвержены воздействию токов и напряжению прикосновения. В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА [38].

Классификация электроустановок по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с

присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные) [38].

В данном случае помещения лаборатории является помещением без повышенной опасности поражения электрическим током.

### **СКЗ:**

Основные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- инструмент с изолирующими ручками.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия, накладки;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

### **СИЗ:**

- защитные рукавицы;
- защитная униформа;
- специальные очки;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие клещи и т.д. [41].

## 5.2 Экологическая безопасность

В данной диссертации речь идет о полимерных материалах, и неорганических частиц, и волокон (углеродные волокна, политетрафторэтилен). Загрязнений воздушного бассейна, гидросферы при работе непосредственно с материалами не обнаружено.

Полиэтилен это экотоксичный отход и принадлежит он ко второму классу опасности. Таковым он является в процессе получения и эксплуатации, а вот во время переработки с ним возникают проблемы, становиться токсичным [38].

Неправильная утилизации и отсутствие методов переработки приводит к загрязнению литосферы, т.к. срок разложения полиэтилена достаточно велик, но при правильной утилизации полиэтилен ни только не принесет вреда окружающему миру и человеку, но и сыграет важную роль в экономическом плане. Существует несколько способов переработки полимеров. К ним можно отнести:

- Захоронение
- Сжигание
- Пиролиз
- Вторичное использование

Захоронение – процесс, широко используемый с самого изобретения полимеров, однако один из самых вредных и опасных. Так как полимеры инертны, они либо совсем не разлагаются, либо этот процесс разложения длится десятками, а то и сотнями лет. Тем самым захоронение данных отходов занимают огромные площади земли.

Другой достаточно энергозатратный процесс - сжигание, уменьшающий озоновый слой. При сгорании полимеров выделяются много вредных веществ и соединений. Одним из наиболее токсичных считается диоксин.

Для полиэтилена пиролиз редко используется, так как это достаточно дорогостоящий процесс, полиэтилен помещается в специальный реактор, и

выдерживается в течении отведенного времени при температуре 700-9000 °С, в вакууме или при малом количестве воздуха [38].

Утилизация полимеров - вторичная переработка как наиболее эффективный и перспективный способ.

Для того, чтобы перейти на безотходное производство в лаборатории следует организовать отдельную утилизацию отходов, т.е. приобрести отдельные контейнеры для бытовых отходов. Специальные емкости для различных видов бытовых отходов: стекло, бумага, пластик и т.д. Помимо этого, организовать логистику мусора до мест утилизации и переработки, т.е. подключить транспортную компанию и определиться с компанией по переработке. Утилизацией и переработкой пластмасс в регионе занимаются торгово-промышленная компания ООО Полимер, компания «ЭкоАрхитектура».

### **5.3 Безопасность при возникновении ЧС**

На предприятии также возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, типа диверсий. Для предотвращения данного ЧС необходимо установить круглосуточное видеонаблюдение территории, обеспечить охраной и надежной связью, также ввести пропускную систему, а также исключить возможность разнесения данных о структуре охраны, о местонахождении, плане здания и размещении оборудования в помещениях, сигнализаторах. Необходимо проводить разъяснительные беседы и проводить тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации [46].

Также типичной ЧС является возникновение пожара. Здесь же следует изучить причины возможного возникновения ЧС и следовать установленным нормативным документам для предотвращения ЧС.

### 5.3.1 Факторы пожарной и взрывной природы

Существует классификация зданий, помещений по категориям в зависимости от класса взрывопожарной и пожарной опасности.

В соответствии с НПБ 105-03 лабораторию можно определить к категории В, так как в ней находятся деревянные столы, стулья, оконные рамы. Материалом для постройки помещения послужил трудно сгораемый материал, кирпич. В связи с этим данное помещение при классификации по степени огнестойкости можно отнести к 1-й степени, согласно СНиП 2.01.02-85. В процессе работ, непосредственно связанных с электронной аппаратурой может возникнуть пожар, причины, этому послужившие могут быть как зависеть от электричества, так и другого характера.

Причин возникновения такого ЧС как пожар огромное количество. Например, к пожару часто приводят оставленные нагревательные приборы без присмотра или использование открытого огня, т.е. халатное обращение с огнем. Приведенные причины пожара являются несут неэлектрическую природу.

В свою очередь, не менее распространённые причины возникновения пожара несут электрический характер. Например, перегрузки по току, короткое замыкание, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. [42].

Не смотря на природу причин возникновения пожаров необходимо помнить и проводить ряд мероприятий в помещении для своевременной локализации и устранения причин:

- а) необходимо эксплуатировать только исправное оборудование;
- б) периодически проводить инструктаж по пожарной безопасности;
- д) по окончании рабочего дня, и работ в данном помещении, необходимо отключать электрооборудования, электроснабжение и освещение;
- е) следует отвести специальное место для курения;
- ж) не загромождать пути эвакуации при пожаре.

Если же возникло по той или иной причине возгорание, необходимо соблюдать спокойствие и не паниковать, вызвать пожарную бригаду, оценить масштабы возгорания и следует применить первичные средства пожаротушения, на начальной стадии. Данное действие производится до приезда пожарной команды.

Существует несколько типов первичных средств, например, при тушении токоведущих частей и электроустановок следует использовать порошковый огнетушитель (ОП-5) для избежание поражения током.

Согласно правилам пожарной безопасности, на каждом этаже общественных мест (здания, сооружения) должно располагаться не менее двух переносных огнетушителей. Нужно отметить, что огнетушители должны быть размещены на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м, для быстрого и своевременного нахождения и эксплуатации их. Также важно знать размещая огнетушители, расположение которых не должно загромождать пути возможной эвакуации, т.е. коридоры, проходы [43]. Следует заблаговременно ознакомить людей, работающих в данном помещении с расположением первичных средств пожаротушения и методикой их эксплуатации.

Каждое здание и сооружение должно быть обеспечено охранно-пожарной сигнализацией, планом эвакуации, порошковыми или углекислыми огнетушителями с поверенным клеймом, табличками с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу, т.е. полностью должно удовлетворять требованиям пожарной безопасности, рисунок 51 [44].



Рисунок 51 – Пути эвакуации

#### 5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Рабочее место сотрудника должно соответствовать всем эргономическим и техническим нормативам, должно быть безопасно, иметь все необходимые средства для реализации труда работника без препятствий.

Для нормального проектирования трудового процесса инженера-исследователя необходимо выполнение комплекса гигиенических требований (достаточная освещенность, отсутствие шума на рабочем месте, соответствующая температура и относительная влажность воздуха), приведенных в таблице. Место работника должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78, для комфортного процесса работы.

Шум в лаборатории, двигатели вытяжной вентиляции, вентиляторы охлаждения приборов и другое могут оказывать сильное воздействие на работоспособность инженера-исследователя. Уровень допустимого шума согласно содержанию ГОСТ 12.1.003-83 для удовлетворительной работы допускается уровень звукового давления <99 дБ (для частоты 63Гц) и <74 дБ (для 8 кГц).

Необходимо вентиляцией в помещении организовать воздухообмен согласно СН-245-71.

Следует использовать СИЗ для защиты глаз и рук при взаимодействии с ядовитыми и едкими веществами. Перед началом работы в лаборатории работника необходимо обеспечить фартуком и (или) халатом из хлопчатобумажной ткани, резиновыми и хлопчатобумажными перчатками, очками или масками в зависимости от вида работ.

Для пожарной безопасности в лаборатории должны присутствовать наличие охранно-пожарной сигнализации, порошковые или углекислотные огнетушители [48].

В связи с наличием вредных и опасных факторов на производстве (лаборатории) для сотрудников могут быть разработаны и установлены следующие льготы и иные меры правовой защиты:

- Периодические медицинские освидетельствования для выявления профзаболеваний на ранней стадии;
- Страхование от несчастных случаев и профзаболеваний (курортное лечение, безвозмездное выделение лекарственных препаратов);
- Дополнительные ежегодные отпуска (7 дней);
- Выдача молока работникам;
- Продолжительность ежедневной работы или смены не должна превышать 8 часов при рабочей загруженности до 36 часов в неделю.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одновременное введение двух микронаполнителей (твердосмазочного и армирующего) в сверхвысокомолекулярную матрицу позволяет одновременно обеспечить повышение механических характеристик (модуль упругости, предел текучести, твердость) и износостойкости трехкомпонентных композитов на основе СВМПЭ в различных условиях (трибо)нагружения.

При умеренных скорости и нагрузке ( $P=60 \text{ Н} \times V=0,3 \text{ м/с}$ ) оптимальным составом композита для антифрикционных приложений следует считать «СВМПЭ+5 вес.% флуоралита+5 вес. % УВ», поскольку сформированная структура и отклик поверхности изнашивания на триботехническое нагружение (за счет формирования пленки переноса) позволяют повысить сопротивление изнашиванию вдвое. В наиболее жестких условиях трибоиспытаний ( $P=140 \text{ Н} \times V=0,5 \text{ м/с}$ ) двукратное увеличение износостойкости показывает композит «СВМПЭ+ 5 вес. % флуоралита + 10 вес. % УВ». Это обусловлено армирующим действием коротких углеродных микроволокон, которые в условиях повышенных температур, вызванных фрикционным нагревом, стимулирующих подплавление и пластификацию поверхностного слоя трибоконтакта, позволяют лучше защитить поверхность трения от комбинированного воздействия сжимающих и сдвигающих нагрузок, передаваемых от стального контртела. К данному композиту «СВМПЭ+ 5 вес. % флуоралита + 10 вес. % УВ» близок по значению износостойкости композит с добавлением 10 вес. % HDPE-g-SMA, а при высокой скорости (0,5 м/с) даже показывает результат лучше, однако в связи с не образовавшейся адгезии между компонентами улучшение прочностных свойств не произошло. Исходя из этого, имеет смысл обратить внимание на иные методы для создания взаимосвязей на границах матрица-наполнитель.

## Список литературы

1. Клайн Г. (ред.) Аналитическая химия полимеров. Том 1. –М.: Издательство иностранной литературы. –1963. –592 с.
2. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс: Учебное пособие для вузов. –Л.: Химия, 1983. –304 с., ил.
3. Lin L. Argon A.S. Review structure and plastic deformation of polyethylene// Journal of materials science 29. –1994. P. 294-323.
4. Бобович Б.Б. Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение): учебное пособие / Бобович Б.Б. – М.: ФОРУМ: ИНФА-М, 2014. –400 с. –(Высшее образование. Бакалавриат).
5. Panin S.V., Shilko S.V., Kornienko L.A., Chernous D.A., Aleksenko V.O., et al. Biomechanical Properties of Dispersep Article Reinforced Polymer Composites on Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE). MOJ App Bio Biomech, 2017, 1(5): 00030. DOI: 10.15406/mojabb.2017.01.00030.
6. Гоголева О.В., Охлопкова А.А., Петрова П.Н. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для эксплуатации в экстремальных условиях // Материаловедение. – 2011. – № 9. – С.10–13.
7. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров: Учебное пособие для втузов. – М.: Высш. Школа, 1983 –391 с., ил.
8. Белый В.А., Свириденко А.И., Петроковец М.И., Савкин В.Г. Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск, «Наука и техника», 1976, 432 с.
9. Машков Ю.К. Трибология конструкционных материалов: Учеб. пособие. –Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996. – 302 с.
10. Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. – М.: Химия, 1972. – 240 с.

11. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. –М.: ФИЗМАТЛИТ. –2007. –368 с. –ISBN 978-5-9221-0824-9.
12. Juan-Carlos Vaena, Zhongxiao Peng Mechanical and tribological performance of UHMWPE influenced by temperature change // Polymer Testing 62. – 2017. P. 102-109.
13. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.: ил.
14. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. –Спб.: Научные основы и технологии. –2009. –380 с.
15. Машков Ю.К. Трибофизика: учеб. Пособие / Ю.К. Машков, О.В. Малий; Минобр-науки России, ОмГТУ. –Омск.: Изд-во ОмГТУ. –2015. –256 с.: ил. ISBN 978-5-8149-2011-9.
16. Панин С.В., Корниенко Л.А., Нгуен Суан Т. и др. Износостойкость композитов на гибридной матрице СВМПЭ-ПТФЭ: механические и триботехнические свойства матрицы // Трение и износ. – 2015. – Т. 36, № 3. – С. 244-251.
17. Qiufeng Wang, Hongling Wang, Na Fan, Yunxia Wang, Fengyuan Yan, Combined effect of fibers and PTFE nanoparticles on improving the fretting wear resistance of UHMWPE- matrix composites // Tribology International. – 2016. V. 104, P. 73-82.
18. Баженов С.Л. Механика и технология композиционных материалов: Научное издание / С.Л. Баженов – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014 – 328 с.
19. Фитцер Э., Дифендорф Р., Калнин И., Ягер Х. Углеродные волокна и углекомпозиты: Пер. с англ./Под ред. Э. Фитцера. – М.: Мир, 1988. – 336 с.: ил.
20. Panin S.V., Kornienko L.A., Aleksenko V.O., Ivanova L.R., Shilko S.V., Buslovich D.G. Comparison of effectiveness of carbon nano- and microfibers for formation of physical-mechanical and tribotechnical parameters of polymer

composites based on high molecular weight matrix // Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2016 (59), вып.9, с. 99-106

21. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомолекулярных волокон // Вестник КНИТУ. –2014.-Т.17, №19, -С. 136-139.

22. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: учебное пособие. –М.: МГИУ. –2009. –384 с.

23. Lancaster J.K. The effect of carbon fibre reinforcement on the friction and wear of polymers // BRIT. J. APPL. PHYS. (J. PHYS. D), 1968, SER. 2, V.1.

24. Hari Shankar Vadivel, Arash Golchin, Nazanin Emami Tribological behaviour of carbon filled hybrid UHMWPE composites in water // Tribology International 124. – 2018. P. 169-177.

25. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969.

26. Chukov D.I., Stepashkin A.A., Maksimkin A.V. Investigation of structure, mechanical and tribological properties of short carbon fiber reinforced UHMWPE-matrix composites // Composites Part B: Engineering. – 2015. - V.76, P. 79-88.

27. Shangguan Qian-qian, Cheng Xian-hua Friction and wear of rare earths modified carbon fibers filled PTFE composite under dry sliding condition // Applied Surface Science 253. – 2007. 9000-9006.

28. Бузник В.М., Тришин М.В., Вопилов Ю.Е. и др. Особенности строения порошковой формы политетрафторэтилена марки «Флуралит»//Перспективные материалы. -2010,№1.

29. Панин С.В., Корниенко Л.А., Алексенко В.О., Буслович Д.Г., Донцов Ю.В. Экструдруемые полимер-полимерные композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ)//Сборка в машиностроении, приборостроении.- 2018,- Т. 19, №1, - С.16-23.

30. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.

Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

31. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

33. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*

34. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”

35. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

36. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)

37. ГОСТ 12.1.001 – 89 “ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности”

38. ГН 2.2.4/2.1.8.582-96 “Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения”

39. СН 2.2.4-2.1.8.566 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы

40. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация (с Изменением N 1)

41. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

42. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

43. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

44. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

45. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

46. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

47. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности

48. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

49. Трейман М. Г. Полиэтилен как отход: химические свойства, состав, способы переработки и утилизации // Молодой ученый. — 2010. — №1-2. Т. 1. — С. 144-146.

50. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург, Издательство УрГУПС, 2002.