

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Физико-механические свойства композита СВМПЭ+В₄С

620.22-419.8:678

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Хуан Жуй		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Хасанов.О.Л.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	И.В.Кашук.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	А.И.Сечин	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель специалитации <<Наноструктурные материалы>>	Г.В.Лямина	К.Х.Н.		

Томск – 2022 г.

Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FЗадачи... EANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4.), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

_____ Г.В.Лямина
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Хуан Жуй

Тема работы:

Физико-механические свойства композита СВМПЭ+В ₄ С	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 32-49/С от 01.02.2022
Срок сдачи студентом выполненной работы:	16,06,2022

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Изучение физико-механических свойства композитов СВМПЭ + В ₄ С в зависимости от условий изготовления.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Выполнить литературный обзор по теме ВКР; 2. Подготовить смеси и изготовить композитные образцы; 3. Изучить влияние технологии изготовления на физико-механические свойства композита СВМПЭ+В ₄ С.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	нет
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	И.В Кашук., доцент ОСГН ШБИП
<i>Социальная ответственность</i>	А.И.Сечинч, Д.т.н.профессор ООД ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16,06,2022
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
-----------	-----	------------------------	---------	------

Профессор ОМ	Хасанов.О.Л.	д.т.н.		
--------------	--------------	--------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Хуан Жуй		

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Хуан Жуй

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технология материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>
Перечень графического материала	
1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Хуан Жуй		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
154682		Хуан Жуй	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01. Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Физико-механические свойства композита СВМПЭ+В ₄ С	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: композит СВМПЭ+В₄С</p> <p>Область применения: космическая техника, атомная техника, ускорительная техника</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение</p> <p>Размеры помещения: 6*8 М</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны :</p> <p>планетарная шаровая мельница, устройство искрового плазменного спекания, оборудование ультразвукового прессования, электронный микрометр, электронные весы, персональный компьютер, сканирующий электронный микроскоп</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль параметров , во время плановых обходов оборудования, переключение оборудования</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 	<ul style="list-style-type: none"> – Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29; – Статья 147 ТК РФ; – ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)

<p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– ГОСТ Р 12.0.001-2013 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Движущиеся машины и механизмы; 2. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; 3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 4. Монотонность труда; 5. Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны.
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>-Негативное воздействие на окружающую среду: контакт порошок с организмом человека и естественной биотой вследствие попадания в атмо-, гидро- и литосферу;</p> <p>-Утилизация макулатура</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Подготовить огнетушители, песок, асбестовые покрывала, гидранты и пожарные купол</p> <p>Возможные ЧС:</p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами); Техногенные аварии (отказ систем безопасности; пожар)</p> <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <p><i>Пожар</i></p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154682	Хуан Жуй		

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 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения Осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16,06,2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2022	Литературный обзор	20
15.04.2022	Экспериментальная часть	20
11.06.2022	Обсуждение результатов	30
20.05.2022	Финансовый менеджмент	15
20.05.2022	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Хасанов С.Л.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель специализации «Наноструктурные материалы»	Г.В.Лямина	К.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 73 страниц, 16 рисунков, 25 таблиц и 57 источников.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, карбид бора, ультразвуковое прессование, электроимпульсное плазменное спекание, физико-механические свойства.

Объект исследования: порошки СВМПЭ и карбида бора, полученные из них композиты.

Целью выпускной квалификационной работы является: Изучение физико-механических свойств композитов СВМПЭ + В₄С в зависимости от условий изготовления.

В процессе исследования проводились: обзор литературы по теме ВКР; изготовление композитов из подготовленных смесей СВМПЭ + В₄С методами ультразвукового прессования и электроимпульсного плазменного спекания, оценка влияния метода подготовки смесей и режимов консолидации порошков на физико-механические свойства.

Методы исследования: определение плотности образцов, измерение твердости по Шору, измерение скорости продольной волны с помощью ультразвукового толщиномера в образцах, вычисление модуля упругости, изучение подготовленных смесей с помощью сканирующей электронной микроскопии.

В результате исследованы влияние метода подготовки смесей и метода консолидации на физико-механические свойства композитов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	15
1.1 Современное состояние технологии производства полимерных композитов на основе СВМПЭ.....	15
1.2 Физико-химические свойства СВМПЭ и карбида бора (B_4C)... ..	17
1.2.1 Физические и химические свойства СВМПЭ.....	17
1.2.2 Физические и химические свойства B_4C	18
1.3 Способ изготовления композитов на основе СВМПЭ и B_4C и направления исследований физико-механических свойств.....	19
1.3.1 Способ изготовления композитов и результаты исследований физико-механических свойств.....	20
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	25
2.1 Материал исследований.....	25
2.2 Подготовка смесей.....	25
2.3 Изготовление композитных образцов.....	26
2.4 Изучение исследуемых образцов.....	28
2.4.1 Определение плотности образцов.....	28
2.4.2 Определение твердости образцов.....	29
2.4.3 Измерение упругих свойств.....	30
2.4.4 Сканирующая электронная микроскопия.....	30
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	32
3.1 Влияние способа смешивания на морфологию исходных порошков.....	32
3.2 Изготовление образцов и их физико-механические свойства	34
3.2.1 Ультразвуковое прессование.....	34
3.2.2 Электроимпульсное плазменное спекание (SPS).....	35
3.2.3 Ультразвуковое прессование + электроимпульсное плазменное спекание (SPS).....	36
ВЫВОДЫ.....	38
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,	

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	39
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	39
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	39
4.1.2 SWOT-анализ	41
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	45
4.2.1 Структура работ в рамках НИР	45
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	45
4.3 Бюджет научно-технического исследования	48
4.3.1 Расчет материальных затрат	48
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	49
4.3.3 Основная заработная плата	50
4.3.4 Дополнительная заработная плата	51
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	52
4.3.6 Накладные расходы	52
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР	52
4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	53
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности ..	54
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР	54
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	55
4.5 Выводы по разделу	56
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	58
5.1 Введение	58
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59

5.3 Производственная безопасность.....	60
5.4 Анализ вредных производственных факторов.....	61
5.5 Анализ опасных производственных факторов.....	62
5.6 Экологическая безопасность.....	64
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	65
5.8 Выводы по разделу.....	66
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	67

ВВЕДЕНИЕ

Композиты на основе полимерных матриц из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и карбида бора являются перспективными материалами для радиационной защиты компонентов микро- и наноэлектроники. Композиты с оптимальным составом и микроструктурой имеют низкий удельный вес и высокую ударную вязкость. Исследования физико-механических свойств композиционных материалов СВМПЭ+В₄С имеют большое практическое значение для развития космической техники, атомной техники, ускорительной техники и других областей. Синтез таких материалов ограничен плохой смачиваемостью карбидов СВМПЭ, плохой адгезией СВМПЭ к В₄С и низкими скоростями потока полимера, поэтому выбор подходящего метода получения этого материала и максимизации его характеристик является актуальной задачей. Авторы данной работы предлагают сравнить физико-механические свойства образцов, полученных разными способами подготовки, и выбрать лучший способ изготовления. В мировой литературе мало данных о композитах с повышенным содержанием В₄С в матрице СВМПЭ. Исследования ограничиваются 10-20 масс. % В₄С. Отмечается ухудшение смачиваемости матрицей СВМПЭ при увеличении содержания наполнителя. Увеличенное содержание наполнителя актуально для разработки радиационно-защитных композитных материалов на основе СВМПЭ и В₄С. В нашей работе содержание В₄С составляло 75 массовых %. Кроме того, мы использовали ранее не применяемые способы консолидации таких композитом. Среди них мощное ультразвуковое прессование и электроимпульсное плазменное спекание. Использование этих методов консолидации и их комбинирование может помочь обеспечить необходимую

высокую наполненность композита.

Цель данной работы заключается в изучении физико-механических свойства композитов СВМПЭ + В₄С в зависимости от условий изготовления.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Подготовка смесей на основе исходных компонентов;

Изготовление композитных материалов с помощью ультразвукового прессования, электроимпульсного плазменного спекания и их комбинации;

Изучение физико-механических свойств изготовленных композитных образцов.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Согласно выбранной теме исследований для литературного обзора выбрано три основных направления:

- Современное состояние технологии производства полимерных композитов на основе СВМПЭ,
- Физические и химические свойства СВМПЭ и карбида бора (B_4C),
- Способ изготовления композитов на основе СВМПЭ и B_4C .

1.1 Современное состояние технологии производства полимерных композитов на основе СВМПЭ

Полимерные композиты на основе СВМПЭ представляют собой композиционные материалы, образованные из СВМПЭ и других структурных единиц различными способами. В настоящее время наиболее распространенным методом приготовления является метод горячего прессования. Метод горячего прессования относится к способу формования и спекания сырья в изделия в условиях нагревания и одновременного давления, представляет собой процесс совмещения формовки и спекания сырья. Методом горячего прессования легко получить спеченное тело, близкое к теоретической плотности, легко получить мелкозернистую структуру. Однако производительность низкая, стоимость высокая, а в некоторых случаях опасно.

СВМПЭ благодаря уникальному комплексу свойств находит широкое применение во многих отраслях промышленности, сельского хозяйства, атомной энергетики, медицины. Изделия из СВМПЭ используются в широком спектре применений, где абразивный износ является основным способом

отказа. Среди них конвейерные ленты, лопасти, шестеренки, втулки, уплотнения, подшипники, желоба, насосы, работающие с промышленными жидкостями, содержащими абразивы и другие изделия. Поэтому часть исследований направлена на улучшение абразивной стойкости СВМПЭ. Одним из механизмов увеличения абразивной стойкости СВМПЭ является механизм «поверхностной смазки». Он возможен при образовании смазочного слоя на поверхности трения. Образованию смазочного слоя способствуют следующие наполнители: MoS_2 [23], графит [24], тальк [25], нано-кремнезем [26]. Использование наноразмерных частиц SiC в качестве наполнителя позволило также повысить стойкость к абразивному износу на 35 %. Авторы отмечают, что высокое содержание наполнителя (более 10 % микропорошка SiC) приводит к неправильному смачиванию частиц матрицей СВМПЭ. Этот эффект сопровождается «выкапыванием» частиц SiC при истирании и увеличением износа [27]. Похожие результаты были получены при добавлении частиц V_4C . Добавка в 6-8 % микрочастиц V_4C привела к повышению износостойкости также на 35 % [28]. В общем и целом, твердые частицы, такие как AlN, TiN, Si_3N_4 , SiC, V_4C значительно повышают абразивную устойчивость СВМПЭ. Авторы отмечают, что оптимальное количество наполнителя для максимальной износостойкости находится в диапазоне от 8 до 10%. Добавление включений твердых частиц сопровождается значительным сокращением основных механизмов износа – микро-резки и микро-вспахивания [29].

СВМПЭ является одним из полимеров, устойчивых к облучению. Сшивание, вызванное облучением, может быть использовано для повышения свойств композитов на основе СВМПЭ, в частности износостойкости.

Радиационно-стойкая матрица СВМПЭ может использоваться для разработки композитных материалов, заполненными порошками, способными поглощать гамма и нейтронное излучение. Добавка частиц B_4C полезна для улучшения свойств СВМПЭ как поглотителя нейтронного излучения. Добавка 7 % B_4C приводит к увеличению коэффициента ослабления нейтронного излучения с 0,33 до 3,65 cm^{-1} (увеличение на 1006 %) [30]. Однако, авторы отмечают, что старение образцов композита при 70°C в течение одной недели сильно влияет на механические свойства и приводит к снижению относительного удлинения при разрыве и предела прочности. Использование тяжелых металлов в качестве наполнителя в композитах придает им рентгеновские защитные свойства [31-33]. При этом наблюдается улучшение радиационно-защитных свойств композита при увеличении содержания наполнителей (B_4C , W, Bi_2O_3). С другой стороны, более высокое содержание наполнителей в полимерно-матричных нанокompозитах приводит к увеличению модуля упругости, напряжения растяжения и прочности на растяжение. Однако удельное удлинение значительно уменьшается [34].

1.2 Физико-химические свойства СВМПЭ и карбида бора (B_4C)

1.2.1 Физические и химические свойства СВМПЭ

Свермолекулярной полиэтилен (СВМПЭ) представляет собой высокополимеризованную полиэтиленовую смолу с высокой молекулярной

массой (обычно от 3×10^6 до 8×10^6 г/моль) с превосходной ударопрочностью, стойкостью к истиранию, смачиваемостью, химической стойкостью и другими свойствами. СВМПЭ не имеет запаха, вкуса и нетоксичен. Он воплощает в себе характеристики устойчивости к концентрированным кислотам и щелочам, а также многочисленным органическим растворителям [1].

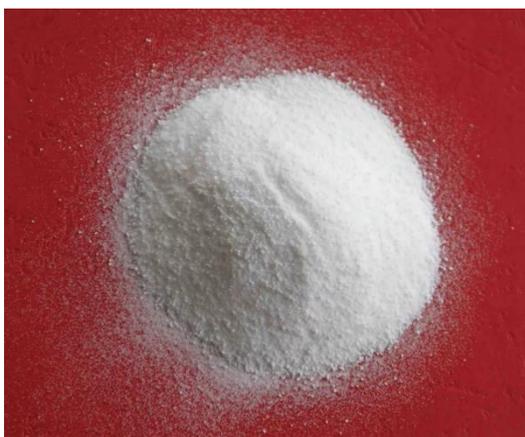


Рисунок 1.1. – Порошок СВМПЭ

Физико-химические свойства материалов на основе СВМПЭ определяются его атомным, молекулярным и надмолекулярным строением. СВМПЭ с наполнителями из карбида бора и/или тяжелых металлов являются перспективными материалами для производства бронезащитных элементов и радиационной защиты [2]. СВМПЭ содержит большое количество водорода, а атомная масса водорода аналогична массе нейтронов [3], что делает его идеальным для замедления быстрых нейтронов. После упругого рассеяния нейтронов на водороде они сбрасывают энергию до тепловых значений [4]. Добавка частиц B_4C полезна для улучшения свойств СВМПЭ как поглотителя нейтронного излучения [5– 12].

1.2.2 Физические и химические свойства B_4C

Карбид бора — это материал с высокими значениями твердости, механической прочности и температуры плавления. Его плотность $-2,52 \text{ г/см}^3$. Микротвёрдость - $49,1 \text{ ГПа}$; модуль упругости -450 ГПа [13]. На воздухе он не окисляется до $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Карбид бора не растворяется в воде, концентрированных кислотах, но разрушается кипящими растворами щелочей. Используется в износостойких композитах как керамическая армирующая фаза, как нейтронный поглотитель в радиационно-защитных материалах, и т. д.



Рисунок 1.2. - Карбид бора

В работе [14] авторы предполагают, что добавка частиц B_4C увеличивает степень запутанности молекулярных цепей в аморфной области СВМПЭ. В свою очередь этот эффект приводит к увеличению устойчивости матрицы к сдвигу. Сильно запутанные молекулярные цепи предотвращают переход интерфазы в кристаллическую область, тем самым увеличивая содержание интерфазы СВМПЭ и, следовательно, смягчая структурные повреждения во время трения.

1.3 Способ изготовления композитов на основе СВМПЭ и B_4C и направления исследований физико-механических свойств

Низкий показатель текучести расплава СВМПЭ, обусловленный его высокой молекулярной массой, накладывает ограничения на получение материалов экструзией и литьем. Наиболее распространенным способом изготовления изделий можно выделить горячее прессования.

1.3.1 Способ изготовления композитов и результаты исследований физико-механических свойств

Важной стадией изготовления композитов с использованием СВМПЭ является смешивание исходных компонентов. Перспективным в данном случае является метод, базирующийся на технологии твердофазного деформационного смешения. Один из них – обработка в планетарной шаровой мельнице [15]. В условиях сильного ударно-сдвигового деформирования в материале происходят процессы пластической деформации, диспергирования и перемешивания, которые приводят к образованию композиционных структур.

Смешанные порошки готовили в работе [16] механохимическим сплавлением исходных порошков в планетарной мельнице АГО-2. Из работы [16] известно, что обработка полимеров СВМПЭ и механических композитов B_4C / W в планетарной шаровой мельнице приводит к формированию на полимерной матрице равномерно распределенных частиц карбида бора и вольфрама и их совместная механоактивация с полимером способствует изменению параметров тонкой структуры карбида бора B_4C , модификации полимера. Молекулярная масса СВМПЭ при этом снижалась без явной окислительной деструкции полимера.

Метод приготовления, выбранный в работе [17], состоит в том, чтобы сначала механически смешать два порошка в высокоэнергетической шаровой

мельнице, а затем поместить смешанный порошок в компрессионную плиту при определенной температуре и давлении для подготовки к прессованию. Биоккомпозит СВМПЭ-СаTiO₃ был изготовлен с использованием компрессионного формования при 180 °С с высокой плотностью, сравнимой с плотностью СВМПЭ. Кажущаяся плотность СВМПЭ/СаTiO₃ составляет 0,9144 г/см³ (93,07%). Измеренные значения плотности композитов приведены в таблице 1.1. Твердомер Шора использовали для измерений в разных местах композитного листа. Среднее значение твердости составляет 64,4 – 64. Добавление СаTiO₃ показывает постепенное увеличение твердости композита за счет армирования титанатом кальция.

Таблица 1.1. - Определение плотности композита

Sample	Expt. No.	Wt. of Sample in air (A)	Wt. of in Paraffin (B)	Apparent Density (g/cc)	Avg. Density (g/cc)
UHMWPE	1	0.2828	0.0350	0.9128	0.9144
	2	0.2790	0.0344	0.9126	
	3	0.2856	0.0356	0.9137	
	4	0.2329	0.0301	0.9185	

Смешанные порошки также готовили с использованием шаровой мельницы в работе [18]. Полученный порошок имеет морфологические характеристики полиэтиленового покрытия на поверхности В₄С. Площадь поверхности смешанного порошка увеличена по сравнению с В₄С и уменьшена по сравнению с СВМПЭ. В этой работе, прочность на сжатие образцов (Обыкновенный портландцемент, В₄С, цементные пасты с содержанием СВМПЭ 4% масс. и композит) измеряли с использованием испытательной машины (Microtest Tensile 5 K Dual Leadscrew Stage Controller,

Deben, UK), специально разработанной для небольших образцов. Образцы были измерены после гидратации в течении 1, 3, 7, 28 и 1000 дней.

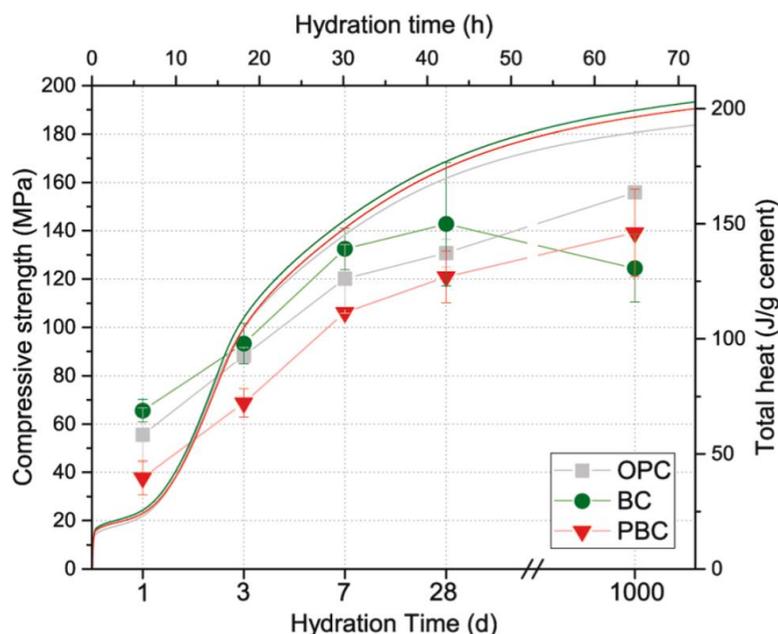


Рисунок 1.3. - Сравнение изменения прочности на сжатие (сплошная линия с маркером, левая/нижняя ось) и кумулятивного тепловыделения (сплошные линии, правая/верхняя ось) в зависимости от времени гидратации цементного теста с различными добавками (B_4C , СВМПЭ и композит).

В работе [19] шаровая мельница (MSK-SFM-11, Hefei Kejing Co., LTD, Китай) использовалась для измельчения со скоростью 300 об/мин в течение одного часа, а затем Gd_2O_3/B_4C /СВМПЭ смесь подвергали предварительному прессованию в течение 5 минут под давлением 2 МПа, температуру повышали до 200 °С, повышали давление до 40 МПа и выдерживали указанные выше условия в течение 30 мин.) Модуль Юнга и предел прочности при растяжении полученных образцов были улучшены. Из-за закрепляющего эффекта Gd_2O_3 и B_4C на СВМПЭ, который ограничивает гибкость и подвижность цепи СВМПЭ, а интерфейс между наполнителями ($Gd_2O_3+B_4C$) и СВМПЭ помогает поделиться напряжением в материале. В этой работе также указано, что композиты, состоящие из наноразмерных наполнителей, обладают

наибольшей прочностью на растяжение, поскольку наноразмерные наполнители более дисперсны, агломерация наполнителей и эффект концентрации напряжений внутри материала снижаются [20]. А с увеличением содержания наполнителя повышается предел прочности композитов. Кривые напряжение-деформация композитов различного состава представлены на рисунок 1.4. В таблице 1.2 приведены некоторые механические параметры композитов с различными компонентами.

Таблица 1.2. - Механические параметры композитов с различными КОМПОНЕНТАМИ

Composite materials (wt%)	Young's modulus (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation(%)
10 wt% microGd ₂ O ₃ /20 wt% B ₄ C/70 wt% HDPE	1192.3	17.2	7.4
10 wt% M-microGd ₂ O ₃ /20 wt% B ₄ C/70 wt% HDPE	1203.1	17.5	7.3
10 wt% nanoGd ₂ O ₃ /20 wt% B ₄ C/70 wt% HDPE	1281.7	18.4	8.2
10 wt% M-nanoGd ₂ O ₃ /20 wt% B ₄ C/70 wt% HDPE	1297.9	19.6	7.9
10 wt% nanoGd ₂ O ₃ /10 wt% B ₄ C/80 wt% HDPE	922.3	17.0	8.6
20 wt% nanoGd ₂ O ₃ /10 wt% B ₄ C/70 wt% HDPE	1289.8	17.4	8.0
30 wt% nanoGd ₂ O ₃ /10 wt% B ₄ C/60 wt% HDPE	1362.5	20.5	6.7
10 wt% nanoGd ₂ O ₃ /5 wt% B ₄ C/85 wt% HDPE	756.9	16.5	9.2

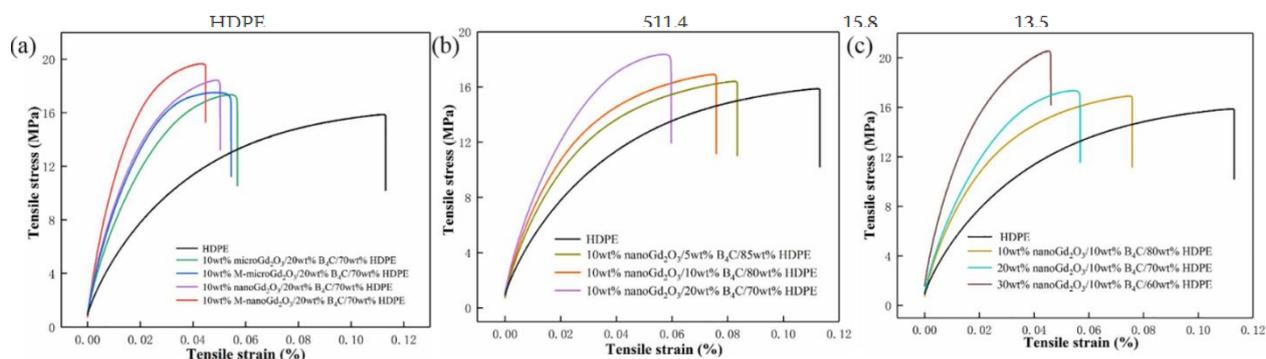


Рисунок 1.4. - Кривые напряжение-деформация композитов

В работе [21] для смешивания сырья использовались две шаровые мельницы, первая - шаровая планетарная мельница с воздушным охлаждением - Fritsch Pulverisette 5 - вращающаяся со скоростью 350 об/мин. Второй - более

мощная водоохлаждаемая планетарная шаровая мельница АПФ-3 (производства "Новосибирский испытательный центр") на 400 об/мин. Экспериментальные данные механических свойств полученных композитов следующие:

Таблица 1.3. - Механические свойства полимерно-матричных композитов различного состава

Specimen	Elastic modulus (E-modulus) (GPa)	Tensile yield point (0.2%) (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Specific elongation (%)
UHMWPE GUR 4120 pure	0.8	17	21	400
UHMWPE + 18% W + 12% B ₄ C	1.4	19	26	90
UHMWPE + 18% W + 12% B ₄ C irradiated with neutrons (E > 0.3 MeV) up to a dose of 10 ¹⁶ neutron/cm ²	1.7	20	25	12
UHMWPE + 30% W + 20% B ₄ C	0.4	18	27	2.00
UHMWPE + 60% W _n	0.4	13	26	100

Эти данные показывают, что модуль упругости, растягивающее напряжение и предел прочности при растяжении улучшаются после заполнения наночастицами W и B₄C в СВМПЭ. При этом удельное удлинение значительно снижается [22]. А после использования пучка быстрых нейтронов для облучения конформного материала 8%W+12%B₄C материал покажет снижение пластичности и удлинения, но предел прочности и предел текучести останутся неизменными. Результаты механических испытаний композитов после облучения приведены в табл.1.3.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материал исследований

Композитные образцы СВМПЭ-В₄С изготавливали из порошка СВМПЭ GUR 2122 (Celanese, Германия) и порошка В₄С (ООО ОКБ-БОР, Россия). Молекулярная масса порошка СВМПЭ, по данным производителя, составляет $4,5 \cdot 10^6$ г/моль, размер частиц около 20 мкм, плотность – 0,93 г/см³. Порошок В₄С – размер частиц 3 мкм, плотность – 2,52 г/см³.

2.2 Подготовка смесей

Подготовку порошковых смесей осуществляли с использованием горизонтальной шаровой мельницы и планетарной мельницы.

Горизонтальная шаровая мельница МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия) (рисунок 2.1) состоит из полой цилиндрической оболочки, вращающейся вокруг своей оси. В полость цилиндрической оболочки помещали пластиковые цилиндрические контейнеры объемов 80 мл со смесью и мелющими телами. Пустое пространство между контейнерами прокладывали ветошью. В качестве мелющих тел использовали шарики из силиката циркония, диаметром 5 мм.



Рисунок 2.1 – Горизонтальная шаровая мельница МЛШ-01

Используемая планетарная шаровая мельница Pulverisette 6 (Fritsh,

Германия) снабжена четырьмя стаканами шаровой мельницы на одном поворотном столе (рисунок 2.2). При вращении поворотного стола стакан шаровой мельницы вращается вокруг оси поворотного стола и вращается вокруг собственной оси, совершая планетарное движение. Мелющие шары в банке сталкиваются друг с другом с высокой скоростью, измельчая и перемешивая образец. Объем стального стакана равен 1 л. В качестве мелющих тел использовали стальные шары диаметром от 10 до 20 мм.



Рисунок 2.2 – Планетарная шаровая мельница Pulverisette 6

2.3 Изготовление композитных образцов

Композитные образцы UHMWPE/В₄C изготавливали с использованием ультразвукового прессования, искрового плазменного спекания (ИПС, на англ. Spark Plasma Sintering - SPS), и их комбинирования.

Воздействие на порошок мощного ультразвука в процессе прессования уменьшает трение между частицами и трение между частицами порошка и стенкой формы, частично разрушает агломераты и крупные частицы [35]. Ультразвуковое прессование (УЗ-прессование) способствует повышению

плотности спрессованного изделия, ускорению диффузионных процессов [36].

Прессование проводили в специально разработанной пресс-форме, обеспечивающей ультразвуковое воздействие на компактируемый материал вдоль оси прессования. Схема установки УЗ-прессования показана на рисунке 2.3. Внутри волновода (1) установлена цилиндрическая пресс-форма (2) диаметром 10 мм. Прессование обеспечивается за счет закручивания крышки (3) на волновод (1). Крышка при закручивании давит на пуансон (4). Частота ультразвуковых колебаний составляла около 20 кГц, мощность УЗ-воздействия - 2кВт, длительность УЗ-воздействия – 7 мин., давление УЗ-воздействия – 300 МПа.

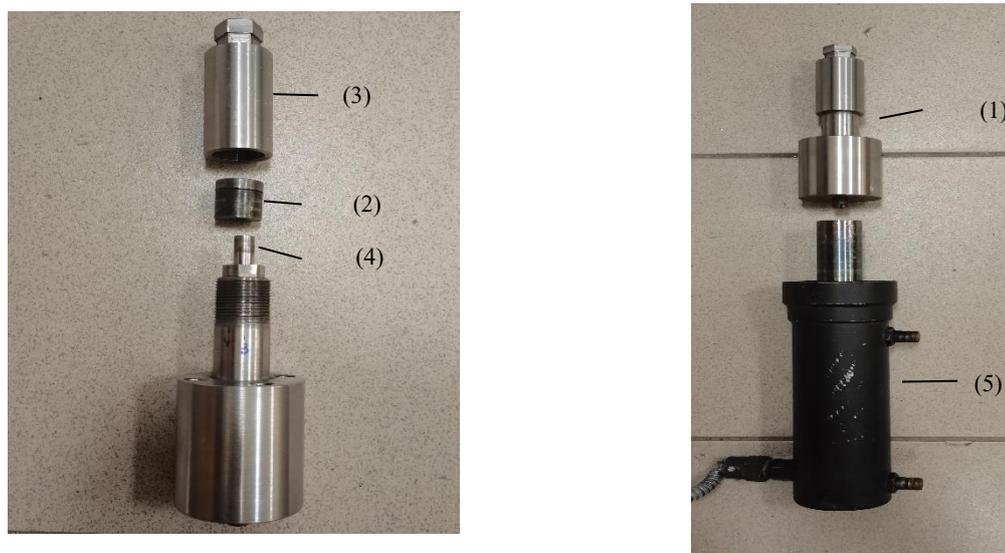


Рисунок 2.3 – Схема установки УЗ-прессования, 1) волновод, 2) цилиндрическая пресс-форма, 3) крышка, 4) пуансон, 5) магнотриксционный преобразователь

Консолидацию подготовленных порошковых смесей проводили методом электроимпульсного плазменного спекания на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония) с использованием пресс-формы из карбида вольфрама (рисунок 2.4).

Процесс проводили в вакууме при температуре 180°C с выдержкой 10 мин., давление прессования в течении всего процесса составляло 40 МПа. Для измерения температуры использовали термопару. Изменение линейных размеров образцов регистрировали с помощью встроенного оборудования технологической установки.



Рисунок 2.4 – Пресс-форма из карбида вольфрама для электроимпульсного плазменного спекания



Рисунок 2.5 – Установка для электроимпульсного плазменного спекания SPS-515S

2.4 Изучение исследуемых образцов

2.4.1 Определение плотности образцов

Для определения плотности исследуемых образцов использовали

значения диаметра, высоты и массы. Диаметр образцов измеряли с помощью электронного штангенциркуля, а высоту измеряли с помощью электронного микрометра с точностью 0,01 мм. Массу измеряли на аналитических весах с точностью 0,001 г. Относительная плотность смешанного порошка рассчитывается в зависимости от плотности и соотношения исходных материалов. За теоретические значения плотности СВМПЭ приняли 0,95 г/см³, а В₄С – 2,52 г/см³.

Таблица 2.1 - Приборы для определения плотности исследуемых образцов

Электронный штангенциркуль	Электронный микрометр	Аналитические весы
		

2.4.2 Определение твердости образцов

Твердость образцов измеряли с помощью твердомера Шора с индикатором типа D (рисунок 2.6). Сняли менее трех показаний в трех разных точках на расстоянии 5 мм друг от друга и 3 мм от обоих концов образца.



Рисунок 2.6 - Твердомер Шора с индикатором типа D

2.4.3 Измерение упругих свойств

Измерение скорости продольной волны в образцах проводили с помощью ультразвукового толщиномера 38DL PLUS (Olympus, США). Исследуемый образец помещали между двумя преобразователями и измеряли время, за которое акустический импульс, генерируемый первым преобразователем, доходил до второго преобразователя. Исходя из значений толщины образцов и измеренного времени определяли скорость звука в исследуемых образцах. Расчет модуля упругости проводили по упрощенной формуле, не учитывающей значения коэффициента Пуассона материала:

$$E = c^2 \rho$$

где c – скорость звука (м/с), ρ – плотность образца (кг/м³).



Рисунок 2.7 – Ультразвуковой толщиномер 38DL PLUS

2.4.4 Сканирующая электронная микроскопия

Сканирующую электронную микроскопию подготовленных смесей проводили с помощью прибора JSM-7500 FA (Jeol, Япония).

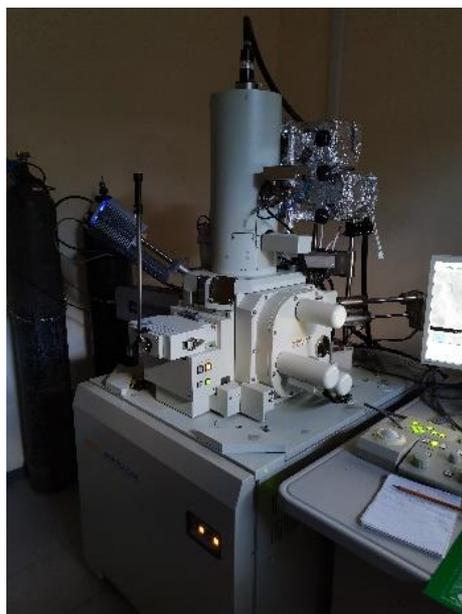


Рисунок 2.8 - Сканирующий электронный микроскоп JSM-7500 FA

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Влияние способа смешивания на морфологию исходных порошков

На рисунке 3.1 представлены СЭМ-изображения исходных порошковых материалов. СВМПЭ порошок агломерированный. Агломераты состоят из частиц близкой к равноосной форме, размером 3-6 мкм. Порошок V_4C состоит крупной (до ~15 мкм) и мелкой (менее 1 мкм) фракций. Форма частиц V_4C существенно отличается от сферической и переставляет собой многогранники неправильной формы (в основании лежит неправильный многоугольник).

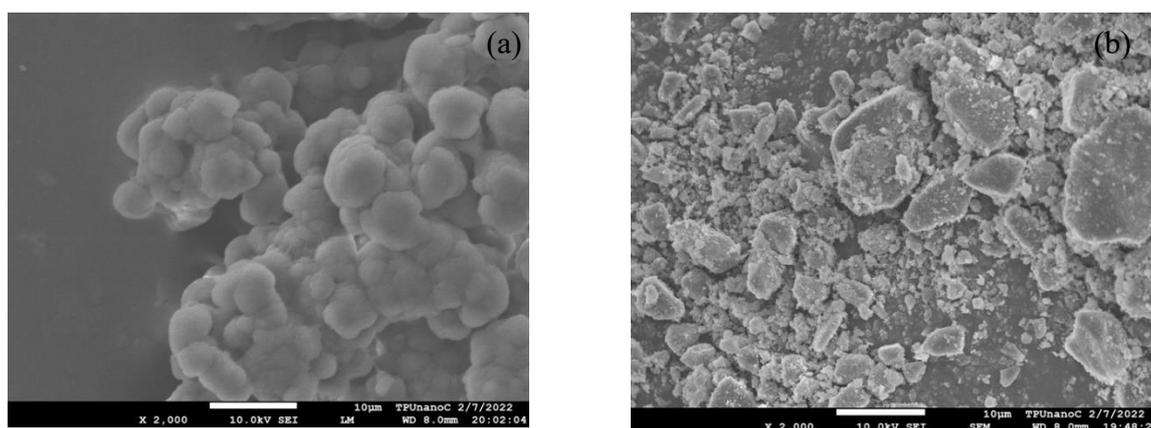


Рисунок 3.1 – СЭМ изображения исходных порошковых материалов: а – порошок СВМПЭ, б – порошок V_4C

Смешивание исходных компонентов в шаровой мельнице в течении 68 ч. приводит к разрушению агломератов СВМПЭ, покрытию частиц СВМПЭ мелкой фракцией V_4C , а также вытягиванию частиц СВМПЭ.

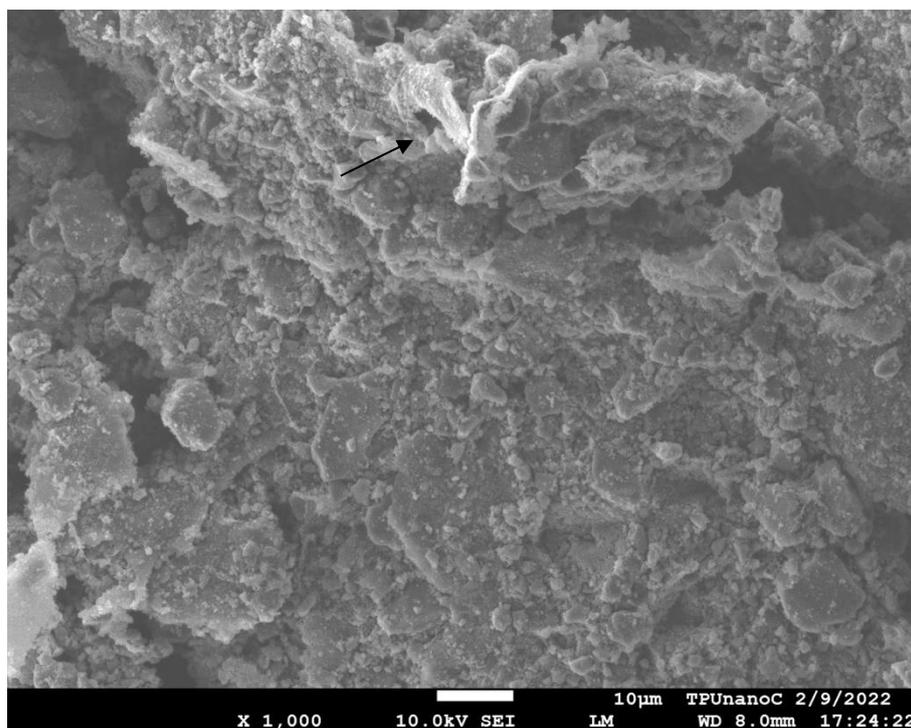


Рисунок 3.2 – СЭМ изображение смеси 75 масс. % В₄С и 25 масс. % СВМПЭ, полученная с помощью шаровой мельницы. Длительность обработки 68 ч. Стрелкой обозначены вытянутые частицы СВМПЭ

Обработка смеси в планетарной мельнице существенно сказывается на морфологии порошка СВМПЭ. Наблюдается значительное вытягивание частиц СВМПЭ в сравнении с шаровой горизонтальной мельницей. На рисунке 3.3 представлены СЭМ изображения смеси 75 масс. % В₄С и 25 масс. % СВМПЭ.

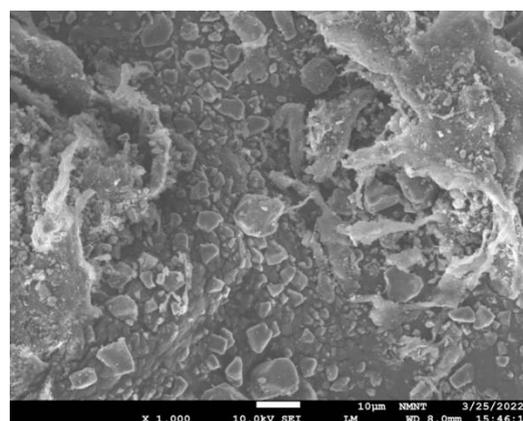
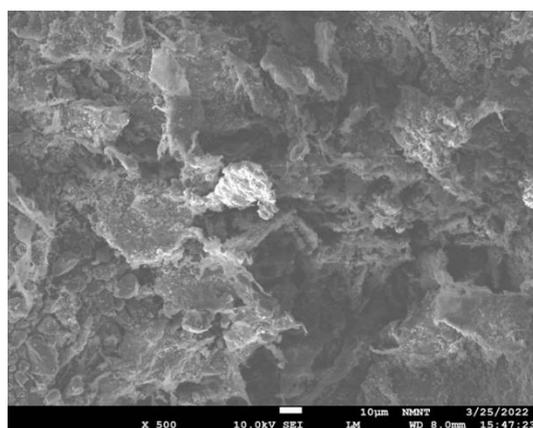


Рисунок 3.3 – СЭМ изображение смеси 75 масс. % В₄С и 25 масс. % СВМПЭ, полученная с помощью планетарной мельницы. Длительность обработки 1,5 ч.

Таким образом, наблюдается значительное вытягивание частиц СВМПЭ после обработки в планетарной шаровой мельнице.

3.2 Изготовление образцов и их физико-механические свойства

3.2.1 Ультразвуковое прессование

Образцы, изготовленные из смеси, полученной с помощью ГШМ, обладают минимальными характеристиками среди представленных образцов. Относительная плотность составляет 81,45 %. Напротив, использование ПШМ для подготовки смеси позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства образцов. Наибольшей плотностью обладает образец, изготовленный из смеси после смешивания в ПШМ в течении 1,5 ч. Относительная плотность образца составляет 94,05 %. Значения плотности образцов коррелируют с измеренными скоростью звука, модулем упругости и твердостью. Увеличение скорости звука образцах свидетельствует об улучшении контакта между частицами (смачиваемости частиц В₄С фазой СВМПЭ). Увеличение времени смешивания в ПШМ более 1,5 ч. сопровождается снижением плотности и физико-механических свойств СВМПЭ. Подробные данные по этой группе образцов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Определение плотности, твердости и Модули Юнга композитов, полученные методом УЗ-прессования

Метод смешивания	ГШМ	ПШМ
------------------	-----	-----

Длительность смешивания	68 ч	0,25 ч	0,5 ч	1 ч	1,5 ч	2 ч	3 ч
Плотность, г/см³	1.729	1.881	1.887	1.911	1.996	1.981	1.994
Относительная плотность	81.45%	88.64%	88.89%	90.03%	94.05%	93.31%	93.96%
Скорость звука, м/с	2088.24	2675.32	2628.21	3000.00	3666.67	3061.86	3111.11
Модуль Юнга, ГПа	7.54	13.47	13.03	17.20	26.84	18.57	19.30
Твердость, HD	78.50	84.32	84.83	86.82	89.89	87.99	85.35

Таким образом, использование планетарной шаровой мельницы позволяет существенно повысить физико-механические характеристики композитных образцов. Максимальными характеристиками после УЗ-прессования обладают образцы, изготовленные из смеси после смешивания в ПШМ в течении 1,5 ч.

3.2.2 Электроимпульсное плазменное спекание (SPS)

Аналогично ультразвуковому прессованию, образцы из смесей, изготовленные из смесей после смешивания в ПШМ, обладают максимальными физико-механическими характеристиками. Использование SPS помогло существенно повысить характеристики композитных образцов. Наилучшими физико-механическими свойствами обладает образец, изготовленный после смешивания в ПШМ в течении 1 ч. Близкими к нему физико-механическими свойствами обладают образцы, изготовленные из смесей после 0,5 и 1,5 ч. смешивания в ПШМ. Следует отметить увеличение относительно плотности образцов, изготовленных из смесей после 2 и 3 ч. смешивания в ПШМ. Вместе с этим наблюдается снижение скорости звука и твердости образцов. Этот эффект можно попытаться объяснить потерями

СВМПЭ при длительном смешивании в ПШМ. При уменьшении СВМПЭ ухудшается смачиваемость частиц В₄С и ухудшаются физико-механические свойства, а увеличение содержания В₄С (более плотной составляющей) приводит к увеличению плотности и некорректному ее определению относительного значения.

Таблица 3.2. Определение плотности, твёрдости и Модули Юнга композитов, полученные методом SPS

	ГШМ	ПШМ					
Длительность смешивания	68 ч	0,25 ч	0,5 ч	1 ч	1,5 ч	2 ч	3 ч
Плотность, г/см ³	2.010	2.033	2.039	2.056	2.067	2.070	2.116
Относительная плотность	94.68%	95.78%	96.05%	96.86%	97.38%	97.54%	99.56%
Скорость звука, м/с	4063.83	4600.00	4800.00	4935.48	4682.54	4341.18	3858.70
Модуль Юнга, ГПа	33.19	43.02	46.97	50.08	45.32	39.02	31.50
Твердость, HD	79.30	86.80	86.10	90.80	84.30	87.30	85.10

Таким образом, использование SPS в сравнении с УЗ-прессованием, позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства композитных образцов. Значение относительной плотности повысили с 94 % до 97 %, скорости звука с 3667 до 4935 м/с, модуля упругости с 27 до 50 ГПа. Твердость при этом не изменилась.

3.2.3 Ультразвуковое прессование + электроимпульсное плазменное спекание (SPS)

Часть образцов после ультразвукового прессования помещали в пресс-

форму для SPS и спекали. Использование дополнительной обработки в SPS позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства образцов (см. УЗ-прессование). Характеристики образцов сопоставимы с образцами, изготовленными только с помощью SPS. Вместе с этим, наблюдаются заметные улучшения физико-механических свойств образца, изготовленного из смеси, после смешивания в ПШМ в течении 3 ч.

Таблица 3.3. Определение плотности, твёрдости и Модули Юнга композитов, полученные комбинированием УЗ-прессования и SPS

	ГШМ, УЗ-4мин	ПШМ, УЗ-2мин	
		1 ч	3 ч
Длительность смешивания	68 ч	1 ч	3 ч
Плотность, г/см³	1.984	2.035	2.113
Относительная плотность	93.46%	95.89%	99.56%
Скорость звука, м/с	4314.81	4731.71	4523.81
Модуль Юнга, ГПа	36.93	45.57	43.25
Твердость, HD	85.42	87.75	88.33

Таким образом, использование дополнительной обработки в SPS образцов после УЗ-прессования позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства образцов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, использование планетарной шаровой мельницы позволяет существенно повысить физико-механические характеристики композитных образцов за счет значительного вытягивания частиц СВМПЭ.

Максимальными характеристиками после ультразвукового прессования обладают образцы, изготовленные из смеси после смешивания в ПШМ в течении 1,5 ч.

Использование SPS в сравнении с УЗ-прессованием, позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства композитных образцов. Значение относительной плотности повысили с 94 % до 97 %, скорости звука с 3667 до 4935 м/с, модуля упругости с 27 до 50 ГПа.

Использование дополнительной обработки в SPS образцов после УЗ-прессования позволяет существенно повысить плотность и физико-механические свойства образцов.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью настоящей работы является производство композиционного материала на основе полимерной матрицы из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и карбида бора и изучение его физических и механических свойства.

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Сравним три метода обработки для получения этого композита:

- метод искрового плазменного спекания(индекс «ф»);

- Метод ультразвукового прессования (индекс «к1»);

-метод искровое плазменное спекание + Метод ультразвукового прессования (индекс «к2»).

Детальный анализ необходим, т.к. каждая технология имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4.1 показано сравнение технологий-конкурентов и технологии данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
2. Количество оборудования	0,13	5	2	3	0,65	0,26	0,39
3. Безопасность	0,16	5	5	5	0,8	0,8	0,8
4. Эффективность работы	0,11	3	4	5	0,33	0,44	0,55
5. Удобство эксплуатации	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
2. Предполагаемый срок эксплуатации оборудования	0,06	3	4	3	0,18	0,24	0,18
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Итого	1	35	33	36	4,26	4,14	4,62

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальности исследования, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = (0,12 * 5 + 0,13 * 5 + 0,16 * 5 + 0,11 * 3 + 0,2 * 3 + 0,12 * 5 + 0,06 * 3 + 0,1 * 5) = 4,26$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что метод SPS + Метод УЗ- прессования-индекс «к2» является наиболее

актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Минимальное количество используемого оборудования С2. Низкая цена исходного сырья С3. Более низкая стоимость производства С4. Экологичность технологии. С5. Квалифицированная проектная команда	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. Сл2. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования. Сл3. Дороговизна оборудования. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ТПУ. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Появление проекта по производству изделий радиационной защиты с использованием СВМПЭ и карбита бора. В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У1. Потеря заказчиков и партнеров У2. Появление новых конкурентов У3. Возможный рост стоимости сырья

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в

таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	-	+
	B2	-	0	+	0	-
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	+	+	+	+

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	0	0
	B2	+	-	+	-
	B3	+	+	+	0
	B4	+	+	+	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	+
	У2	-	+	+	-
	У3	-	+	+	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p align="center">Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>C1. Минимальное количество используемого оборудования</p> <p>C2. Низкая цена исходного сырья</p> <p>C3. Более низкая стоимость производства</p> <p>C4. Экологичность технологии.</p> <p>C5. Квалифицированная проектная команда</p>	<p align="center">Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования.</p> <p>Сл3. Дороговизна оборудования.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p>
<p>Возможности</p> <p>V1. Использование оборудования ТПУ.</p> <p>V2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>V3. Появление проекта по</p>	<p align="center">Направления развития</p> <p>V1C1C3C5. Оборудование ТПУ позволяют изготавливать изделия по данной технологии.</p> <p>V2C3. Недорогое сырье дает больше возможностей для разработки новых продуктов.</p> <p>V3C1C2C4C5. Количество используемого</p>	<p align="center">Сдерживающие факторы</p> <p>V3Сл1Сл2Сл3.</p> <p>Отсутствие справочных материалов и оборудования будет тормозить развитие проекта.</p>

<p>производству изделий радиационной защиты с использованием СВМПЭ и карбита бора. В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>оборудования простое, сырье по низким ценам и отличная команда помогают развитию проекта.</p>	
<p>Угрозы У1. Потеря заказчиков и партнеров У2. Появление новых конкурентов У3. Возможный рост стоимости сырья</p>	<p>Угрозы развития УЗС5. С5 обеспечивает высокую конкурентоспособность чтобы противостоять У3.</p>	<p>Уязвимости: УЗСл1. УЗ с исследованиями могут сделать потерю заказчиков и партнеров.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования ТПУ и дальнейшее совершенствование технологии. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках НИР

Представим линейный график выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Научный руководитель, Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости

проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой *i*-ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}i}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		

1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	5	-	3.2	-	3.2	5
2. Календарное планирование выполнения НИР	2	1	4	3	2.8	1.8	2.8	5
3. Обзор научной литературы	-	7	-	10	-	8.2	8.2	13
4. Выбор методов исследования	-	5	-	7	-	5.8	5.8	7
5. Планирование эксперимента	1	4	2	6	1.4	4.8	4.8	7
6. Подготовка материалов	-	2	-	4	-	2.8	2.8	7
7. Проведение эксперимента	-	20	-	40	-	28	28	45
8. Обработка полученных данных	-	6	-	10	-	7.6	7.6	8
9. Оценка правильности полученных результатов	1	2	3	4	2	2.8	2.8	4
10. Составление пояснительной записки		10		12	-	10.8	10.8	14
Итого:	6	57	14	96	9.2	72.6	76.8	115

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ															
				январь			февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	5	■															
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	5	■	■														
3	Обзор научной литературы	Исп2	13		■	■	■												
4	Выбор методов исследования	Исп2	7			■													
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7				■	■											
6	Подготовка материалов	Исп2	7					■											
7	Проведение эксперимента	Исп2	45						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Обработка полученных данных	Исп2	8										■	■	■	■	■	■	■
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	4															■	■
10	Составление пояснительной записки	Исп2	14															■	■

Примечание:

■ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям (материальные затраты НИР, затраты на специальное оборудование, основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы и т.д.)

4.3.1 Расчет материальных затрат

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении композита СВМПЭ-В₄С. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение композита СВМПЭ-В₄С

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок СВМПЭ	кг	1	175	175
Порошок В ₄ С	кг	2	1200	2400
Итого:				2575

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного	Время использовани я,	H _A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	Планетарная(Pulverisette 6, Fritsh, Германия) шаровая мельница	1	15	0.16	7	1,50,000	14
2	Сканирующей электронной микроскоп (SEM) JEOL JSM-7500FA НОИЦ НМНТ ТПУ	1	15	0.11	7	60,000,000	3850
3	Горизонтальная	1	10	0.2	10	10,380	1.73

	шаровая мельница МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия)						
4	Оборудование SPS	1	15	0.15	7	15,000,000	1312.5
Итого:		5178,23 руб.					

4.3.3 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$z_{дн} = (z_m \cdot M) / F_d = (58500 \cdot 10.3) / 246 = 2449.39 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

где z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели:

$$z_{дн} = (z_m \cdot M) / F_d = (35100 \cdot 11.2) / 213 = 1845.63 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{np} + k_d) k_p = 30000 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 58500 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{np} + k_d) k_p = 18000 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 35100 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{осн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2449.39	9.2	22534.39
Инженер	18000	0,3	0,2	1,3	35100	1845.63	72.6	133992.74
Итого:								156527.13

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0.15 * 22534.39 = 3306.68 \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0.15 * 133992.74 = 20098,91 \quad (4.13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии

проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внед}} = k_{\text{внед}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.3(22534.39 + 3306.68) = 7752.36 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внед}} = k_{\text{внед}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.3(133992.74 + 13288.54) = 44184.38 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30%.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{нак}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
5178,23	2575	156527.13	23479.07	54001,86	241761,29	38681,80	280443,096

Определение бюджета на проект приведено в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Бюджет затрат на проектирование

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Аналог.1	Аналог.2	
1	Материальные затраты НИР	2575	2575	2575	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	5178,23	5176.5	5164.23	Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	156527.13	156527.13	156527.13	Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23479,07	23479,07	23479,07	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	54001,86	54001,86	54001,86	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	38681,80	38681,53	38679,57	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР		280443,096	280441,09	280426,86	Сумма ст. 1- 6

4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Определим значения показателя для разрабатываемой технологии и аналогов, приведенных в пункте 4.1.1 данной работы.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 280443,096 \text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.1}} = 280441,09 \text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.2}} = 280426,86 \text{руб}$.

$$I_{\text{финр(тек.пр.)}} = \Phi_{\text{тек.пр.}} / \Phi_{\text{max}} = 280443,096 / 280443,096 = 1$$

$$I_{\text{финр(исп.1.)}} = \Phi_{\text{исп.1.}} / \Phi_{\text{max}} = 280441,09 / 280443,096 = 0,999$$

$$I_{\text{финр(исп.2.)}} = \Phi_{\text{исп.2.}} / \Phi_{\text{max}} = 280426,86 / 280443,096 = 0,999$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по вариантам разработки вариант 2 считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР

(I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	3	4
2. Стабильность работы	0,15	4	4	5
3. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
4. Энергосбережение	0,15	5	5	4
5. Материалоёмкость	0,3	5	4	3
ИТОГО	1	4,45	3,9	3,55

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 = 4,45;$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 = 3,90;$$

$$I_{p3} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 = 3,55.$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (4.18)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,45}{0,95} = 4,68, \quad I_{исп.2} = \frac{3,9}{0,89} = 4,38, \quad I_{исп.3} = \frac{3,55}{1} = 3,55.$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (4.19)$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{4,68}{4,68} = 1,00 \quad \mathcal{E}_{cp2} = \frac{4,38}{4,68} = 0,94, \quad \mathcal{E}_{cp3} = \frac{3,55}{4,68} = 0,76.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР

сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,90	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,68	4,38	3,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,94	0,76

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод об эффективности разрабатываемой технологии.

4.5 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 115 дня; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 72.6 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель, составляет 9,2дня;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 280443,096 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР является финансово не выгодной по сравнению с аналогами;

2) Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 3,90 и 3,55;

3) Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,68, по сравнению с 4,38 и 3,55, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

Научно-исследовательская работа была выполнена в Научно-образовательном инновационном центре «Наноматериалы и нанотехнологии», кафедры НМНТ, ТПУ. Рабочее место, где была выполнена основная работа, находится в 021 аудитории 10 корпуса ТПУ.

В настоящей работе композиционный материал с хорошими физико-механическими свойствами на основе СВМПЭ и карбита бора был получен с использованием сочетания ультразвукового прессования и спекания SPS.

Используемое в работе оборудование и материалы, при несоблюдении техники безопасности, несут потенциальную опасность для здоровья работника, кроме того, на рабочем месте возможны различные чрезвычайные ситуации, например пожар, поэтому обнаружение вредных и опасных факторов и минимизация их воздействия на работника является важной задачей.

Данный раздел настоящей диссертации посвящен выявлению вредных и опасных факторов и поиску способов предотвращения их влияния на работника в процессе производства композиционного материала.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В лабораторию допускаются только лица, достигшие совершеннолетия, являющиеся сотрудниками или студентами (в т.ч. студенты по обмену, лица, выполняющие практические, курсовые и дипломные работы), обязательно прошедшие вводный инструктаж, обучение работе на оборудовании под руководством научных и инженерно-технических работников, прошедшие инструктаж по технике безопасности поведения в лабораторно-исследовательском помещении, технике безопасности обращении с химическими реактивами [37]. Сотрудники лаборатории обязаны регулярно проходить медицинское обследование [38].

Согласно [39] работа в лабораториях предусматривает сокращение продолжительности рабочего дня для работников, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, - не более 36 часов в неделю.

При работе с наночастицами и наноструктурными материалами все работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты: спецодежда или халат (хлопчатобумажный) прорезиненный с нагрудником; защитные латексные или резиновые перчатки; респиратор; очки защитные, с боковой защитой [38]. Контроль за исполнением требований законодательной базы осуществляется Федеральной инспекцией труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации.

Согласно ТК РФ, N 197 – ФЗ [39] каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда. Основные эргономические требования организации рабочей зоны исследователя: отсутствие лишних объектов; нужные вещи должны находиться на расстоянии вытянутой руки;

В ГОСТ 12.2.033-78 [41] установлены следующие требования для рабочего места стоя:

– рабочее место должно обеспечивать выполнение всех операций в пределах зоны досягаемости моторного поля;

– конструкция рабочего места должно обеспечивать оптимальное положение рабочего относительно рабочей поверхности, за счет регулируемой высоты рабочей поверхности или подставок для ног.

5.3 Производственная безопасность

Работа в данной лаборатории и оборудованием на ее базе связана с некоторыми вредными и опасными производственными факторами, подробное описание которых представлено далее. Вредные и опасные производственные факторы были определены из ГОСТ 12.0.003-2015 [42] (Опасные и вредные производственные факторы. Классификация). Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.	+	+	-	СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4 [41]
2. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	-	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [42]
3. Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны.	-	+	-	ГОСТ 12.1.005-88 [43]
4. Механические опасности	-	+	-	ГОСТ ISO 12100-2013 [44]

5. Термические опасности	-	-	-	-
6. Электробезопасность	+	+	-	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [45] ГОСТ 12.2.007.0-75 [46]
7. Пожаробезопасность	+	+	-	Приложение №3 к приказу ректора ТПУ №52/од от 21.06.2013 [47]

5.4 Анализ вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата. Микроклимат характеризуется тремя основными параметрами, а именно, температурой воздуха, влажностью и скоростью движения воздушных масс. Согласно классификации, СанПиН 2.2.4.548-96 [43] профессиональной деятельности по категориям тяжести на основании общих энергозатрат, инженерная и исследовательская деятельность относится к категории легких работ. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений установлены в санитарных правилах и нормах СанПиН 2.2.4.548-96 [43].

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Недостаточное освещение может снижать зрительную работоспособность, а, следовательно, и концентрацию, помимо этого возможны такие последствия как развитие офтальмоонкологических заболеваний, перегруз центральной нервной системы, и негативное влияние на психоэмоциональное состояние рабочего.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 [50] и СП 52.13330.2016 [51] норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения $KEO=1,2\%$, для совмещенного освещения $KEO=2,1\%$. Для искусственного освещения при общем освещении норма 300-500 лк, при коэффициенте пульсации не более 10 %.

Отсутствие или недостаток естественного освещения. Недостаток естественного света вызван расположением лаборатории на цокольном этаже. Отсутствие или недостаток естественного света приводит к дефициту ультрафиолетового облучения, следствием чего является нарушение обмена веществ и снижение резистентности организма [44].

Для уменьшения негативного воздействия на организм недостатка естественного света необходимо периодически (во время перерывов) покидать рабочее место и выходить в части здания, куда проникает естественный свет, или на улицу.

Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны. Химически опасным производственным фактором является порошок В4С. В4С обладает определенной токсичностью и раздражающим действием, а длительный тесный контакт требует определенных защитных мер. Например, избегайте вдыхания его пыли и прямого контакта с кожей.

Для обеспечения безопасности персонала на производствах по получению ультрадисперсных порошков и пудр, а также в местах исследования таких порошков, для создания чистого помещения осуществляются технический контроль, очистка воздуха и воды, а персонал пользуется средствами индивидуальной защиты (респираторы, халаты, перчатки) согласно ГОСТ 12.4.132-83 [52], ГОСТ 12.4.299-2015 [53].

5.5 Анализ опасных производственных факторов

Механические опасности. Повышенный уровень шума, ультразвук. Источниками шума в данном исследовании следует принять: оборудование УЗ-прессования и ультразвуковая ванна. Эти приборы провоцируют возникновение звуковых колебаний в рабочей зоне. Непрерывная работа в условиях повышенного уровня шума может стать причиной снижения работоспособности персонала, вызывать подавленное психическое состояние, стать причиной развития тугоухости, частичной глухоты.

Согласно ГОСТ ISO 12100-2013 [46] машины и механизмы имеющие подвижные части, способные нанести вред здоровью человека, должны быть оснащены защитными или предохранительными устройствами. В нашем случае оснащен защитными наушниками. В случае, когда наблюдение за процессом прессования необходимо, должны использоваться индивидуальные

средства защиты лица и глаз, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.253-2013 [54].

Электробезопасность. В ходе выполнения работы были использованы следующие электроприборы: планетарная шаровая мельница, инструмент для спекания SPS, оборудование ультразвукового прессования, электронный микрометр, электронные весы, персональный компьютер, сканирующий электронный микроскоп. Все это приборы при неправильной эксплуатации или обслуживании несут опасность поражения электрическим током.

Действие электрического тока на организм человека имеет разносторонний характер. Ток, проходящий через тело человека способен оказывать электролитическое, термическое и биологическое действие. Биологическое действие тока выражается главным образом в нарушении биоэлектрических процессов, свойственных живой материи, с которыми связана ее жизнеспособность [54].

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [47] на производстве для обеспечения электробезопасности должны быть приняты следующие защитные меры:

- защитные оболочки;
- защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей;

При работе с электроприборами должны соблюдаться «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», установленные ГОСТ 12.2.007.0-75 [48]. Все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, должны проходить инструктаж на рабочем месте, к самостоятельной работе допускаются лица, прошедшие проверку на знание техники безопасности.

Пожаровзрывобезопасность. Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-2, так как в нем присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Согласно приложению №3 к приказу ректора ТПУ №52/од от 21.06.2013

[49] в целях обеспечения пожарной безопасности в лаборатории запрещено:

- перегружать электрическую сеть;
- скручивать, завязывать электрические провода;
- хранить пожароопасные материалы ЛЖВ;

Особое внимание необходимо уделять технике безопасности при работе с печью. Перед спеканием образца из того или иного материала необходимо узнать его химический состав, температуру плавления или температуру возгорания, чтобы избежать расплавления или воспламенения образца. Это может привести к поломке печи и возникновению пожара.

При извлечении из печи еще не остывшего образца не стоит помещать его на легковоспламеняющийся материал или оставлять в непосредственной близости от легковоспламеняющихся реактивов. Кроме того, каждый работник должен знать порядок эвакуации и расположение первичных средств пожаротушения.

Психофизиологические факторы. При выполнении ВКР могут возникнуть следующие вредные факторы: умственное перенапряжение и монотонность труда. Данные факторы вызывают у человека:

- уменьшение скорости реакции;
- снижение двигательной активности;
- нервное истощение.

Термические и химические ожоги. Согласно классификации, ПНД Ф 12.13.1-03 [37] ожоги делятся на термические и химические. Причиной термических ожогов могут быть прикосновение незащищенными руками к раскаленным или сильно нагретым предметам лабораторного оборудования, воспламенение легковоспламеняющихся или горючих жидкостей.

5.6 Экологическая безопасность

Основными материалами, использованными в работе, являются порошок В₄С и порошок полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы. В₄С является одним из трех самых твердых известных материалов и может поглощать

большое количество нейтронов, не образуя никаких радиоактивных изотопов. Полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы является высокомолекулярным соединением, нетоксичным, но не может разлагаться в организме человека, постепенно оседает в легких и не может выводиться из организма.

При высокой концентрации в воздухе порошок V_4C и порошок полиэтилена со сверхвысокой молекулярной массой вызывают раздражение слизистой оболочки дыхательных путей животных и людей. В используемых в работе концентрациях порошок V_4C и порошок полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы не нанесут вреда окружающей среде.

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Здание 10 корпуса ТПУ(где находится лаборатория) расположено вдали от воды, химических предприятий, атомных электростанций в сейсмически не активном районе. Поэтому такие чрезвычайные ситуации, как затопления, цунами, землетрясения, химические и радиоактивные выбросы маловероятны. Все помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.1.004-91 [56] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [57]. На рисунке 5.1 представлен план эвакуации из лаборатории (021 аудитория) и соседних помещений.

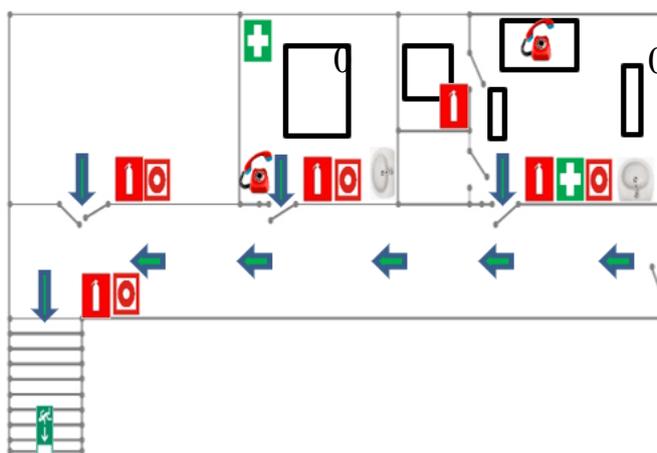


Рисунок - План эвакуации

В лаборатории (018 аудитория) находится 2 огнетушителя ОУ-5, в соседней (021) аудитории и помещении склада так же расположено по одному огнетушителю ОУ-5.

При срабатывании пожарной сигнализации или явных признаках пожара необходимо руководствоваться следующими указаниями. При распространении огня, если возгорание не ликвидировано в первые несколько секунд, следует в первую очередь отключить вентилятор и закрыть вентиляционный канал.

5.8 Выводы по разделу

Таким образом, в данном разделе были рассмотрены негативные факторы, влияющие на работника в процессе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы, а также меры по снижению их вредного/опасного действия к минимуму. Кроме того, были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работника, экологические аспекты работы, а также возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте и порядок действий в случае их возникновения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] "PE Материал: пористый полиэтилен Porex для пластиковых фильтрующих материалов" www.porex.com . Получено 2017-02-14.
- [2] Hambir S., Jog J. P. Sintering of ultra-high molecular weight polyethylene //Bulletin of Materials Science. – 2000. – Т. 23. – №. 3. – С. 221-226.
- [3] M.H. Kharita, S. Yousef, M. AlNassar Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete Prog. Nucl. Energy, 53 (2011), pp. 207-211, 10.1016/j.pnucene.2010.09.012
- [4] Alyaa H. Abdalsalama, M.I. Sayyed, et al. University of Technology, Baghdad, Iraq & University of Tabuk, Tabuk, Saudi Arabia. A study of gamma attenuation property of UHMWPE/Bi₂O₃ nanocomposites. Chemical Physics, 523, 92-98, 2019.
- [5] Minghua Zhu. Preparing method of ultrahigh molecular weight polyethylene based anti-radiation sheet. Chinese patent, application No. 200910232223.X, application date 2009.12.
- [6] Guo Peng, Dong Limin, et al. Tsinghua University, Beijing, China. Preparation of Boron Carbide/Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Composites for Neutron Shielding. Materials Engineering, supplement 2, 337-340, 2010.
- [7] Jun Deng, Zhenzhong Sun. A radiation protection material. Chinese patent, application No. 201811338101.4, application date 2018.11.
- [8] R.V. Borisova, L.A. Nikiforov et al. North-Eastern Federal University & Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia. Effect of Brominated UHMWPE on the Properties and Structure of the Resulting UHMWPE/Boron Carbide Nanocomposite. AIP Conference Proceedings 2053, 040009, 2018.
- [9] T.Yu. Kiseleva, E.V. Yakutaa, et al. Moscow State University, Moscow, & Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

Application of Differential Scanning Calorimetry to Study the Resistance of UHMWPE-Based Composite Materials to Electron Irradiation. Russian Journal of Physical Chemistry A, Vol. 95, No. 5, 875-881, 2021.

- [10] Zahra Soltani, Amirmohammad Beigzadeh et al. Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Effect of particle size and percentages of Boron carbide on the thermal neutron radiation shielding properties of HDPE/B₄C composite: Experimental and simulation studies. Radiation Physics and Chemistry, 127, 182-187, 2016.
- [11] Oussama Mehelli, Mehdi Derradji, et al. UER Procedes Energetiques, Ecole Militaire Polytechnique, Algiers, Algeria. Development of lightweight and highly efficient fast neutrons composites shields based on epoxy, UHMWPE fibres and boron carbide particles. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109510>
- [12] Oussama Mehelli, Mehdi Derradji, et al. UER Procedes Energetiques, Ecole Militaire Polytechnique, Algiers, Algeria. Outstanding thermal neutrons shields based on epoxy, UHMWPE fibers and boron carbide particles. Applied Radiation and Isotopes 176, 109837, 2021.
- [13] Пилянкевич А. Н. Бора карбиды // Химическая энциклопедия : в 5 т. / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1: А—Дарзана. — С. 300. — 623 с. — 100 000 экз. — ISBN 5-85270-008-8.
- [14] Z. Liu et al., “Mechanism of boron carbide particles improving the wear resistance of UHMWPE: Structure-property relationship,” Polymer (Guildf)., vol. 245, no. March, p. 124733, 2022, doi: 10.1016/j.polymer.2022.124733.
- [15] Механокомпозиты — прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами / А.И. Анчаров [и др.]; отв. ред. О.И. Ломовский; СО РАН, Ин-т химии твердого тела и механохимии. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. — 424 с. — (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 26).

- [16] С.А. КОВАЛЕВА, В.И. ЖОРНИК.//МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ «СВМПЭ— КОМПОЗИТ В₄С -W»// МЕХАНИКА МАШИН, МЕХАНИЗМОВ И МАТЕРИАЛОВ. 2018. № 4 (45)
- [17] S. Mallick, J.K. Sahoo. Processing and Characterization of Compression Molded Multifunctional UHMWPE-CaTiO₃ Composite//Materials today:Proceedings 33(2020)5290-5294
- [18] Jaeyeon Park a , Sungwun Her// Synthesis and characterization of Polyethylene/B₄C composite// Cement and Concrete Composites 129 (2022) 104458
- [19] Zhipeng Huo, ShengZhao//urface modified-gadolinium/boron/polyethylene composite with high shielding performance for neutron and gamma-ray//Nuclear Materials and Energy 29(221)101095
- [20] T. Kremer, H. Schuermann //On the application and meaning of stress concentration factors in the design process of fibre reinforced composites Materialwiss. Werkst., 39 (6) (2008), pp. 385-390
- [21] S.D. Kaloshkina, V.V. Tcherdyntsev// Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites// Journal of Alloys and Compounds 536S (2012) S522-S526
- [22] S.-Y. Fu, X.-Q. Feng, B. Lauke, Y.-W. Mai, Composites: Part B 39 (2008) 933-961.
- [23] M. Amini, S.A. Ramazani, A.A. Varjouy, M. Faghihi. Effect of exfoliated molybdenum disulfide oxide on friction and wear properties of ultra high molecular weight polyethylene Polymers for Advanced. Technologies, 29 (12) (2018)
- [24] E. Lorenzo-Bonet, M.A.L. Hernandez-Rodriguez, O. Perez-Acosta, M.A. De la Garza-Ramos, G. Contreras-Hernandez, A. Juarez-Hernandez. Characterization and tribological analysis of graphite/ultra high

molecular weight polyethylene nanocomposite films. *Wear*, 426–427 (2019), pp. 195-203

- [25] B.P. Chang, H.M. Akil, M.G. Affendy, A. Khan, R.B.M. Nasir. Comparative study of wear performance of particulate and fiber-reinforced nano-ZnO/ultra-high molecular weight polyethylene hybrid composites using response surface methodology. *Mater. Des.*, 63 (2014), pp. 805-819
- [26] G.J. Shi, Z. Cao, X.T. Yan, Q.Y. Wang. In-situ fabrication of a UHMWPE nanocomposite reinforced by SiO₂ nanospheres and its tribological performance. *Mater. Chem. Phys.*, 236 (2019), p. 9
- [27] Sharma, J. Bijwe, S. Panier, and M. Sharma, “Abrasive wear performance of SiC-UHMWPE nano-composites - Influence of amount and size,” *Wear*, vol. 332–333, pp. 863–871, 2015, doi: 10.1016/j.wear.2015.01.012.
- [28] S. Sharma, J. Bijwe, and S. Panier, “Assessment of potential of nano and micro-sized boron carbide particles to enhance the abrasive wear resistance of UHMWPE,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 99, pp. 312–320, 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.06.003
- [29] Kumar, J. Bijwe, and S. Sharma, “Hard metal nitrides: Role in enhancing the abrasive wear resistance of UHMWPE,” *Wear*, vol. 378–379, pp. 35–42, 2017, doi: 10.1016/j.wear.2017.02.010.
- [30] Tariq Yasin, Muhammad Nasir Khan. National Centre for Nanotechnology & Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology, Islamabad, Pakistan. High density polyethylene/boron carbide composites for neutron shielding. *E-Polymers*, No. 059, 2008, DOI: 10.1515/epoly.2008.8.1.670
- [31] S.D. Kaloshkina, V.V. Tcherdyntseva, M.V. Gorshenkova, et al. National University of Science and Technology, Moscow, Russia. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 536S, S522-S526, 2012.

- [32] S.M. Ivanov, S.A. Kuznetsov, A.A. Boykov, et al. National Research Center “Kurchatov Institute” & Russian State Technological University “MATI” & National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia. Photons transport through ultra-high molecular weight polyethylene based composite containing tungsten and boron carbide fillers. *Journal of Alloys and Compounds*, 586, S455-S458, 2014.
- [33] Alyaa H. Abdalsalama, M.I. Sayyed, et al. University of Technology, Baghdad, Iraq & University of Tabuk, Tabuk, Saudi Arabia. A study of gamma attenuation property of UHMWPE/Bi₂O₃ nanocomposites. *Chemical Physics*, 523, 92-98, 2019.
- [34] S.M. Ivanov, S.A. Kuznetsov, A.A. Boykov, et al. National Research Center “Kurchatov Institute” & Russian State Technological University “MATI” & National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia. Photons transport through ultra-high molecular weight polyethylene based composite containing tungsten and boron carbide fillers. *Journal of Alloys and Compounds*, 586, S455-S458, 2014.
- [35] Хасанов О.Л., Соколов В.М., Двилис Э.С., Похолков Ю.П. Ультразвуковая технология изготовления конструкционной и функциональной нанокерамики // *Перспективные материалы*. – 2002. – №1.
- [36] О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, В.В. Полисадова, А.П. Зыкова//**ЭФФЕКТЫ МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАНОМАТЕРИАЛОВ**
- [37] – С. 76 – 83. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)
- [38] ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности
- [39] «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.09.03.2021)
- [40] Правительства РФ от 12.08.98 N 938 (СЗ РФ. 1998. N 33. Ст. 4037)
- [41] СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату

производственных помещений

- [42] ГОСТ 12.0.003-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (введен в действие Приказом Росстандарта от 09.06.2016 N 602-ст).
- [43] СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21).
- [44] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. 2.2.1/2.1.1. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных пунктов. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. Санитарные правила и нормы (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.04.2003).
- [45] ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- [46] ГОСТ ISO 12100-2013. Межгосударственный стандарт. Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценки риска и снижения риска (введен в действие Приказом Росстандарта от 13.03.2014 N 137-ст).
- [47] ГОСТ Р 12.1.019-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 10.12.2009 N 681-ст).
- [48] ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 10.09.1975 N 2368) (ред. от 01.06.1988).
- [49] Инструкция о мерах пожарной безопасности (Приложение №2 к приказу ректора ТПУ №52/од от 21.06.2013).

- [50] СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- [51] СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1)
- [52] ГОСТ 12.4.132-83. Государственный стандарт Союза ССР. Халаты мужские. Технические условия (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 10.10.1983 N 4894) (ред. от 01.03.1989).
- [53] ГОСТ 12.4.299-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию (введен в действие Приказом Росстандарта от 24.06.2015 N 792-ст).
- [54] ГОСТ 12.4.253-2013 (EN 166:2002). Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования (введен в действие Приказом Росстандарта от 30.12.2013 N 2428-ст)
- [55] СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения.
- [56] ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 N 875) (ред. от 01.10.1993)
- [57] ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 10.10.1983 N 4882) (ред. от 01.06.1989).