

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
ИССЛЕДОВАНИЕ	КОМПОЗИЦИОННЫХ	МАТЕРИАЛОВ	НА	ОСНОВЕ
ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА,	АРМИРОВАННЫХ		ВОЛОКНИСТЫМИ	
НАПОЛНИТЕЛЯМИ				

УДК 678.046.76: 678.674

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ8И	Космачев Павел Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Бурков М.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Панин С.В.	Д.Т.Н., профессор		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Осуществлять сбор и критический анализ информации, включая научные публикации, патенты, маркетинговые исследования в области материаловедения и технологии материалов
P2	Управлять научно-исследовательским и производственным проектом, включая критический анализ проблемных ситуаций, оценки потенциала коллектива и самооценки
P3	Способен представлять и защищать результаты своей работы и деятельности коллектива, включая планы научно-исследовательских работ, производственных проектов, научные публикации и доклады с использованием современных коммуникативных технологий, в том числе на иностранном языке.
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Ориентироваться в современных технологиях новых материалов с учетом экономичности, требований готовой продукции и интеллектуального потенциала предприятия, производства или научной группы
P6	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических наноматериалов и изделий, включая эксплуатацию соответствующего оборудования.
P7	Эксплуатировать оборудование и обрабатывать экспериментальные результаты с целью изучения структуры и свойств материалов, диагностики их эксплуатационных характеристик
P8	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов

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

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ8И	Космачеву Павлу Владимировичу

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА, АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 139-4/с от 18.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Порошок полиэфирэфиркетона, рубленые углеродные нити, углеродные ткани, исследовательское лабораторное оборудование для изготовления композитов и проведения испытаний их свойств, персональный компьютер.</i>
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<i>Провести аналитический обзор литературы в области создания полимерных композитов на основе ПЭЭК с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; изготовить композиты на основе ПЭЭК, армированные дисперсным и непрерывным углеволокном; исследовать влияния на прочностные характеристики композитов: способов совмещения компонентов при дисперсном армировании, режимов термической обработки волокнистого наполнителя, схем выкладки непрерывных волокон.</i>
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<i>Графики зависимости изгибающего напряжения от относительной деформации изгиба</i>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Спицына Л.М., доцент ОСГН
<i>Социальная ответственность</i>	Романцов И.И., доцент ООД

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

Глава 1. Литературный обзор и постановка проблемы (русский язык)
Глава 2. Материалы и методы исследования (русский язык)
Глава 3. Результаты и их обсуждение (русский язык)
Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» (русский язык)
Раздел «Социальная ответственность» (русский язык)
Приложение А (иностраный язык)

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Бурков М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ8И	Космачев П.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 121 с., 36 рис., 40 табл., 63 источника, 1 прил.

Ключевые слова: композит, термопласт, полиэфирэфиркетон, углеволокно, трехточечный изгиб

Объектом исследования являются композиционные материалы на основе термостойкой термопластичной полимерной матрицы (полиэфирэфиркетона), армированные волокнистыми наполнителями (рубленый углерод, углеродная ткань).

Цель работы – разработка новых полимерных композиционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, обладающих повышенными прочностными характеристиками.

В процессе исследования проводились: изготовление композитов методом горячего прессования, термообработка углеволокон, определение твердости методом вдавливания, определение изнашивания сухим трением, ультразвуковой контроль, определение предела прочности при трехточечном изгибе, растровая электронная микроскопия

В результате исследования разработаны композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетона, армированные углеродными волокнистыми наполнителями

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: дисперсно-армированные композиты – модуль упругости 30,1 ГПа, предел прочности при трехточечном изгибе 404,5 МПа, непрерывно-армированные композиты - модуль упругости 61,7 ГПа, предел прочности при трехточечном изгибе 422,8 МПа

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

Область применения: аэрокосмическое машиностроение

Экономическая эффективность/значимость работы применение разработанных композитов в качестве конструкционных материалов в летательных аппаратах

В будущем планируется проведение исследований по повышению адгезии волокнистых наполнителей к полимерной матрице высокоэнергетическими методами

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ	
1.1. Композиционные материалы	9
1.1.1. Типы композиционных материалов	10
1.1.2. Композиционные материалы на основе армированных термопластов	11
1.2. Композиционные материалы на основе ПЭЭК, армированные волокнистыми наполнителями	14
1.3. Постановка цели и задач исследования	24
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1. Характеристика используемых материалов	25
2.1.1. Характеристика ПЭЭК	25
2.1.2. Характеристика углеродных волокон	26
2.2. Методы исследования	26
2.2.1. Изготовление композитов методом горячего прессования	26
2.2.2. Термическая обработка волокна	29
2.2.3. Измерение твердости методом вдавливания	30
2.2.4. Трибологические испытания	31
2.2.5. Ультразвуковая дефектоскопия	33
2.2.6. Трехточечный изгиб	33
2.2.7. Структурные исследования	34
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	
3.1. Влияние способов совмещения компонентов при дисперсном армировании	25
3.2. Влияние режимов термической обработки волокна	43
3.3. Влияние схем выкладки непрерывных волокон	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	50
РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	55
РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	83
Приложение А - Results and Discussion	108

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области создания конструкционных микро- и нанокомпозитов на полимерной основе относятся к числу критических технологий федерального уровня Российской Федерации. Эти исследования поддерживаются и быстро развиваются в передовых странах мира, а соответствующие разработки находят быстрое и широкое использование в технических приложениях [1]. Данная тематика наиболее актуальна для аэрокосмической отрасли, требующей высоких значений удельной прочности (отношение прочности материала к его плотности) применяемых материалов.

Так сформировавшийся за последнее десятилетие тренд в гражданском авиастроении – это повсеместное использование композиционных материалов (КМ), таких как угле- и стеклопластики. При этом, данные композиты начинают все более широко применяться в основных силовых конструкциях самолетов и вертолетов. Замена традиционных алюминиевых сплавов в обшивке и силовом наборе летательных аппаратов (лонжероны, нервюры, и др.) позволяет значительно снизить вес летательного аппарата и увеличить грузоподъемность, снизить расход топлива, что, в конечном итоге, повышает экономическую эффективность самолета. Кроме того, применение композитов, армированных волокнами, имеет также и технологические преимущества: снижение количества крепежа, благодаря использованию монолитных (клееных) конструкций и высокопроизводительных методов производства типа тканевой намотки и автоматизированной выкладки. Яркими примерами здесь являются последние поколения самолетов Airbus A350 XWB и Boeing 787 более чем на 50% по массе состоящие из композитов.

Однако традиционно применяющиеся композиты на термореактивной основе (прежде всего эпоксидные смолы) и обладающие достаточными прочностными характеристиками, имеют ряд недостатков, главным из которых является долгий период постотверждения, часто требующий высокого давления и температуры (автоклав). Таким недостатком не обладают термопластичные

матрицы, которые уже постепенно начинают применяться для изготовления композитов. Они обладают высокой температурой работы и большей стойкостью к воздействию окружающей среды. Но в случае использования термопластов возникает ряд проблем, ограничивающих их применение и требующих новых фундаментальных и прикладных исследований. Так, одним из наиболее важных вопросов является обеспечение необходимого уровня адгезионного взаимодействия матрицы и волокна, а также разработка технологии формования, которая усложняется высокой температурой плавления высококлассных полимеров, таких как полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), полиимид и др.

Целью работы является разработка новых полимерных композиционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, обладающих повышенными прочностными характеристиками.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

1.1 Композиционные материалы

Композиционными материалами называют материалы искусственной природы, получаемые сочетанием химически разнородных компонентов. Одним из компонентов является матрица (для полимеров - связующее), другим – упрочнители. Среди полимерных композиционных материалов изначально стали использовать армированные стеклопластики, отработывая схемы армирования и изучая их физическую природу [2].

На сегодняшний день в качестве матриц применяют полимерные, металлические, керамические и углеродные материалы. Армирующие (усиливающие, упрочняющие) материалы бывают в виде частиц, волокон, нитей, лент, тканей. Материалы матрицы и армирующего вещества не должны химически взаимодействовать (быть взаимонейтральными), а коэффициенты термического расширения должны быть близки друг к другу.

Свойства (вес, прочность, модуль упругости, жаропрочность и др.) получаемых композиционных материалов зависят от состава компонентов, их количественного соотношения и прочности связи между ними. Изменяя данные параметры, можно создавать композиты с заданными свойствами под конкретные области применения, позволяя совершенствовать технологический процесс или удешевлять производство.

Одной из главных сложностей в производстве композиционных материалов является максимальная приближенность к гомогенности изделия, то есть создание однородного по физическим свойствам и химическому составу в любой точке объекта. Однородность связана со шкалой моделирования или так называемым характеристическим объемом, а данное определение описывает среднее поведение материала на макроскопическом уровне. На микроскопическом уровне все материалы более или менее однородны, но в зависимости от масштаба материалы могут быть описаны как однородные,

квазиоднородные или неоднородные. Материал является неоднородным, если его свойства зависят от местоположения (изменяются в различных участках). Но в общем смысле этих определений материал можно рассматривать как однородный, квазиоднородный или гетерогенный, если масштаб уменьшается [3].

1.1.1 Типы композиционных материалов

Каждый композитный материал состоит по меньшей мере из двух отдельных материалов, матричного материала (связующего материала, основного материала) и армирующего материала. Два вещества принадлежат обычно к разным группам материалов и имеют разные задачи. Комбинация позволяет использовать выгодные свойства партнеров. Принципы натуральных материалов часто применяются к композитным материалам.

Материал матрицы предназначен для обеспечения сцепления композиционного материала и передачи сил. Он должен иметь по меньшей мере достаточную ударную вязкость и, при необходимости, придавать композиту теплопроводность и / или коррозионную стойкость. Армирующий материал должен, в соответствии со своим названием, обеспечивать прочность и жесткость композитного материала. В дополнение к его типу, наиболее важным значением является форма армирующего материала, будь то в форме частиц, волокон или слоев.

Поставленные эксплуатационные задачи композита могут быть выполнены только при наличии достаточного сцепления между матрицей и армирующим материалом. В принципе, любой материал может быть использован в качестве матричного материала. Основным критерием выбора материала матрицы является рабочая температура композиционного материала.

Пластмассы можно использовать при низких температурах. Терморезистивные материалы, в частности эпоксидные и полиэфирные смолы, в основном используются в качестве матричных материалов. Использование

термопластов все еще редко, включая полиамиды, полипропилен и поликарбонат. Благодаря сравнительно простому производству композитные материалы с полимерной матрицей составляют наибольшую группу.

Металлы в качестве матричного материала допускают более высокие рабочие температуры, но производство этих композиционных материалов затруднено. В основном используются алюминий и кобальт.

Самые высокие рабочие температуры композиционных материалов возможны с керамической матрицей. Задачи веществ разделены по-разному. В дополнение к когезии, материал матрицы также должен обеспечивать жесткость. Армирующий материал (название здесь не подходит) предназначен для улучшения ударной вязкости композитного материала. Оксид алюминия и неоксидная керамика на основе кремния в основном используются для керамической матрицы. Поскольку керамика может быть получена только путем спекания, производство этих композиционных материалов также является сложным и дорогостоящим.

Часто композиты классифицируются в соответствии с формой армирующего материала (рисунок 1.1). Способ, как взаиморасположены армирующие агенты, также играет роль.

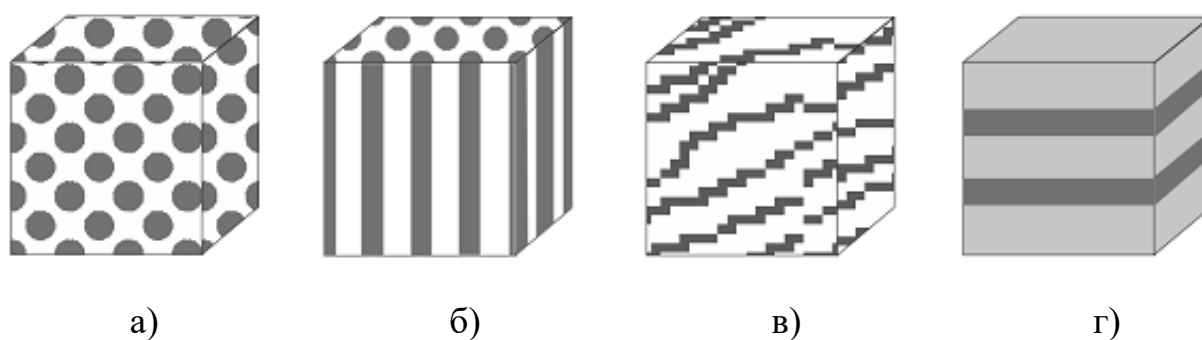


Рисунок 1.1 - Классификация композиционных материалов по форме армирующего материала: а) дисперсно-армированные частицами; б) волокнистые (однонаправленные); в) волокнистые (свободной ориентации); г) слоистые

В случае дисперсно-армированных частицами композитов (Рисунок 1.1 а) армирующий материал находится в форме частиц в матрице. Возможны

различные варианты в зависимости от размера и распределения частиц. Технически наиболее важными частицами композитов являются твердые металлы.

В случае волокнистых композиционных материалов (Рисунок 1.1 б, в) армирующий материал имеет форму волокон в матрице. Волокна могут иметь разную длину и ориентацию. Волокнистые композиционные материалы образуют самую большую и технически наиболее важную группу композиционных материалов.

В случае слоистых композитных материалов материалы матрицы и армирующего компонента лежат друг над другом в слоях. Толщина слоя может быть переменной. Различие между матрицей и армирующим материалом здесь не имеет смысла.

Частичные и волокнистые композиционные материалы макроскопически квазиоднородны. Слоистые композиты, с другой стороны, макроскопически неоднородны и поэтому уже не являются реальными материалами, а скорее конструкциями.

В обобщенном виде композиционные материалы также могут быть разделены по следующим признакам [4]:

- по материалу матрицы и армирующим компонентам;
- структуре - геометрии (морфологии) и расположению компонентов (структурных составляющих);
- методу получения;
- прикладной области.

1.1.2 Композиционные материалы на основе армированных термопластов

В настоящее время создание композитов на основе термопластичных полимеров является востребованным направлением в различных областях промышленности. Композитные полимерные матричные композиты с непрерывным волокном представляют собой привлекательные системы материалов, в значительной степени основанные на высоком модуле и соотношении прочности и веса. Эти специфические свойства способствуют репутации композитов на термопластичной основе как структурно эффективных систем материалов. Часто их используются в конструкциях, которые требуют высокой прочности и высокой жесткости. Однако, что отличает такие композиты как более эффективные, чем другие материалы, такие как сталь и алюминий, так это их относительно низкая масса. Это частично объясняется использованием полимеров низкой плотности в качестве матрицы в композиционном материале. Армирующее волокно, часто углеродное или стекловолокно, является более плотным, чем термопластичная матрица, и поэтому конечная масса композита является функцией относительного соотношения волокон к полимеру, известной как объемная доля волокна [5].

Другими значительными факторами, влияющими на эффективность углекомпозитов термопластичных матрицах, являются их анизотропные свойства. Их высокая удельная жесткость и удельная прочность обычно хвалят, но другие свойства материала, такие как электропроводность и теплопроводность, также являются анизотропными. Чаще всего улучшенные свойства материала наблюдаются вдоль направления волокон, в то время как такой композит демонстрирует значительно сниженные свойства в других направлениях. Следовательно, наиболее эффективное использование системы армированных композитов в конструкции детали состоит в том, чтобы поместить армирующее волокно в положение и ориентацию, которые обеспечат наилучшую реакцию на 1) ожидаемые нагрузки компонента и 2) прогнозируемые физические и экологические изменения, которым будет подвергаться деталь.

Даже небольшие отклонения от оптимизированной ориентации волокна могут значительно снизить предельную эффективность компонента композита [5].

В авиационных приложениях подходящим термопластичным композиционным материалом является, например, ламинат из полиимида или полиэфирэфиркетона, усиленный непрерывными углеродными волокнами. Для больших объемов коротких волокон типичными термопластичными композитами являются полипропиленовые или полиамидные матрицы.

Композиции на основе смеси полиэфирэфиркетона и полиэфирсульфона обладают [6] хорошими физико-механическими свойствами, характерными для ПЭС при температуре до 200 °С, в сочетании с низкой воспламеняемостью, малым дымовыделением, высокой прочностью и коррозионной стойкостью полиэфирэфиркетона, применяемого при температуре до 300 °С. Оба компонента композиции стойки к действию рентгеновского излучения. Из таких композиций изготавливают штекеры, разъемы, платы, сердечники и другие изделия для электротехники, а из армированного стекловолокном материала литьем под давлением получают изоляторы для мощных тиристорov и диодов.

1.2 Композиционные материалы на основе ПЭЭК, армированные волокнистыми наполнителями

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), является членом семейства полиарилэфиркетонoвых полимеров или, проще, «поликетонами». Классифицируется как линейный гомополимер, средняя молекулярная масса 80 000–120 000 г/моль. Химическая формула ПЭЭК показана на рисунке 1.2.

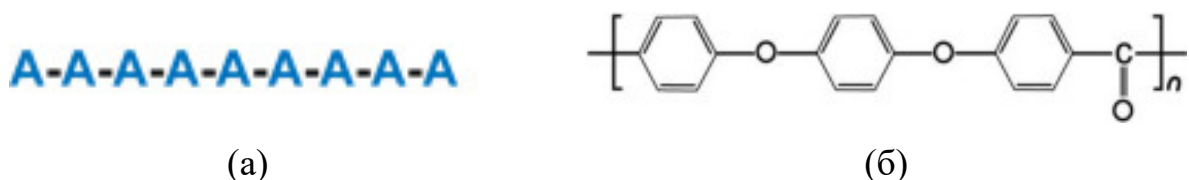


Рисунок 1.2 – Схематическое изображение линейных гомополимеров (а) и химическая структура ПЭЭК (б) [7]

Молекула ПЭЭК является относительно жесткой из-за присутствия ароматических (бензольных) колец вдоль ее основной цепи, однако, молекула имеет возможность свободно вращаться в осевом направлении вокруг эфирных ($-O-$) связей и кетон-углерода ($-CO-$). При медленном охлаждении из расплавленного состояния молекулярная цепь может вращаться сама по себе для образования складок цепи и организации в упорядоченные домены, известные как кристаллы. Кристаллы ПЭЭК встраиваются в аморфные (неупорядоченные) области и образуют двухфазную микроструктуру (рисунок 1.3).

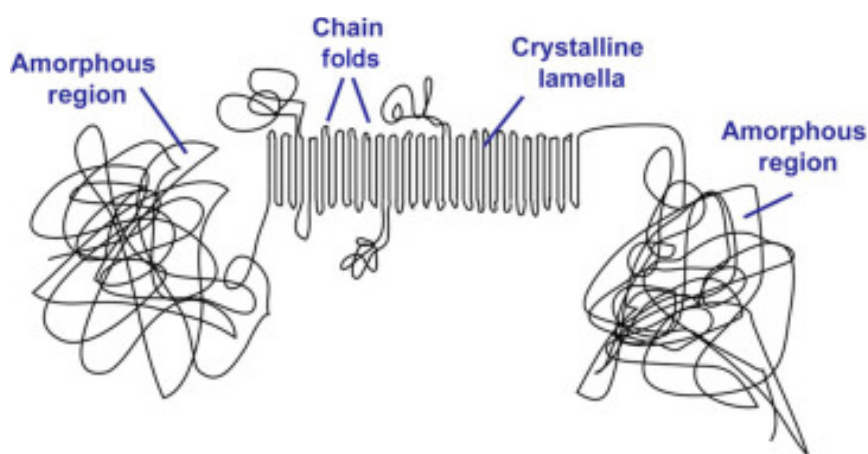


Рисунок 1.3 – Схематическое изображение микроструктуры ПЭЭК, состоящей из аморфных и кристаллических областей [7]

Степень кристалличности ПЭЭК может достигать до 40% [8], хотя степень кристалличности 30 – 35% более типично для большинства коммерчески выпускаемых марок ПЭЭК [9-11]. Регулируя скорость охлаждения во время изготовления пленок, кристалличность может быть значительно уменьшена, что приводит к почти полностью аморфному материалу.

Кристаллическая структура ПЭЭК имеет ромбическую решетку (рисунок 1.4) с параметрами элементарной ячейки $a=7,75 \text{ \AA}$, $b=5,86 \text{ \AA}$, $c=10 \text{ \AA}$.

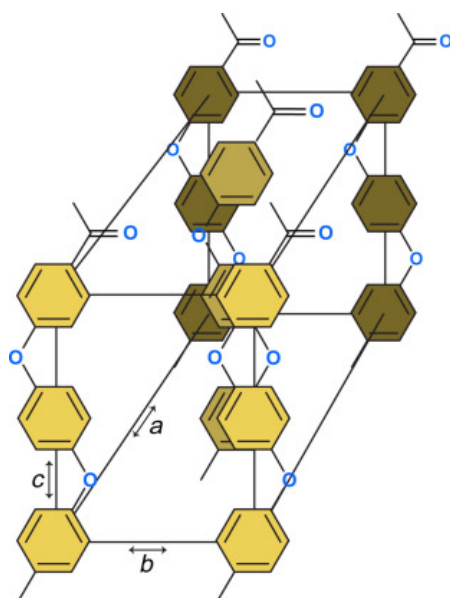


Рисунок 1.4 – Элементарная ячейка кристалла ПЭЭК [7]

Стабилизированная химическая структура ПЭЭК приводит к делокализации высших орбитальных электронов вдоль всей макромолекулы, что делает её чрезвычайно нереакционноспособной и по своей природе устойчивой к химической, термической и пострадиационной деградации.

Благодаря своим свойствам, полиэфирэфиркетон широко применяется в медицине, например: эндопротезирование коленного сустава [12], краниопластика [13,14], дентальной имплантологии [15,16], спинные межпозвоночные импланты [17-20].

ПЭЭК также широко применяется в электротехнике и электронике, автомобилестроении и химической промышленности. Повышенный интерес к полиэфирэфиркетону проявляют авиационная и космическая промышленность [20].

Использование волокнистых наполнителей, таких как углеволокно, базальтовое и стекловолокна можно целенаправленно изменять прочностные и функциональные свойства и расширять область использования ПЭЭК композитов. Характеристики композита зависят не только от вида наполнителя (углерод, стекло, базальт и т.д.) но и размера. Короткие волокнистые наполнители (анг. Short fibre), длиной от нескольких десятков до сотен микрон, добавляют в ПЭЭК для повышения износостойкости композита [21-26].

В работе [21] исследованы трибологические свойства композитов на основе ПЭЭК с различным содержанием коротких углеродных волокон (средний диаметр 7 мкм, длина 28-56 мкм) при трении в морской воде. Результаты показали, что добавление углеродного волокна может значительно улучшить износостойкость ПЭЭК композитов условиях морской водой. Наибольшей износостойкостью обладает композит с содержанием 10 об. % углеволокна (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Коэффициент трения и износ композитов на основе ПЭЭК с углеродными волокнами при трении в морской воде [21]

Содержание углеродных волокон об. %	Нагрузка, Н			
	200		600	
	Коэффициент трения	Износ, 10^{-7} мм ³ /Н*м	Коэффициент трения	Износ, 10^{-7} мм ³ /Н*м
0	0,073±0,0006	22,1±6,020	0,075±0,0017	27,3±1,770
5	0,090±0,0024	1,69±0,114	0,092±0,0029	4,11±0,190
10	0,094±0,0020	1,58±0,04	0,099±0,0020	3,23±0,0409
20	0,100±0,0019	1,83±0,221	0,112±0,0069	7,22±1,019
30	0,108±0,0020	2,85±0,187	0,125±0,0034	9,49±0,456

Сравнение трибологических свойств композитов ПЭЭК армированных углеродными и стекловолокнами было выполнено в работе [22]. Содержание наполнителя составляло 30 вес. %. Композиты ПЭЭК с углеродным волокном, по сравнению со стекловолокном, обладают большей износостойкостью и меньшим коэффициентом трения (рисунок 1.5).

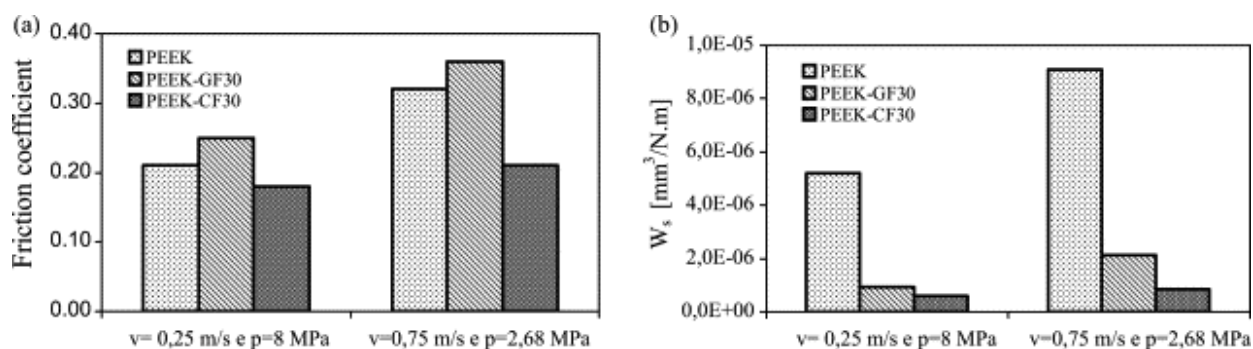


Рисунок 1.5 – Коэффициент трения (а) и износостойкость ПЭЭК и композитов ПЭЭК + 30 вес.% стекловолокна (GF) и ПЭЭК + 30 вес.% углеродного волокна (CF) при варьировании нагрузочно-скоростных параметров [22]

Эффект повышения износостойкости углекомпозита на основе ПЭЭК объясняется тем, что углеродные волокна армируют подповерхностный слой трения, обеспечивая перераспределение нагрузки, передаваемой от скользящего контртела, а также образованием защитной пленки из продуктов трибодеструкции композита (рисунок 1.6) [25].

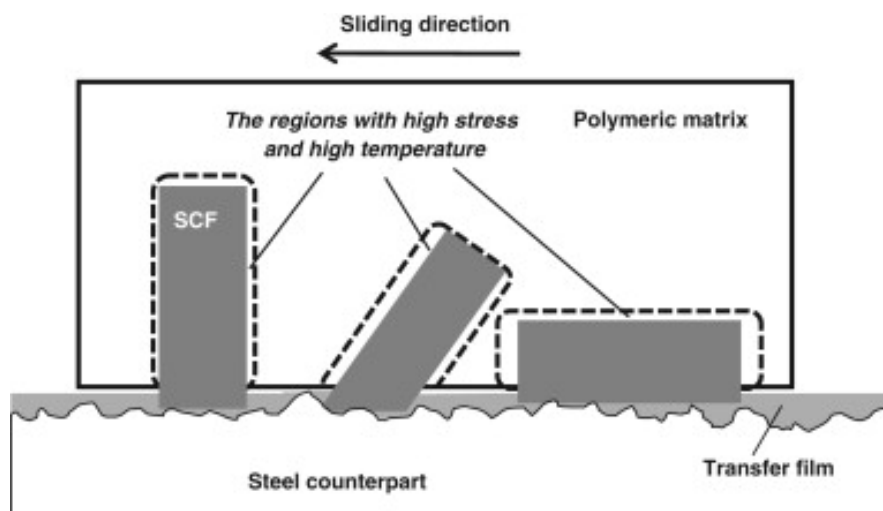


Рисунок 1.6 – Схематическое изображение механизма разрушения композита, армированного углеродными волокнами и образование защитной пленки [25]

Добавление коротких волокон в ПЭЭК обеспечивает повышение прочностных свойств по сравнению с ненаполненным ПЭЭК, а также возможность переработки традиционным для большинства термопластов технологическим способом переработки, такие как экструзия и литьё под

давлением. Однако при этом наблюдается заметное снижение пластичности и связанное с этим охрупчивание материала, что сильно ограничивает применение композитов ПЭЭК с короткими волокнами [28].

В работе [27] показано, что основным механизмом разрушения углекомпозита на основе ПЭЭК являются межфазное расслоение и отслоение волокон, а для композитов ПЭЭК со стекловолокнами, является разрыв волокна (рисунок 1.7).

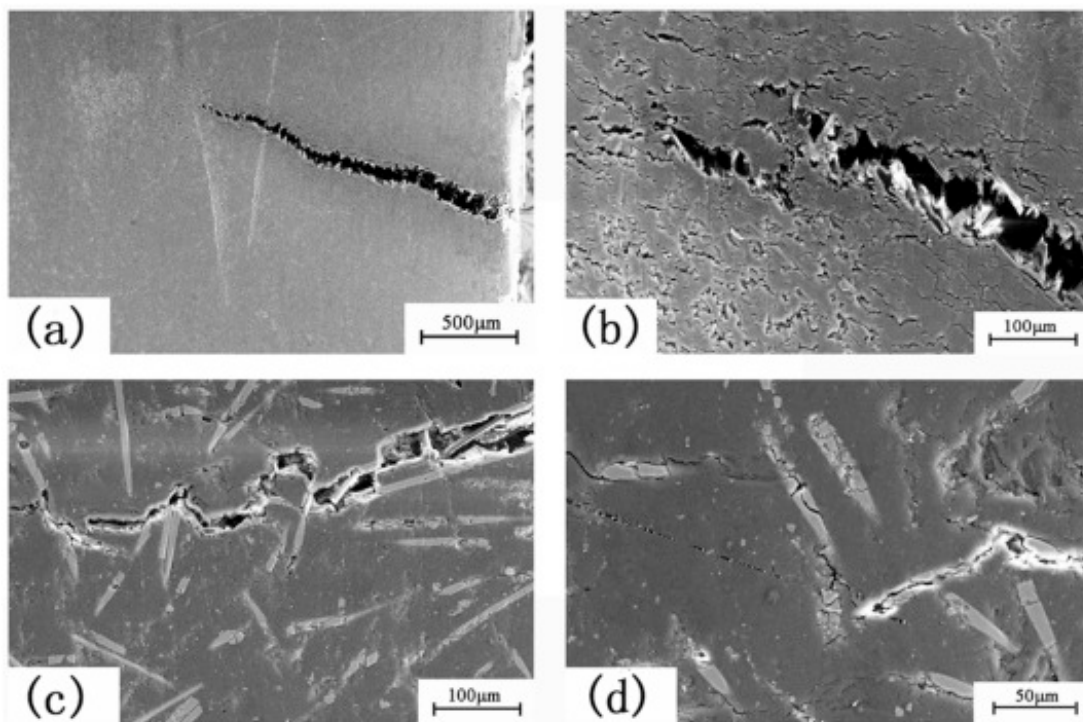


Рисунок 1.7 – Оптическое изображение распространения трещин в композитах: (а) (б) ПЭЭК + стекловолокна; (с) (д) композит ПЭЭК + углеволокна [27]

В работе [29] показано, что модуль упругости композитов резко возрастает с увеличением длины углеродного волокна. Рубленые волокна (анг. Chopped fibre) длиной от миллиметра до десятка миллиметров, являются эффективным способом повышения трибологических и механических свойств композитов на основе ПЭЭК [30-32]. Однако их активное промышленное применение ограничивается из-за наличия ряда технологических проблем, требующих серьезной научной и практической проработки. Одной из таких проблем является выбор способа совмещения (смешивания) компонентов при

изготовлении полимерных композитов с высоким содержанием волокнистого наполнителя, прежде всего миллиметрового диапазона длин.

Использование непрерывного волокна позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики композиционного материала на основе ПЭЭК. Непрерывные волокна бывают углеродными, стеклянными, базальтовыми, металлическими в виде лент, жгута или ткани [33]. Технология получения деталей ПЭЭК композитов, армированных непрерывными волокнами, состоит из послойной выкладки связующего, в виде полимерной пленки и волокна. Так, например, в работе [34] исследовали свойства слоистого композита состоящего из 9 слоев пленки ПЭЭК (1000-300G) толщиной 300 мкм фирмы Victrex и 8 слоев углеродного волокна 3K-T300-plain фирмы Toray Industries, схема укладки 0/90. Изготовленный композит обладал свойствами: 400 МПа предел прочности на изгиб, 20 ГПа модуль упругости на изгиб и 50 МПа междуслойная прочность при сдвиге.

Также широко применяется способ электростатического распыления порошка ПЭЭК на волокно (рисунок 1.8). В работе [35] исследовали свойства слоистого композита, полученного с использованием метода электростатического распыления порошка ПЭЭК (150 PF) фирмы Victrex размером 50 мкм на углеродные волокна 3 K, T300 фирмы Toray Industries. Изготовленный композит обладал свойствами: более 500 МПа предел прочности на растяжение и 45 МПа междуслойная прочность при сдвиге.

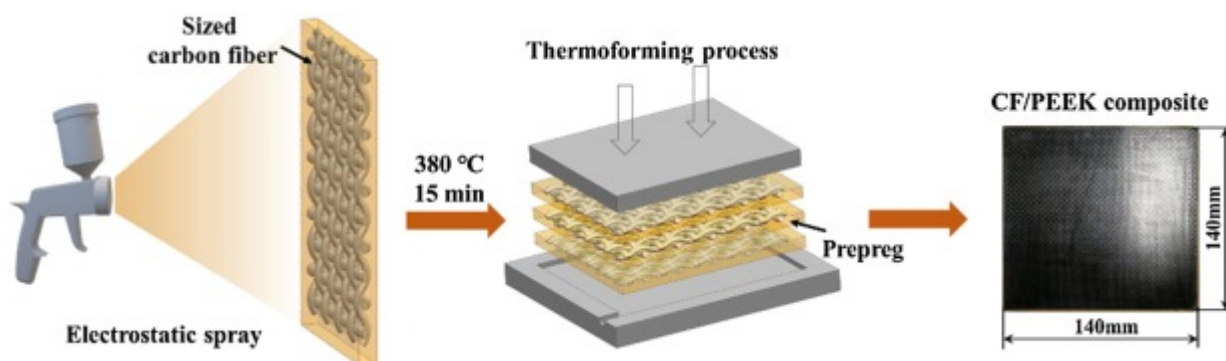


Рисунок 1.8 – Схема приготовления композита путем электростатического распыления порошка ПЭЭК [35]

В работе [36] рассматривался способ изготовления композита путем переплетения армирующего волокна с полимерным волокном (рисунок 1.9). ПЭЭК с вязкостью расплава 22 г / 10 мин, экстрадировали через фильеры для получения нитей, которые далее переплетали со стеловолокном. Изготовленный композит обладал свойствами: более 1000 МПа предел прочности на растяжение и более 25 ГПа модуль упругости на растяжение.

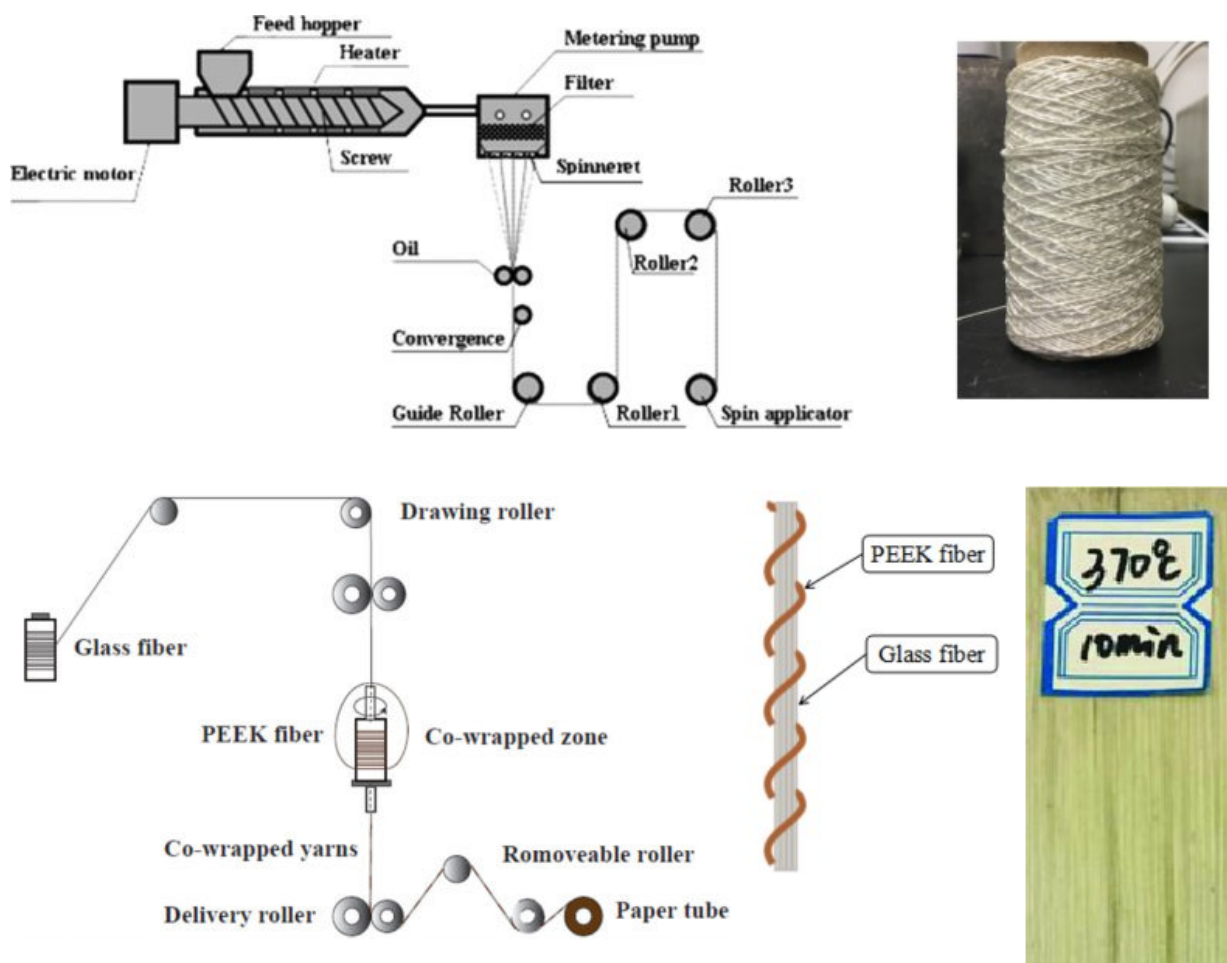


Рисунок 1.9 – Схема приготовления композита [36]

Перспективным является способ изготовления композита сложной формы методом послойного наплавления (3D печать) [37]. Межслойная прочность при сдвиге образцов, полученных методом послойного наплавления, может достигать более 35 МПа. Однако стоит отметить, что данный способ изготовления не позволяет получить композиты с высокими прочностными характеристиками.

В таблице 1.2 приведены механические свойства углекомполитов на основе ПЭЭК с различным размером и содержанием волокна. Видно, что содержание микро и милли волокон обычно не превышает 30 %, при использовании непрерывного волокна, содержание армирующего наполнителя составляет 40-60%. Высокая степень содержания, а также непрерывность наполнителя и ориентирование вдоль приложения нагрузки, обеспечивает высокие механические свойства композита.

Таблица 1.2 – Механических свойств углекомполитов на основе ПЭЭК

Авторы	Содержание	Длина волокна	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости на растяжение, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Модуль упругости на изгиб, ГПа
Chunyang Chen et al. [27]	30 вес.%	24 мкм	250	-	-	-
D. Garcia-Gonzalez et al. [28]	30 вес.%	200 мкм	214	24	-	-
Leyu Lin et al. [24]	10 вес.%	8 мм	130	7	-	-
X. X. Chu et al. [31]	30 об.%	3 мм	139	11,6	408	12,6
Elwathig A. M. Hassan et al. [34]	40 об.%	-	-	-	500	27
Xukang Wang et al. [35]	53 вес.%	-	550	-	-	-
Zhiping Xu et al. [36]	60 вес.%	-	1510	161	1900	152

Однако адгезионное взаимодействие на границе раздела между волокном (базальт, стекло, углерод) и полиэфирэфиркетонном относительно слабая по причине разной полярности и отсутствие реактивных функциональных групп на ПЭЭК, а также гладкой поверхностью волокна. Расслаивание, вызванное плохой

межфазной адгезией между волокном и матрицей ПЭЭК, сильно ограничивает их применение [38, 39].

1.3 Постановка цели и задач исследования

Литературный обзор показал, что исследования в области создания новых композиционных материалов на основе термостойких термопластичных полимеров, армированных волокнистыми наполнителями, являются актуальными и требуют углубленной проработки.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка новых полимерных композиционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, обладающих повышенными прочностными характеристиками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи** по исследованию влияния на прочностные характеристики композитов:

- способов совмещения компонентов при дисперсном армировании;
- режимов термической обработки волокнистого наполнителя;
- схем выкладки непрерывных волокон.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика используемых материалов

Для получения композиционных материалов в работе применяли термопластичный полимер – полиэфирэфиркетон и армирующие наполнители в виде дисперсных (рубленные нити) и непрерывных (ткани/ленты) углеродных волокон.

2.1.1 Характеристика ПЭЭК

В работе использовали ПЭЭК фирмы Victrex (PEEK 450 PF), с размером частиц 50 мкм. Механические свойства материала приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Механические свойства PEEK 450 PF [40]

Свойства	Ед. измерения	Показатель
Предел прочности	Разрыв, 23°C, МПа	100
Относительное удлинение при растяжении	Разрыв, 23°C, %	30
Модуль прочности	23°C, ГПа	3,7
Напряжение при изгибе	23°C, МПа	160
Модуль упругости при изгибе	23°C, ГПа	4,1
Ударная вязкость по методу Изод	С надрезом, 23°C, кДж/м ²	6,5

2.1.2 Характеристика углеродных волокон

В качестве армирующих наполнителей в данной работе применяли рубленые нити углеродного волокна Tenax J HT C261 длиной 3 мм и диаметром 10 мкм фирмы Teijin, рубленые нити углеволокна UMT длиной 2 мм и диаметром 10 мкм фирмы UMATEX, однонаправленная углеродная ткань (лента) FibArm 12K-300-230 фирмы UMATEX (поверхностная плотность 230 г/м² и прочность на растяжение более 4,9 ГПа.), а также биаксиальная углеродная ткань 0/90-50K-1270-106 (поверхностная плотность 106 г/м²) от АО «ХК «КОМПОЗИТ».

2.2 Методы исследования

2.2.1 Изготовление композитов методом горячего прессования

Содержание компонентов изготавливаемых полимерных композитов в объемных и весовых долях приведено в таблице 2.2. Соотношения выбирались на основании литературного обзора, как наиболее результативное для прироста механических характеристик.

Таблица 2.2 – Объемное и весовое содержание компонентов композитов

Материал	Объемное содержание, %	Весовое содержание, %
ПЭЭК	60	52
Углеволокно	40	48

При изготовлении дисперсно-армированных композитов исследовалось влияние различных способов совмещения компонентов на получаемые свойства. На рисунке 2.1 представлены способы перемешивания ПЭЭК и 40 об.% углеволокна. Способ №1 – перемешивание в лопастном смесителе с горизонтальным расположением лопастей снизу. Перемешивание проводилось в течение 2 минут. Масса одной загрузки составляла 7 г. Способ №2 – перемешивание гравитационным способом в цилиндрической емкости. Масса

загрузки составляла 35 г. Время перемешивания 20 мин. Способ №3 – перемешивание в лопастном смесителе с вертикальным расположением лопастей. Масса загрузки 35 г., время перемешивания 20 мин.

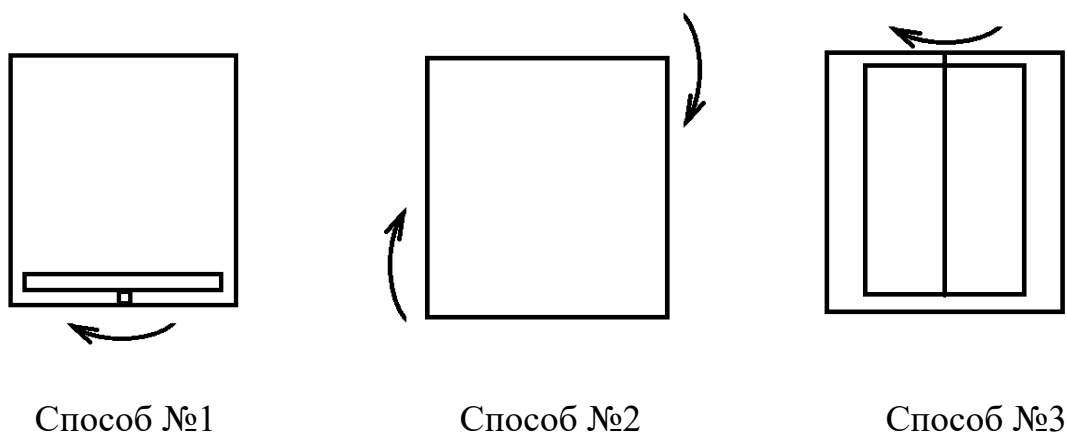


Рисунок 2.1 – Способы перемешивания углеродного волокна и ПЭЭК

При изготовлении композитов, армированных непрерывными волокнами использовали различные схемы выкладки (рисунок 2.2)

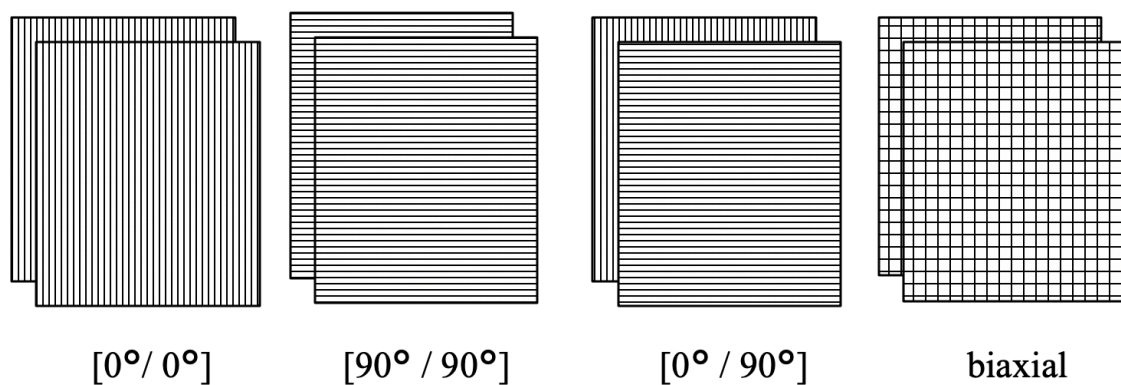
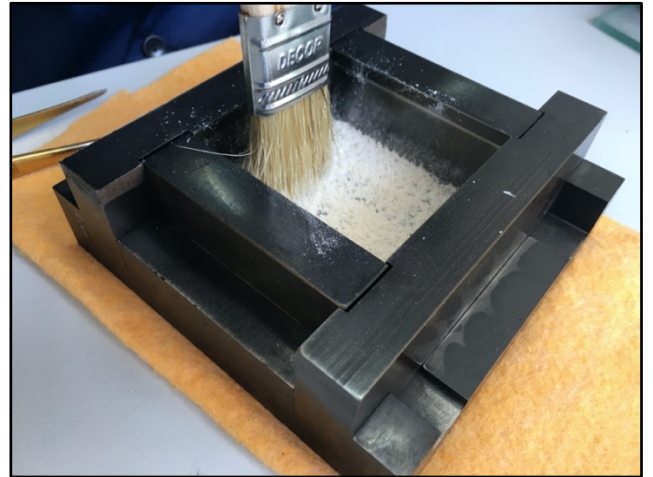


Рисунок 2.2 – Схемы выкладки непрерывных волокнистых наполнителей

После укладки (рисунок 2.3 а, б) в пресс-форму образцы композитов на основе ПЭЭК получали методом горячего прессования на гидравлическом прессе GOTECH GT-7014-A (рисунок 2.4), при давлении 10 МПа и температуре 400°C со скоростью последующего охлаждения 2 °C/мин.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Процесс укладки компонентов композитов в пресс-форму (а -дисперсное армирование, б – непрерывное армирование)



Рисунок 2.4 – Гидравлический пресс GOTECH GT-7014-A

Полученные образцы имели размеры 70×65×4 мм. Пористость материалов измерялась по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_v}\right) 100\% \quad (1)$$

где ρ_t – истинная плотность материала, г/см³;

$$\rho_v = m/V \quad (2)$$

где m – масса образца с порами, г; V – объем образца с порами см³.

2.2.2 Термическая обработка волокна

С целью окислительной модификации (удаления аппрета) поверхности углеродного волокна проводили отжиг при нагреве в течение $\tau_n = 30$ мин и выдержкой в течение $\tau_b = 5$ мин при $T_{max} = 300; 400; 500$ и 600 °С и, с последующим охлаждением τ_o вместе с печью (Рисунок 2.5).

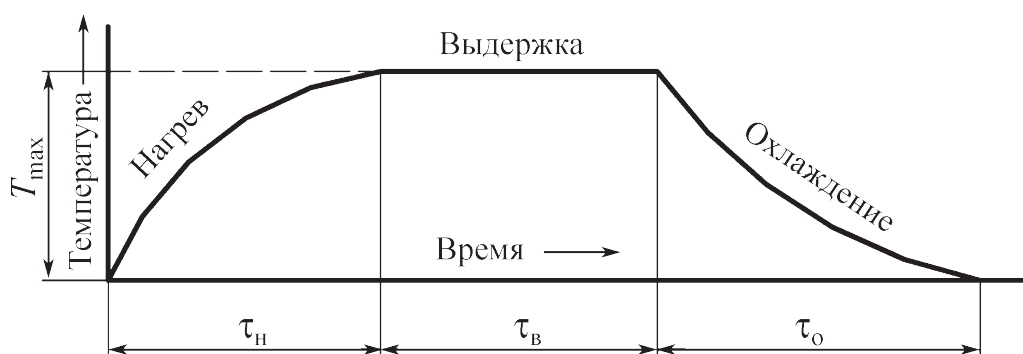


Рисунок 2.5 – Температурный режим отжига волокна

В работе использовалась муфельная электропечь ЭКПС-10 типа СНОЛ (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Муфельная электропечь ЭКПС-10 типа СНОЛ

2.2.3 Измерение твердости методом вдавливания

Твердость по Шору D определяли на испытательной машине Automatic operating stand model 902 Instron (рисунок 2.7) в соответствии со стандартом ASTM D2240. Метод испытаний основан на проникновении индентора особого типа, который вдавливается в материал при заданных условиях. Твердость на вдавливание обратно пропорциональна глубине проникновения и зависит от модуля эластичности материала и его вязкоупругих свойств. Геометрическая форма индентора и прикладываемое усилие влияют на измерения таким образом, что не существует простой взаимосвязи между замерами, полученными на дюрометре одного типа и на дюрометре другого типа или на иных приборах для измерения твердости. Настоящий метод испытаний является эмпирическим и предназначен в первую очередь для контрольных целей. Не существует простого соотношения между твердостью на вдавливание, определенной по данному методу, и каким-либо фундаментальным свойством испытываемого материала.



Рисунок 2.7 – Твердомер Automatic operating stand model 902 Instron

Показания индикаторного устройства снимались спустя 15 с. Масса груза составляла 5 кг. Проводились 15 измерений твердости в разных местах поверхности образца, на расстоянии не менее 6 мм от точки предыдущего измерения, и определялось среднее значение.

2.2.4 Трибологические испытания

Испытания образцов на основе ПЭЭК на изнашивание в режиме сухого трения проводили по схеме «шар-диск» при нагрузке $P = 10$ Н и скорости скольжения $V = 0,3$ м/с на трибометре CSEM CH-2000 (CSEM, Швейцария) (Рисунок 2.8) в соответствии с ASTM G99. Диаметр контртела, выполненного из стали ШХ15, составлял 6 мм. Путь испытания равен 1 км, радиус траектории вращения – 20 мм, т.е. круговая частота вращения составляла 143 об/мин.

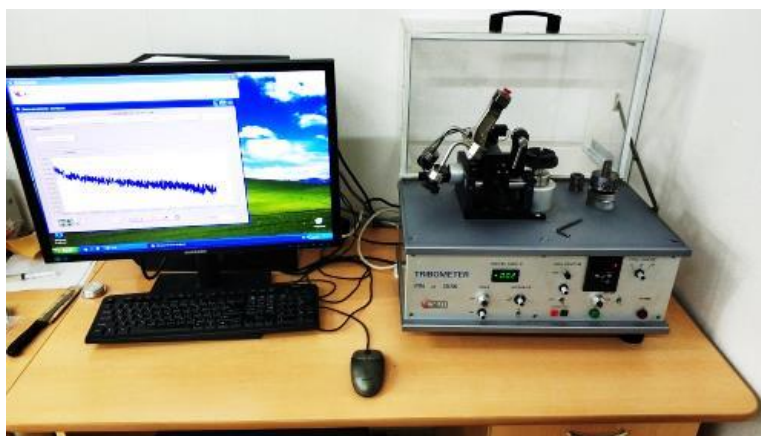


Рисунок 2.8 – Трибометр CSEM CH-2000

Скорость изнашивания определили путем измерения объема дорожки трения с помощью контактного (stylus) Alpha-Step IQ surface profiler (KLA-Tencor, США) (Рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Контактный профилометр Alpha-Step IQ

Измерения профиля дорожки трения производили после испытания и через 24 ч, чтобы деформация в процессе трибонагружения не влияла на значение износа. Скорость изнашивания определяли по формуле:

$$\text{Скорость изнашивания, } \frac{\text{мм}^3}{\text{м}} = \frac{V_2}{L}, \quad (3)$$

где V_2 – объем дорожки трения через 24 ч после испытания; L – дистанция.

Величину упругой деформации определяли по формуле:

$$\text{Упругая деформация, \%} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100\%, \quad (4)$$

$$\text{Упругая деформация, мм}^3 = V_1 - V_2, \quad (5)$$

где V_1 – объем дорожки трения после испытания; V_2 – объем дорожки трения через 24 ч после испытания.

Для наблюдения поверхностей дорожек трения испытанных образцов использовали оптический микроскоп Neophot 2 (Carl Zeiss, Германия) с подключенной цифровой зеркальной камерой EOS550D (Canon, Япония) (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Оптический микроскоп Neophot 2 с подключенной цифровой зеркальной камерой EOS 550D

2.2.5 Ультразвуковая дефектоскопия

Измерения скорости звука проводили при частоте 5 МГц на приборе UCD-50 (Рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Ультразвуковой дефектоскоп UCD-50

2.2.6 Механические свойства на изгиб

Механические характеристики образцов на основе ПЭЭК определяли при испытаниях на изгиб плоских образцов размером $70 \times 10 \times 3,5$ мм на электромеханической испытательной машине Instron 5582 (рисунок 2.12) в соответствии с ГОСТ 56810-2015.



Рисунок 2.12 – Испытательная машина Instron 5582

2.2.7 Структурные исследования

Исследования надмолекулярной структуры полимерных композитов проводились согласно СТО ТГУ 041-2009 «Методика проведения исследований структуры поверхности твердого тела методом растровой электронной микроскопии» с использованием системы с электронным и сфокусированными пучками Quanta 200 3D (FEI Company, США) (Рисунок 2.13).

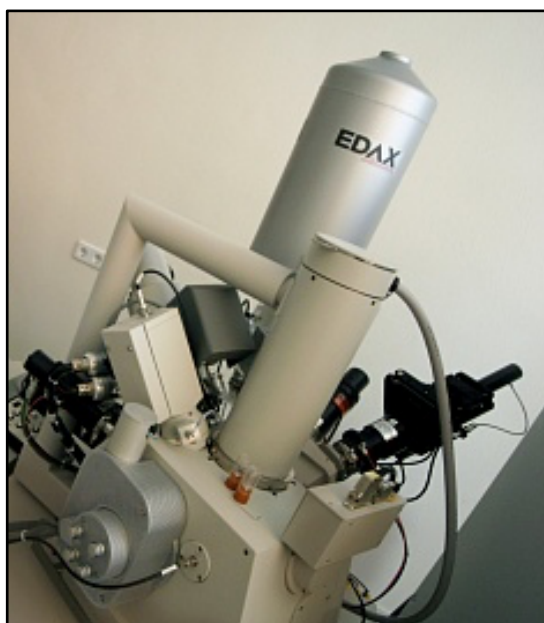


Рисунок 2.13 – Система с электронным и сфокусированными пучками Quanta 200 3D, FEI Company

Ускоряющее напряжение 20 кВ, увеличения в диапазоне $\times 50 - \times 5000$.
Образцы композитов предварительно напылялись медью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были исследованы различные способы сухого перемешивания смесей для изготовления полимерных композиционных материалов, состоящих из ПЭЭК и 40 об.% рубленой нити углеволокна.

Показано, что перемешивание в лопастном смесителе с горизонтальным расположением лопастей, не приводит к образованию агломератов углеродных волокон. Использование данного способа перемешивания позволяет повысить модуль упругости при поперечном изгибе на 15 – 25 %, прочность при изгибе на 27 – 42 % по сравнению с перемешиванием гравитационным способом и в лопастном смесителе с вертикальным расположением лопастей.

Наполнение углеродными волокнами приводит к снижению коэффициента трения в 1,3 раза и интенсивности изнашивания в 3 раза. Трибологические свойства композитов существенно не зависят от способа перемешивания используемых для их изготовления смесей.

Наилучшие прочностные показатели (модуль упругости 61,3 ГПа и предел прочности при трехточечном изгибе 420,4 МПа) показала схема укладки непрерывных волокон $[0^\circ/0^\circ]$.

Термическая обработка исследуемых углеродных волокон при 300 - 600 °С не приводит к существенному увеличению физико-механических характеристик композитов.

Существенным недостатком углекомпозитов на основе ПЭЭК является интенсивный абразивный износ металлического контртела, что делает их малопригодными для применения в полимер-металлических трибоузлах, однако могут успешно использоваться для тяжело нагруженных условий.

Актуальная задача для развития проекта – повышение смачиваемости волокна в композите с целью увеличения адгезии полимера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерный дизайн полимерных композитов технического и медицинского назначения / С. В. Шилько [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. - 2012. - № 3-4. - С. 149-157.
2. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева – Материаловедение. – М:Машиностроение. 1990. - 528 с
3. Altenbach, H.; Altenbach, J.; Kissing, W. Classification of Composite Materials. In Mechanics of Composite Structural Elements // Springer Berlin Heidelberg, 2004; pp 1–14
4. Карабасов Ю.С. Новые материалы. – М.:Изд-во МИСИС, 2002.
5. Akkerman, R.; Naanappel, S. P. Thermoplastic Composites Manufacturing by Thermoforming. In Advances in Composites Manufacturing and Process Design // Elsevier, 2015; pp 111–129.
6. Полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетонов (обзор) / А.Х. Шаов, А.М. Хараев, А.К. Микитаев, Г.С. Матвелашвили, З.С. Хасбулатова // Пластические массы. 1992. - № 3 - С.3-7.
7. Steven M. Kurtz. PEEK Biomaterials Handbook / Steven M. Kurtz. – 2nd Edition. – William Andrew, 2019. – 465 p.
8. J.R. Atkinson, J.N. Hay, M.J. Jenkins. Enthalpic relaxation in semi-crystalline PEEK // Polymer. – 2002. – Vol. 43, Issue 3. – P. 731–735.
9. S. V. Panin, B. A. Lyukshin, S. A. Bochkareva, L. A. Kornienko, D. A. Nguyen, L. T. M. Нiep, I. L. Panov, N. Y. Grishaeva. Material design methodology for optimized wear-resistant thermoplastic-matrix composites based on polyetheretherketone and polyphenylene sulfide // Materials. – 2020. – Vol. 13, Issue 3. – P. 524.
10. M. Hedayati, M. Salehi, R. Bagheri, M. Panjepour, F. Naeimi. Tribological and mechanical properties of amorphous and semi-crystalline PEEK/SiO₂ nanocomposite coatings deposited on the plain carbon steel by electrostatic powder spray technique // Progress in Organic Coatings. – 2012. – Vol. 74, Issue 1. – P. 50–58.

11. L. Martineau, F. Chabert, B. Boniface, G. Bernhart. Effect of interfacial crystalline growth on autohesion of PEEK // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. – 2019. – Vol. 89. – P. 82–87.
12. Yong-Gon Koh, Kyoung-Mi Park, Jin-Ah Lee, Ji-Hoon Nam, Hwa-Yong Lee, Kyoung-Tak Kang. Total knee arthroplasty application of polyetheretherketone and carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone: A review // *Materials Science and Engineering: C*. – 2019. – Vol. 100. – P. 70–81.
13. Jibo Zhang, Weiqun Tian, Jiayi Chen, Jin Yu, Jianjian Zhang, Jincao Chen. The application of polyetheretherketone (PEEK) implants in cranioplasty // *Brain Research Bulletin*. – 2019. – Vol. 153. – P. 143–149.
14. Maria Punchak, Lawrence K. Chung, Carlito Lagman, Timothy T. Bui, Jorge Lazareff, Kameron Rezzadeh, Reza Jarrahy, Isaac Yang. Outcomes following polyetheretherketone (PEEK) cranioplasty: Systematic review and meta-analysis // *Journal of Clinical Neuroscience*. – 2017. – Vol. 41. – P. 30–35.
15. Shariq Najeeb, Muhammad S. Zafar, Zohaib Khurshid, Fahad Siddiqui. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics // *Journal of Prosthodontic Research*. – 2016. – Vol. 60, Issue 1. – P. 12–19.
16. Lorena Tavares Gama, Thais Mageste Duque, Mutlu Özcan, Analucia Gebler Philippi, Luis André Mendonça Mezzomo, Thais Marques Simek Vega Gonçalves. Adhesion to high-performance polymers applied in dentistry: A systematic review // *Dental Materials*. – 2020. – Vol. 36, Issue 4. – P. e93–e108.
17. Steven M. Kurtz, John N. Devine. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants // *Biomaterials*. – 2007. – Vol. 28, Issue 32. – P. 4845–4869.
18. Nida Fatima, Elie Massaad, Ganesh M. Shankar, John H. Shin. Structural Allograft versus Polyetheretherketone Implants in Patients Undergoing Spinal Fusion Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis // *World Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 136. – P. 101–109.
19. Seung-Myung Moon, Aditya Ingalhalikar, Jason M. Highsmith, Alexander R. Vaccaro. Biomechanical rigidity of an all-polyetheretherketone anterior

- thoracolumbar spinal reconstruction construct: an in vitro corpectomy model // *The Spine Journal*. – 2009. – Vol. 9, Issue 4. – P. 330–335.
20. Саламов А.Х., Микитаев А.К., Беев А.А., Беева Д.А., Кумышева Ю.А. Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) как представители ароматических полиариленэфиркетонов // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 1-1. – С. 63–66.
 21. Beibei Chen, Jianzhang Wang, Fengyuan Yan. Comparative investigation on the tribological behaviors of CF/PEEK composites under sea water lubrication // *Tribology International*. – 2012. – Vol. 52. – P. 170–177.
 22. J. Paulo Davim, Rosária Cardoso. Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding // *Wear*. – 2009. – Vol. 266, Issues 7–8. – P. 795–799.
 23. H. Voss, K. Friedrich. On the wear behaviour of short-fibre-reinforced peek composites // *Wear*. – 1987. – Vol. 116, Issue 1. – P. 1–18.
 24. G. Y. Xie, G. X. Sui, R. Yang. Effects of potassium titanate whiskers and carbon fibers on the wear behavior of polyetheretherketone composite under water lubricated condition // *Composites Science and Technology*. – 2011. – Vol. 71, Issue 6. – P. 828–835.
 25. Li Chang, Klaus Friedrich. Enhancement effect of nanoparticles on the sliding wear of short fiber-reinforced polymer composites: A critical discussion of wear mechanisms // *Tribology International*. – 2010. – Vol. 43, Issue 12. – P. 2355–2364.
 26. Junhong Jia, Jianmin Chen, Huidi Zhou, Litian Hu, Lei Chen. Comparative investigation on the wear and transfer behaviors of carbon fiber reinforced polymer composites under dry sliding and water lubrication // *Composites Science and Technology*. – 2005. – Vol. 65, Issues 7–8. – P. 1139–1147.
 27. Chunyang Chen, Chao Zhang, Chenlin Liu, Yinggang Miao, Shing-Chung Wong, Yulong Li. Rate-dependent tensile failure behavior of short fiber reinforced PEEK // *Composites Part B: Engineering*. – 2018. – Vol. 136. – P. 187–196.

28. D. Garcia-Gonzalez, M. Rodriguez-Millan, A. Rusinek, A. Arias. Investigation of mechanical impact behavior of short carbon-fiber-reinforced PEEK composites // *Composite Structures*. – 2015. – Vol. 133. – P. 1116–1126.
29. S. V. Panin, L. A. Kornienko, V. O. Alexenko, D. G. Buslovich, S. A. Bochkareva, B. A. Lyukshin. Increasing wear resistance of UHMWPE by loading enforcing carbon fibers: Effect of irreversible and elastic deformation, friction heating, and filler size // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, Issue 2. – P. 338.
30. Leyu Lin, Alois K. Schlar. Recycled carbon fibers as reinforcements for hybrid PEEK composites with excellent friction and wear performance // *Wear*. – 2019. – Vol. 432–433. – P. 202928.
31. X. X. Chu, Z. X. Wu, R. J. Huang, Y. Zhou, L. F. Li. Mechanical and thermal expansion properties of glass fibers reinforced PEEK composites at cryogenic temperatures // *Cryogenics*. – 2010. – Vol. 50, Issue 2. – P. 84–88.
32. Xiaoduo Zhao, Dangsheng Xiong, Xinxin Wu. Effects of Surface Oxidation Treatment of Carbon Fibers on Biotribological Properties of CF/PEEK Materials // *Journal of Bionic Engineering*. – 2017. – Vol. 14, Issue 4. – P. 640–647.
33. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии: учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.; под ред. А. А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560с.
34. Elwathig A. M. Hassan, Dengteng Ge, Lili Yang, Jianfeng Zhou, Mingxia Liu, Muhuo Yu, Shu Zhu. Highly boosting the interlaminar shear strength of CF/PEEK composites via introduction of PEKK onto activated CF // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2018. – Vol. 112. – P. 155–160.
35. Xukang Wang, Zhigao Huang, Minlong Lai, Lin Jiang, Yun Zhang, Huamin Zhou. Highly enhancing the interfacial strength of CF/PEEK composites by introducing PAIK onto diazonium functionalized carbon fibers // *Applied Surface Science*. – 2020. – Vol. 510. – P. 145400.
36. Zhiping Xu, Mei Zhang, ShuoHui Gao, Guibin Wang, Shuling Zhang, Jiashuang Luan. Study on mechanical properties of unidirectional continuous carbon fiber-

- reinforced PEEK composites fabricated by the wrapped yarn method // *Polymer Composites*. – 2019. – Vol. 3. – P. 321–330.
37. Meng Luo, Xiaoyong Tian, Junfan Shang, Jingxin Yun, Weijun Zhu, Dichen Li, Yingjie Qin. Bi-scale interfacial bond behaviors of CCF/PEEK composites by plasma-laser cooperatively assisted 3D printing process // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2020. – Vol. 131. – P. 105812.
38. Y. Yuan, C. Liu, M. Huang. The structure and performance of short glass fiber/high-density polyethylene/polypropylene composite pipes extruded using a shearing–drawing compound stress field // *Materials*. – 2019. – Vol. 12. – P. 1323.
39. X. Zhao, D. Xiong, X. Wu. Effects of surface oxidation treatment of carbon fibers on biotribological properties of CF/PEEK materials // *Journal of Bionic Engineering*. – 2017. – Vol. 14. – P. 640–647.
40. Сайт поставщика [Электронный ресурс] URL: <https://rusplast.com/catalog/polyaryletherketone/7523/> (дата обращения 25.04.20)

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ8И	Космачеву Павлу Владимировичу

Инженерная школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Исследование проводилось на базе ЛМПКМ ИФПМ СО РАН. - В исследовании задействовано 3 человека: научный руководитель, 2 исполнителя. - Смета затрат: 414 064 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность». Значение интегрального показателя ресурсоэффективности – не менее 4,6 баллов из 5.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам в размере 30% от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Потенциальные потребители результатов исследования, SWOT-анализ.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Цели, ожидаемые результаты, рабочая группа, ограничения и допущения проекта.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование проекта. Схема затрат на разработку проекта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Экономическая эффективность на основе интегрального показателя.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ8И	Космачев П.В.		

ВВЕДЕНИЕ

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

Целью НТИ является разработка новых полимерных композиционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, обладающих повышенными прочностными характеристиками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи по исследованию влияния на прочностные характеристики композитов:

- способов совмещения компонентов при дисперсном армировании;
- режимов термической обработки волокнистого наполнителя;
- схем выкладки непрерывных волокон.

Целевой рынок - рынок армированных полимерных композитов, используемых в авиационном машиностроении.

1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данная работа выполнялась в рамках фундаментального проекта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), поэтому основным непосредственным потребителем результатов исследований является государство.

Потенциальными потребителями данного исследования являются предприятия авиационно-космического машиностроения, расположенные на территории Российской Федерации и зарубежных стран. Среди возможных российских предприятий-потребителей можно выделить порядка 30 предприятий, входящих в ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация». Компании, входящие в структуру Корпорации, обладают правами на такие всемирно известные бренды как «Су», «МиГ», «Ил», «Ту», «Як», «Бериев» а также новые – SSJ, MC-21 [1,2].

Среди основных зарубежных производителей авиатехники можно выделить компании Airbus, Boeing, Lockheed Martin, AVIC, Bombardier, Embraer.

Карта сегментации рынка армированных полимерных композитов, используемых в авиационном машиностроении приведена в таблице 1.

Таблица 1– Карта сегментации рынка армированных полимерных композитов

		Вид матрицы		
		Полиэфир-эфиркетон	Полиимид	Эпоксидная смола
Армирующий компонент	Дисперсные наполнители			
	Непрерывное однонаправленное волокно			
	Непрерывное биаксиальное волокно			

– ООО «Фабрика композитов»

– ООО «Композит-изделия»

– ООО «Мир композитов»

Таким образом, согласно анализу географической сегментации рынка гражданской авиации, наиболее перспективным рынком для реализации проекта являются страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Что касается сегментации рынка по виду композитов, то для производства в будущем направление изготовления композитов на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), армированных непрерывным волокном перспективно.

1.2 Анализ конкурентоспособности технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента,
 B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных преимуществ

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Прочность при изгибе	0,15	5	4	3	0,75	0,60	0,45
2. Модуль упругости при поперечном изгибе	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
3. Ударная вязкость	0,15	5	4	2	0,75	0,60	0,30
4. Термостойкость	0,10	4	5	2	0,40	0,50	0,20
5. Коэффициент трения	0,05	5	4	3	0,25	0,20	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	4	0,25	0,20	0,20
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
3. Цена	0,20	3	2	5	0,60	0,40	1,00
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
5. Финансирование научной разработки	0,05	5	4	2	0,25	0,20	0,10
Итого	1	44	38	32	4,30	3,65	3,25

Ф – композиты на основе полиэфирэфиркетона; К₁ – композиты на основе полиимида, К₂ – композиты на основе эпоксидной смолы.

По итогам данного анализа видно, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен за счет таких показателей как прочность при изгибе, ударная вязкость, финансирование научной разработки. При этом наблюдается сравнительно невысокий уровень проникновения на рынок, что связано с высокой стоимостью изготовления данных композитов.

1.3 Диаграмма Исикава

Для проведения графического метода анализа и формирования причинно-следственных связей была построена диаграмма причины-следствия Исикавы (Рисунок 1) -инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

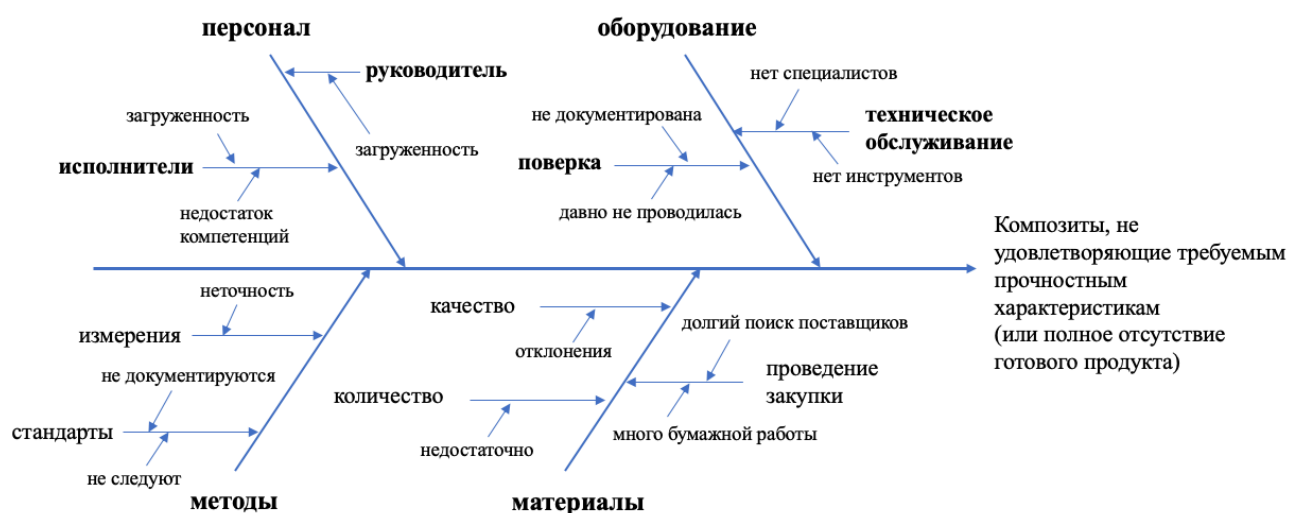


Рисунок 1 – Диаграмма Исикава

1.4 Матрица SWOT

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) - представляет собой комплексный анализ исследования внешней и внутренней среды научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок [3].

Анализ проводится поэтапно. На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы внешней среды. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>С1. Актуальность исследования композитов на основе ПЭЭК;</p> <p>С2. Доступность широкой номенклатуры современного исследовательского оборудования;</p> <p>С3. Бюджетное финансирование проекта;</p> <p>С4. Научный задел по исследованию полимерных композитов в научной школе ЛМПКМ ИФМП СО РАН;</p> <p>С5. Высокий прикладной потенциал.</p>	<p>Сл1. Высокая стоимость материалов;</p> <p>Сл2. Сложность технологической воспроизводимости образцов в лабораторных условиях;</p> <p>Сл3. Вредность работы с волокнистыми материалами.</p>
Возможности внешней среды	Угрозы внешней среды
<p>В1. Использование инфраструктуры Большого университета в Томске;</p> <p>В2. Высокий потенциал поиска научных партнеров;</p> <p>В3. Заинтересованность ведущих зарубежных научных изданий в опубликовании результатов по данной тематике.</p>	<p>У1. Конкуренция в данном научном направлении;</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>

На втором этапе выявляются соответствия сильных и слабых сторон проекта условиям окружающей среды.

Таблица 4 – Сильные стороны и возможности проекта

	С1	С2	С3	С4	С5
В1	–	+	–	–	+
В2	+	–	–	+	+
В3	+	–	–	+	+

Анализ выявил следующую корреляцию сильных сторон и возможностей: В1В2С2С4С5, В3С1С4С5. Научный задел, доступ к современному

оборудованию и сам по себе высокий прикладной потенциал проекта позволяют исполнителям выступать в качестве перспективных партнеров как в Томске, в рамках Большого университета, так и зарубежных коллег. Актуальность тематики, имеющийся задел и перспективы применения предоставляют возможность для опубликования научных работ в ведущих зарубежных изданиях с высоким импакт-фактором.

Таблица 5– Сильные стороны и угрозы проекта

	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	–	–	–	+
У2	–	–	+	–	–

Анализ выявил следующую корреляцию сильных сторон и угроз: У1С1С5, У2С3. Актуальность и потенциал исследования обуславливают высокую конкуренцию в данном направлении. Кроме того, существует угроза несвоевременного финансирования проекта государством.

Таблица 6 – Слабые стороны и возможности проекта

	Сл1	Сл2	Сл3
В1	–	+	–
В2	+	+	–
В3	–	–	–

Анализ выявил следующую корреляцию слабых сторон и возможностей: В1В2Сл1Сл2. Высокая стоимость материалов может быть сбалансирована путем распределения затрат с партнерами. Совместная работа так же может привести к синергетическому эффекту в вопросе совершенствования технологии изготовления образцов композитов.

Таблица 7 – Слабые стороны и угрозы проекта

	Сл1	Сл2	Сл3
У1	–	+	–
У2	+	–	–

Анализ выявил следующую корреляцию слабых сторон и угроз: У1Сл2; У2Сл1. Чтобы минимизировать угрозы технологической конкуренции других научных групп, лучше работать в кооперации. Риски несвоевременного государственного финансирования проекта могут сорвать приобретение дорогостоящих материалов, поэтому стоит искать дополнительные источники финансирования, например, заинтересованных промышленных инвесторов.

2 Разработка устава научно-технического проекта

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

2.1 Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критерии достижения целей представлены в таблицах 8, 9.

Таблица 8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
РФФИ	Новые полимерные композиционные материалы с повышенными прочностными характеристиками
ИФПМ СО РАН	
Компании-производители авиатехники	
Космачев П.В.	Подготовка ВКР в виде магистерской диссертации, подготовка публикаций, разработка новых композиционных материалов
НИ ТПУ	Защита ВКР магистрантом, публикации, аффилированные с ТПУ

Таблица 9 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Разработка новых полимерных композиционных материалов, армированных волокнистыми наполнителями, обладающих повышенными прочностными характеристиками
Ожидаемые результаты проекта	Повышение механических характеристик полиэфирэфиркетона за счет армирования
Требования к результату проекта	Повышение предела прочности при изгибе материала не менее, чем в 2 раза
	Повышение модуля упругости при поперечном изгибе материала не менее, чем в 10 раз
	Повышение ударной вязкости материала не менее, чем в 1,5 раза

2.2 Организационная структура проекта

Состав рабочей группы проекта с соответствующим распределением ролей каждого участника представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, должность, основное место работы	Роль в проекте	Функция	Трудо- затраты, часы
1	Бурков М.В., научный сотрудник ИФПМ СО РАН	Руководитель проекта	Постановка задач, координация исполнителей, проверка результатов исследований, помощь в составлении отчёта.	304
2	Космачев П.В. младший научный сотрудник ИФПМ СО РАН	Исполнитель по проекту	Обзор литературы, подготовка образцов, проведение исследований, составление отчёта, написание статей.	704
3	Алексенко В.О., младший научный сотрудник ИФПМ СО РАН	Исполнитель по проекту	Проведение исследований, написание статей.	448
4	РФФИ	Заказчик	Осуществляет укрупненный анализ проекта по показателям сроков, освоению затрат и финансированию. Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
ИТОГО:				1486

2.3 Ограничения и допущения проекта

Факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же границы проекта представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/Допущения
Бюджет проекта	550000 руб
Источник финансирования	РФФИ
Сроки проекта	13.01.2020 – 15.06.2020
Дата утверждения плана управлением проекта	15.01.2020
Дата завершения проекта	15.06.2020

3 Планирование исследовательской работы

3.1 Иерархическая структура работы

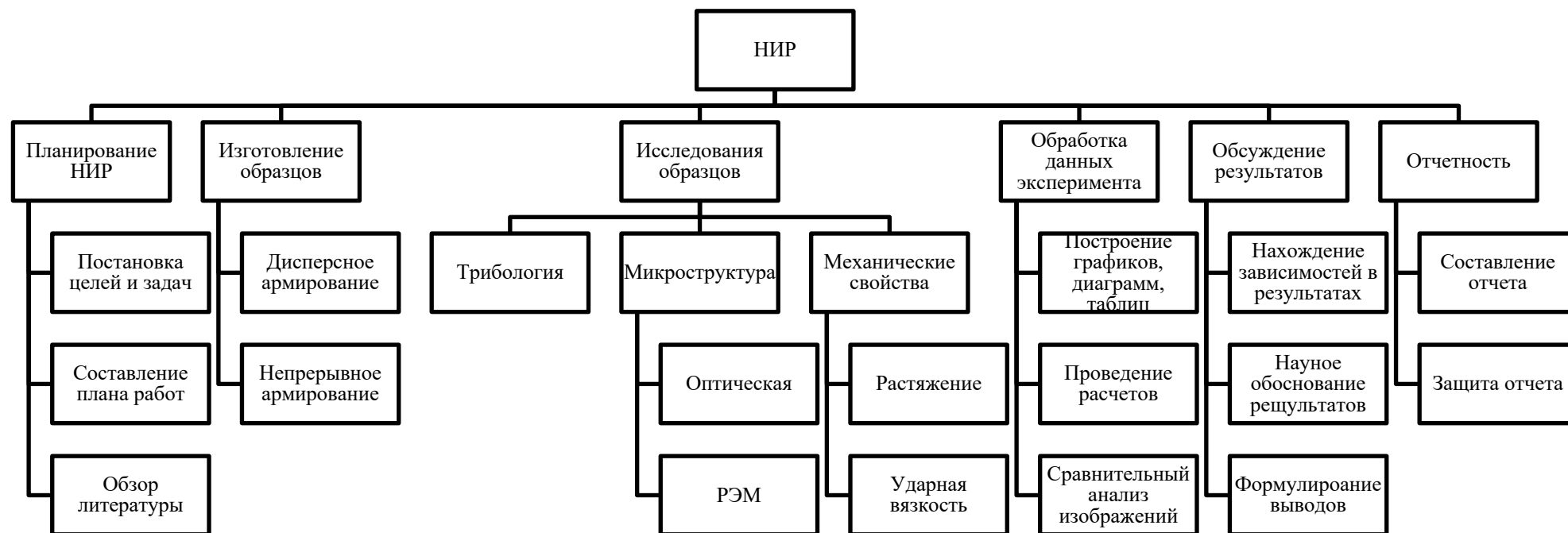


Рисунок 2 – Иерархическая структура НИР

3.2 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 12).

Таблица 12 – Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Постановка целей и задач	2	13.01.20	15.01.20	Бурков М.В., Космачев П.В.
Составление плана работ	2	13.01.20	15.01.20	Бурков М.В., Космачев П.В.
Обзор литературы	28	15.01.20	28.02.20	Космачев П.В.
Изготовление дисперсно-армированных образцов композитов	5	02.03.20	09.03.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Изготовление непрерывно-армированных-образцов композитов	4	10.03.20	13.03.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Исследование трибологии	5	16.03.20	20.03.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Исследование механических свойств	5	23.03.20	27.03.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Исследование микроструктуры	5	30.03.20	03.04.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Обработка данных	5	06.04.20	10.04.20	Космачев П.В., Алексенко В.О.
Обсуждение результатов	5	13.04.20	17.04.20	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.
Составление отчета	21	20.04.20	22.05.20	Космачев П.В., Алексенко В.О.
Защита отчета (ВКР)	1	20.06.20	20.06.20	Космачев П.В.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями. В связи с тем, что работы согласно календарному плану производятся последовательно, то необходимости в составлении сетевого графика нет.

Для иллюстрации календарного плана проекта была построена диаграмма Ганта (таблица 13).

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Постановка целей и задач	Бурков М.В., Космачев П.В.	2	█												
2	Составление плана работ	Бурков М.В., Космачев П.В.	2	█												
3	Обзор литературы	Космачев П.В.	28	█	█	█										
4	Изготовление дисперсно-армированных образцов композитов	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	5			█										
5	Изготовление непрерывно-армированных образцов композитов	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	4				█									
6	Исследование трибологии	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	5				█									
7	Исследование механических свойств	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	5					█								
8	Исследование микроструктуры	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	5						█							
9	Обработка данных	Космачев П.В., Алексенко В.О.	5							█						
10	Обсуждение результатов	Бурков М.В., Космачев П.В., Алексенко В.О.	5								█					
11	Составление отчета	Космачев П.В., Алексенко В.О.	21									█	█	█		
12	Защита отчета (ВКР)	Космачев П.В.	1													█

█ – Бурков М.В.

█ – Космачев П.В.

█ – Алексенко В.О.

4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования было обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых- расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, затраты группируются по статьям:

1. Материальные затраты;
2. Амортизация оборудования;
3. Основная заработная плата;
4. Дополнительная заработная плата;
5. Отчисления на социальные нужды;
6. Накладные расходы;
7. Электроэнергия.

4.1 Материальные затраты

Необходимые затраты на материалы по проекту представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Материальные затраты

№	Материал (наименование)	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
1	Полиэфирэфир- кетон (PEEK 450 PF), Vitrex	кг	2	21733	43 466
2	Углерод рубленый длиной 3 мм	кг	1	550	550

	(J НТ С261), Тернах				
3	Углерод рубленный длиной 2 мм (UMT), UMATEX	кг	1	640	640
4	Углеродная лента 12К-300-230	м	5	520	2 600
5	Наждачная бумага	упаковка	1	980	980
5	Спирт технический	л	0,4	1180	472
6	Вата	кг	0,3	400	120
7	Фольга алюминиевая	м	10	8,8	88
				Итого:	48 916

а. Амортизация 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 НТИ, ч.

$$F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250 \text{ дней} = 2000 \text{ ч.}$$

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 15. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 15 – Амортизация оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, руб.	F _{сс} , год	F _ф , ч.	З _{об} , руб.
1	Оптический микроскоп Zeiss Axiovert	1000000	10	20	1000
2	Растровый электронный микроскоп LEO EVO 50	8000000	20	40	8000
3	Испытательная машина INSTRON	2000000	20	40	2000
4	ЧПУ фрезерный станок	1000000	20	80	2000
5	Термопресс GoTech	800000	10	40	1600
6	Компьютер	65000	6	120	650
7	Трибометр CSEM CH-2000	600000	10	20	600
ИТОГО:					15 850

в. Основная заработная плата

Для выполнения данной работы требуется 3 исполнителя – руководитель и 2 исполнителя по проекту. Заработная плата работников (включая премии, доплаты), непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;
 $T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;
 $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца,

5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	68	68
- праздничные дни	26	26
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	248

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{б}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{б}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель (н.с.)	20704	0,3	0,3	1,3	43064,3	1957,5	33	64596,5
Исполнитель (м.н.с.)	15170	0,3	0,2	1,3	29581,5	1344,6	88	118326
Исполнитель (м.н.с.)	15170	0,3	0,2	1,3	29581,5	1344,6	55	73953,8

с. Дополнительная заработная плата

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (12% от суммы основной заработной платы):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

Где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Таким образом, расчёт основной и дополнительной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата, руб	Руководитель	Исполнитель	Исполнитель
Основная	64 596,5	118 326	73 953,8
Дополнительная зарплата	7 751,5	14 199,1	8 874,5
Зарплата исполнителя	72 348	132 525,1	82 828,3
Итого по статье С _{зп}	165 656,6		

d. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонд (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), 30%.

Таким образом:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 165\,656,6 \text{ руб.} = 49\,696,9 \text{ руб.}$$

e. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание и управление, содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования, а также инвентаря. Данные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

Где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 165\,656,6 \text{ руб.} = 132\,525,3 \text{ руб.}$$

f. Электроэнергия

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 19.

Таблица 19 – Затраты на электроэнергию

	Наименование оборудования	Цена, Ц, руб.	N, кВт	n	t _{зан.ч.} , ч.	Затраты, руб.
1	Оптический микроскоп Zeiss Axiovert	4,36	0,7	1	20	61,04
2	Растровый электронный микроскоп LEO EVO 50		2	1	40	348,8
3	Испытательная машина INSTRON		2	1	40	348,8
4	ЧПУ фрезерный станок		0,4	1	80	139,52
5	Термопресс GoTech		2	1	40	348,8
6	Компьютер		0,3	1	120	156,96
7	Триботметр CSEM CH-2000		1	1	20	87,2
	Итого:					1 491,12

4.8 Общая смета затрат НТИ

Составим общую смету затрат на НТИ (таблица 20)

Таблица 20 – Смета затрат на НТИ

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, покупные изделия	48 916
Амортизация оборудования	15 850
Заработная плата	165 656,6
Отчисления на социальные нужды	49 696,9
Накладные расходы	132 525,3
Расходы на электроэнергию	1 419,12
ИТОГО	414 063,92

5 Определение ресурсной и финансовой эффективности научно-исследовательского проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научно-исследовательского проекта. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \Phi_{pi} / \Phi_{\max},$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Себестоимость проекта составляет 414 063,9 рублей (таблица 22). С учетом плановой прибыли (при рентабельности 30%) в 124 219,2 рублей стоимость проекта составляет 538 283,1 рублей.

Получаем:

$$I_{\Phi}^p = 414\,063,9 / 538\,283,1 = 0,77$$

В случае замены полимера матрицы на полиимид, себестоимость проекта составит 434 235,9 рублей. В случае использования эпоксидной смолы – 395 371,9 рублей. Получаем:

$$I_{\Phi}^{a1} = 434\,235,9 / 538\,283,1 = 0,81,$$

$$I_{\Phi}^{a2} = 395\,371,9 / 538\,283,1 = 0,73$$

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

$$I_{Ti} = \sum a_i \times b_i,$$

где I_{Ti} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности осуществляется на основании таблицы 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (полиимдная матрица)	Аналог 2 (эпоксидная матрица)
1. Уровень новизны	0,1	5	4	3
2. Конкурентоспособность	0,2	5	4	3
3. Стоимость	0,3	4	3	5
4. Сложность реализации	0,1	4	4	5
5. Надежность	0,3	5	4	3
ИТОГО	1	23	19	20

Вычисляем интегральные показатели ресурсоэффективности разработки и аналогов:

$$I_{\text{тр}}=0,1 \times 5 + 0,2 \times 5 + 0,3 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,3 \times 5 = 4,6$$

$$I_{\text{та1}}=0,1 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,3 \times 3 + 0,1 \times 4 + 0,3 \times 4 = 3,7$$

$$I_{\text{та2}}=0,1 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,3 \times 5 + 0,1 \times 5 + 0,3 \times 3 = 3,8$$

Так получаем интегральные показатели эффективности разработки и аналогов:

$$I_{тэ}^p = I_{тp} / I_{ф}^p = 4,6 / 0,77 = 5,97$$

$$I_{тэ}^{a1} = I_{та1} / I_{ф}^{a1} = 3,7 / 0,81 = 4,57$$

$$I_{тэ}^{a2} = I_{та2} / I_{ф}^{a2} = 3,8 / 0,73 = 5,21$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср1} = I_{тэ}^p / I_{тэ}^{a1} = 5,97 / 4,57 = 1,31$$

$$\mathcal{E}_{ср2} = I_{тэ}^p / I_{тэ}^{a2} = 5,97 / 5,21 = 1,15$$

Сводные данные по показателям эффективности представлены в таблице ниже.

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог1 (полиимдная матрица)	Аналог2 (эпоксидная матрица)
1	Интегральный финансовый показатель	0,77	0,83	0,73
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,6	3,7	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	5,97	4,57	5,21
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,31	1,15

Сравнение значений интегральных показателей эффективности наглядно демонстрирует, что выбранное решение поставленной в магистерской

диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности превосходит аналоги.

Заключение

В завершение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать следующие выводы по проекту:

1. Согласно оценке коммерческого и инновационного потенциала проекта, возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на проект;
2. При составлении календарного плана проекта было рассчитано количество требуемых календарных дней работ – 88 дней. Для выполнения работ над проектом задействовано 3 человека, а также была использована диаграмма Ганта, позволяющая скоординировать план работ;
3. Смета затрат научно-технического проекта составила 414 063,921 рублей;
4. Определена целесообразность проведения проекта с точки зрения ресурсоэффективности, а также произведены расчеты экономической эффективности и ресурсоэффективности проекта. Экономическая эффективность была рассчитана на основе интегрального показателя. Из расчетов выявлено, что данный проект является выгодным и превосходит аналоги.

Список используемой литературы

1. Сайт ПАО «ОАК» [Электронный ресурс] URL: <https://www.uacrussia.ru/ru/corporation/history> (дата обращения: 05.05.2020г)
2. Аналитический прогноз ПАО «ОАК» [Электронный ресурс] URL: https://uacrussia.ru/upload/market_outlook/Market_Outlook_Rus.pdf (дата обращения: 05.05.2020г)
3. Балашов, А.И. Управление проектами: учебник для бакалавров. / А.И. Балашов, Е.М. Рогова. – М.: «Юрайт», 2013. – 383 с.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ8И	Космачев Павел Владимирович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Исследование композиционных материалов на основе полиэфирэфиркетона, армированных волокнистыми наполнителями	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования</i> – образцы углекомполитов на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). <i>Рабочее место</i> расположено в помещении 46 м ² . Имеет естественное и искусственное освещение, компьютерные столы, компьютеры. Выполняются камеральные работы по обработке результатов исследований, работа с оптическим микроскопом, построение графического материала, набор текста). <i>Области применения</i> – авиакосмическая промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020)</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ</p> <p>СанПиН 2.2.4.548–96</p> <p>СП 52.13330.2016 (СНиП 23-05-95*)</p> <p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03</p> <p>СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96</p> <p>СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03</p> <p>ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.1.019-2009</p> <p>НПБ 105-03</p> <p>СНиП 2.01.02-85</p> <p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 ГОСТ 12.1.030-81</p> <p>ГОСТ Р 22.3.03-94</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91</p>
2. Производственная безопасность: Анализ выявленных вредных и опасных факторов, обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p>1. Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Микроклимат в помещении; - Освещенность рабочей зоны; - Повышенный уровень шума; - Электромагнитное излучение; - Психофизические факторы (монотонность труда, эмоциональные перегрузки). <p>2. Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Поражение электрическим током - Факторы пожарной и взрывной природы

3. Экологическая безопасность:	- Правила утилизации ПК и комплектующих; - Правила утилизации макулатуры; - Правила утилизации люминесцентных ламп
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Перечень возможных ЧС: морозы, пожар, диверсия. Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	к.т.н.		02.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ8И	Космачев П.В.		02.03.2020

Введение

В данной выпускной квалификационной работе проводится исследование влияния дисперсных и непрерывных волокнистых углеродных наполнителей на изменения механических свойств композитов на основе полиэфирэфиркетона.

Работа обладает большим потенциалом для развития промышленности, предполагаемой областью применения работы является авиакосмическая промышленность. Исследуемые композиционные материалы могут служить в роли конструкционных материалов при создании летательных аппаратов.

Рабочее место расположено в помещении 46 м². Имеет естественное и искусственное освещение, компьютерные столы, компьютеры. Выполняются камеральные работы по обработке результатов исследований, работа с оптическим микроскопом, построение графического материала, набор текста).

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Согласно российскому Трудовому кодексу Российской Федерации, нормальная продолжительность рабочей недели по проекту не может превышать 40 часов. Основной вид рабочей недели, который применялся – 5-дневная с двумя выходными днями (суббота и воскресенье). Один раз в год сотрудник должен проходить плановый медицинский осмотр [1].

В целях обеспечения защиты персональных данных (ПД), хранящихся у работодателя, работники имеют право на:

- полную информацию об их ПД и обработке этих данных;

- свободный бесплатный доступ к своим ПД, включая право на получение копий любой записи, содержащей ПД работника, за исключением случаев, предусмотренных федеральным законом;
- определение своих представителей для защиты своих ПД;
- доступ к медицинской документации, отражающей состояние их здоровья, с помощью медицинского работника по их выбору;
- требование об исключении или исправлении неверных или неполных ПД, а также данных, обработанных с нарушением требований ТК РФ или иного федерального закона.

При отказе работодателя исключить или исправить ПД работника он имеет право заявить в письменной форме работодателю о своем несогласии с соответствующим обоснованием такого несогласия. ПД оценочного характера работник имеет право дополнить заявлением, выражающим его собственную точку зрения. Работники не должны отказываться от своих прав на сохранение и защиту тайны [1].

1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Для нормального проектирования трудового процесса инженера-исследователя необходимо выполнение комплекса гигиенических требований (микроклимат, достаточная освещенность, отсутствие шума на рабочем месте, соответствующая температура и относительная влажность воздуха), приведенных в таблице. Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [2].

Рабочее место – это зона нахождения работника и средств приложения его труда, которая определяется на основе технических и эргономических нормативов и оснащается техническими и прочими средствами, необходимыми для исполнения работником поставленной перед ним конкретной задачи [3]

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81, Рабочий стул должен быть комфортным, с регулировкой наклона спинки, чтобы исключить онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Рабочее место, за которым проводилась научно-исследовательская работа, соответствует требованиям [4].

2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы [5].

В лаборатории, где находятся 2 персональных компьютера, оптический микроскоп, твердомер Instron 902, гидравлический пресс GOTECH GT-7014-A, трибомер CSEM CH-2000, контактный профилометр Alpha-Step IQ surface profiler могут быть факторы на различных этапах работ и нормативные документы по ним приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо-тка	Изгото-вление	Эксплу-атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СанПиН 2.2.4.548–96; Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
3. Повышенный уровень шума		+		Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ; Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96
4. Электромагнитное излучение	+			Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03; Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.
5.Психофизические факторы (монотонность труда, эмоциональные перегрузки. стресс)	+	+		ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
6. Поражение электрическим током		+		Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ 12.1.019-2009
7. Факторы пожарной и взрывной природы		+	+	СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы; ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования; ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.

2.1 Анализ выявленных вредных факторов. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

2.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Среди основных показателей микроклимата выделяют температуру, влажность, и отклонения в подвижности воздуха.

Для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в Таблице 2 [6].

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ.

Таблица 2 - Требования к микроклимату [7]

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха,
Холодный	легкая	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	легкая	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

В помещении, где выполнялись работы была возможность измерения лишь температуры, которая поддерживалась порядка 22-24°С, что удовлетворяет нормативным требованиям.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение

надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов [6].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, но, так как в лаборатории установлены пластиковые стеклопакеты, применение средств защиты не требуется. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей. Для этого следует установить жалюзи или рольставни.

В зимний период времени, когда действует отопительный сезон, когда влажность воздуха составляет 20-25% вместо 40 % нормативных для повышения влажности эффективно использовать увлажнители воздуха и регулярно проветривать помещение. В качестве средств увлажнения можно использовать открытые емкости с водой, влажные ткани, а также распыление в воздухе воды.

2.1.2 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95* в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк [8-10].

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 9$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы [8].

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м; B – ширина, м, $S = 46 \text{ м}^2$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{п} = 70\%$. 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 = 1200 Лм

Лампы работают только совместно с электро-магнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭмПРА). Тип светильника ОД – 2-40.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , 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:

$$h = h_n - h_p,$$

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 1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

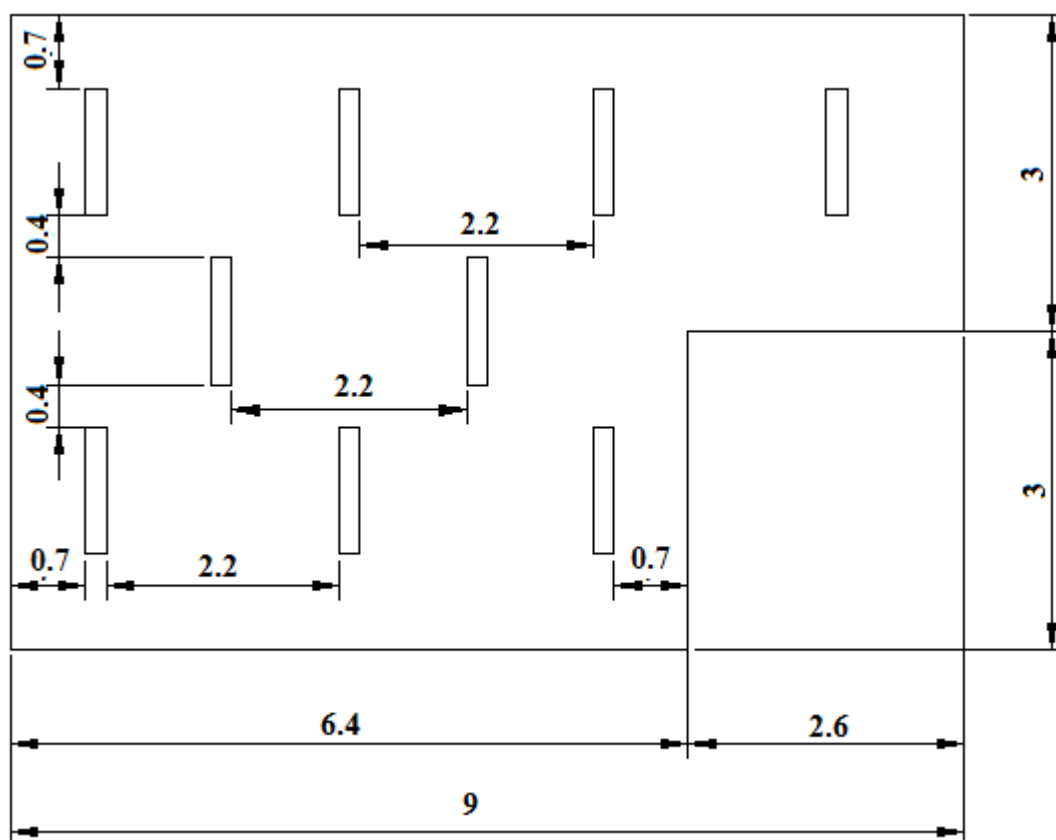


Рисунок 1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами (в метрах)

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{46}{2,0 \cdot (9 + 6)} = 1,5$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,5$ равен $\eta = 0,43$.

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 $F_{\text{л}}$ (лм) при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминесцентных лампах рассчитывают по формуле (по СНиП 23-05-95):

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

где E — нормированная минимальная освещенность, лк; $A \cdot B$ — площадь освещаемого помещения, м²; Z — коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{ср}/E_{\min}$, 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; η — коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от к. п. д. и кривой распределения силы света светильника, коэффициента отражения потолка ($r_{п}$) и стен ($r_{с}$), 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.

2.1.3 Превышение уровня шума

Шум - колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие.

Шумовой фон помещения создают шесть одновременно работающих компьютеров. Периодически возникает шум, исходящий от принтера или

телефонных аппаратов. Допустимый уровень шума для работы программиста, в соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [10] представлен в Таблице 3.

Таблица 3 – Предельно допустимые уровни звукового давления [10]

Вид трудовой деятельности / частоты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Работа, требующая сосредоточенности, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64

2.1.4 Электромагнитное излучение

Дипломная работа выполнялась с применением персонального компьютера (персональной электронной вычислительной машины, ПЭВМ). Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение. Оно пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в Таблице 4 [11].

Таблица 4 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах [11]

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения.

СИЗ:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани. При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами;
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154-85 [12].

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения

воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

2.1.5 Психофизические факторы

Психофизические факторы воздействуют на организм в виде физических нагрузок и нервно-психологических перегрузок, которые обуславливаются монотонностью труда, эмоциональными перегрузками.

Высокая, связанная с влиянием факторов трудовой нагрузки большой интенсивности, длительности или психологической значимости для работающего человека степень функционального напряжения организма при труде может сказаться в пребывании работника в стрессовом состоянии, умственном перенапряжении.

Для снижения воздействия данной группы факторов и восстановления нервной системы рекомендуется уделять время после работы на занятия спортом, своим хобби или просто прогулки по улице. Физические упражнения - один из лучших способов справиться со стрессом. Выделяют обычно упражнения для тренировки сердечно-сосудистой системы, на растяжение и силовые упражнения. Эффективны для снижения стресса также глубокое диафрагмальное дыхание, аутогенная тренировка и медитации. Кроме того, необходимо делать перерывы на восстановление и в течение рабочего дня.

2.2 Анализ выявленных опасных факторов. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.

2.2.1 Поражение электрическим током

Главными источниками опасности в лаборатории полимерных материалов являются факторы воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно [13].

Электроустановки классифицируют 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) [14].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током.

СКЗ:

Основные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- изолирующие штанги;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- инструмент с изолирующими ручками.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия, накладки. [13].

Необходимо также соблюдать маркировки электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током (класс 0-III).

- К классу 0 должны относиться изделия, имеющие рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III;

- К классу I должны относиться изделия, имеющие рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом;
- К классу II должны относиться изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления;
- К классу III следует относить изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении, не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении.

Перед началом работы с любыми электроприборами работник должен пройти инструктаж.

5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В, так как в ней находятся деревянные столы, стулья, оконные рамы [15]. По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам) [16]. Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. [14].

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей [17].

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности [16], а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (Рисунок 2).



Рисунок 2 – План эвакуации первого этажа ИФПМ СО РАН

3 Экологическая безопасность

Представленная исследовательская работа напрямую не имеет каких-либо негативных факторов, которые могли бы сказаться на экологии нашей планеты. Однако стоит задуматься об утилизации, а именно, о переработке отработанных углепластиковых образцов, люминесцентных ламп и электронной техники (компьютеров, принтеров и т.д.). Утилизация такого оборудования является достаточно сложной, так как такие отходы имеют сложную структуру. Непосредственная переработка большей части компонентов включает в себя их сортировку, последующую гомогенизацию и отправку для повторного использования, т.е. с предварительным помолом или переплавкой.

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать

определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов. Категорически запрещено размещение таких отходов, как люминесцентные лампы, на полигонах твердых бытовых отходов.

Производство углепластика оказывает немалое влияние на окружающую среду из-за выброса в атмосферу продуктов сжигания различных видов топлива. При этом в атмосферу поступают двуокись углерода и сероводород, а также пыль с содержанием графита.

Вредными веществами являются оксиды углерода, серы и азота. Ежегодное поступление в атмосферу сернистого газа оценивается специалистами-экологами в объеме 100–150 млн. т. С его выбросами связано образование так называемых кислотных осадков, которые наносят большой вред растительному и животному миру, разрушают различные сооружения, памятники архитектуры [9].

В результате такого загрязнения окружающей среды происходит ухудшение здоровья населения, снижается продолжительность жизни, увеличивается смертность.

Исходя из вышеизложенного, на предприятии в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 необходимо организовать санитарно-защитные зоны, которые обеспечат уменьшение воздействия загрязнения на атмосферный воздух (химического, биологического, физического) до значений, установленных гигиеническими нормативами [18].

В санитарно-защитной зоне не допускается размещать: жилую застройку, включая отдельные жилые дома, ландшафтно-рекреационные зоны, зоны отдыха, и т. д.

Допускается размещать в границах санитарно-защитной зоны промышленного объекта или производства здания и сооружения для

обслуживания работников указанного объекта и для обеспечения деятельности промышленного объекта (производства).

Также необходимо ограничить количество выбросов вредных веществ в атмосферу, почву и воду [18].

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов [15].

4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы, пожары и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Согласно ГОСТ Р 22.3.03-94 Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о

системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации [19].

Наиболее возможной ЧС для лаборатории является пожар. Основными причинами пожара являются: неисправности в электрических сетях, нарушение технологического режима и мер пожарной безопасности (курение, разведение открытого огня, применение неисправного оборудования и т.п.).

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар (взрыв), на ограничение (локализацию) распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности.

Соблюдение технологических режимов производства, содержание оборудования, особенно энергетических сетей, в исправном состоянии позволяет, в большинстве случаев, исключить причину возгорания. Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер.

Первоначальное тушение пожара (до прибытия вызванных сил) успешно проводится на тех объектах, которые оснащены автоматическими установками тушения пожара. При обнаружении возгорания необходимо реагировать на пожар быстро, используя все доступные способы для тушения огня (песок, воду, огнетушители и т.д.). Если потушить огонь в кратчайшее время невозможно, вызовите пожарную охрану предприятия (при ее наличии) или города (по телефону 01, 101 с сотового или 112). При эвакуации горящие помещения и задымленные места необходимо проходить быстро, задержав дыхание, защитив нос и рот влажной плотной тканью. В сильно задымленном помещении передвигаться ползком или пригнувшись – в прилегающем к полу пространстве

чистый воздух сохраняется дольше. Нельзя подходить к взрывоопасным предметам и трогать их. При угрозе взрыва необходимо ложиться на живот, защищая голову руками, дальше от окон, застекленных дверей, проходов, лестниц. Если произошел взрыв, принять меры к недопущению пожара и паники, оказать первую медицинскую помощь пострадавшим [16, 20].

Выводы по разделу

В данном разделе ВКР рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на рабочем месте при выполнении данной научно-исследовательской работы.

Проведен анализ вредных и опасных факторов. Среди вредных факторов выделены отклонения микроклимата, недостаточная освещенность на рабочем месте, повышенный уровень шума, воздействие электромагнитного излучения, эмоциональное перенапряжение и монотонность работы. Среди опасных – риск поражения электрическим током, факторы пожарной и взрывной природы. Обоснованы мероприятия по снижению их воздействия.

Рассмотрены аспекты экологической безопасности, связанные с переработкой отработанных углепластиковых образцов, люминесцентных ламп и электронной техники (компьютеров, принтеров и т.д.).

Рассмотрены вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях. Возможными ЧС на объекте могут быть сильные морозы, пожары и диверсия. Наиболее вероятная ЧС – пожар.

Данный раздел будет полезен при внедрении научных разработок проекта на производстве.

В ходе проведенного анализа установлено, что рабочее место соответствует нормативно-технической документации.

Список используемой литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020)
2. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
3. Воловская Н. М. Экономика и социология труда: Учебник для вузов/Н. М. Воловская – 3-е изд., доп. – М.: НОРМА, Новосибирск: Сибирское соглашение, 2011. – С. 102.
4. ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»
5. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
6. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
8. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
10. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)"
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
12. ГОСТ 12.4.154-85 Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты
13. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

14. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
15. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
16. СНиП 2.01.02-85 Противопожарные нормы
17. ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление
18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов
19. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения
20. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования