

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
Компактирование смеси сухих порошков под мощным ультразвуковым воздействием для изготовления композита СВМПЭ:В₄С

621.762.06:534-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цин Юэюань		

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	Кащук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель специализации «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
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Цин Юэюань

Тема работы:

Компактирование смеси сухих порошков под мощным ультразвуковым воздействием для изготовления композита СВМПЭ+В ₄ С	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 32-49/с от 01.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 июня 2022 года
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ); порошок карбида бора (В ₄ С); композиты на основе СВМПЭ и В ₄ С
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Разработка метода консолидации порошков под мощным ультразвуковым воздействием для компактирования смеси порошков СВМПЭ и В ₄ С.
Перечень графического материала <small>(с точным указанием обязательных чертежей)</small>	График, рисунок, таблицы применяемых в работе.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <small>(с указанием разделов)</small>	

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Кашук И.В. Доцент ОСГН ШБИП
<i>Социальная ответственность</i>	Сечин А. И. Доцент ООД ШБИП

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

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	Цин Юэюань		

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

Студенту:

Группа 154Б82	ФИО Цин Юэюань
-------------------------	--------------------------

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>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
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	И.В. Кащук	К.Т.Н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цин Юэюань		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
154Б82		Цин Юэюань	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01. Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Компактирование смеси сухих порошков под мощным ультразвуковым воздействием для изготовления композита СВМПЭ+В₄С	
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><i>Объект исследования: композиты СВМПЭ и В₄С.</i></p> <p><i>Область применения: изделий, требующих высокой твердости и/или износостойкости.</i></p> <p><i>Рабочая зона: в 021 аудитории 10 корпуса ТПУ.</i></p> <p><i>Размеры помещения (климатическая зона*): площадь помещения 40 квадратных метров освещение смешаннов, наличие ПК, рабочего стола оператора, установка SPS, ультразвуковое устройство, шаровая мельница и сканирующий электронный микроскоп.</i></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; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197ФЗ (ред. от 09.03.2021). – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения); – ГОСТ Р 12.0.001-2013 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения. – ГОСТ Р 56748.1-2015/ISO/TS 12901-1:2012 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Общие положения – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов; – ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1); – ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности; – ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные

	<p>поля радиочастот;</p> <ul style="list-style-type: none"> – СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий; – СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий; – Инструкция о мерах пожарной безопасности в лабораториях и других помещениях университета (для сотрудников, преподавателей и студентов); – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение; – ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности; – СП 51.13330.2011 Защита от шума. – ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности; – ГОСТ Р 22.8.01-96 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций; – ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29; – Статья 147 ТК РФ; – ГОСТ 12.2.033-78;
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Были выявлены следующие вредный факторы производства:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Отсутствие или недостаток естественного света; 4. Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны. <p>Были выявлены следующие опасные факторы производства:</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>Были выявлены основные источники опасности, выбраны средства защиты и определены защитные мероприятия.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Работа с порошками СВМПЭ и В4С в данных концентрациях не несет опасных и вредных воздействий на окружающую среду (селитебную зону, атмосферу, гидросферу, литосферу).</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных</p>	<p>Пожар</p>

ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Цин Юэюань		

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
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения Осенний / весенний семестр 2021 /2022 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:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.04.2022	Литературный обзор	20
15.05.2022	Экспериментальная часть	20
07.06.2022	Обсуждение результатов	30
25.05.2022	Финансовый менеджмент	15
25.05.2022	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель специалитации «Наноструктурные материалы»	Г.В. Лямина	К.Х.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 66 страницы, 16 рисунков, 21 таблиц и 47 источников.

Ключевые слова: СВМПЭ, В₄С и ультразвуковое прессование.

Объект исследования: порошки СВМПЭ, В₄С и их смеси, полученные из них компакты.

Цель работы: применение ультразвукового прессования для компактирования смесей порошков на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и карбида бора.

Методы исследования: методика приготовления порошковых смесей в горизонтальной и планетарной шаровых мельницах, методика компактирования порошков методом ультразвукового прессования, методика измерения твердости объемных образцов по Шору, методика определения модули Юнга объемных образцов с помощью ультразвукового толщиномера.

В процессе исследования проводились: обзор литературы по теме ВКР, подготовка порошковых смесей СВМПЭ+В₄С, изучение морфологии исходных порошков и порошковых смесей, изготовление объемных образцов из порошков СВМПЭ+В₄С методом ультразвукового прессования, определение механических характеристик образцов, оценка влияния режимов приготовления порошковой смеси на их консолидацию.

В результате исследования были разработаны оптимальные технологические режимы производства композитов СВМПЭ+В₄С.

Сфера применения: Композит СВМПЭ+В₄С является перспективным материалом для радиационной защиты компонентов микро- и нанoeлектроники. Исследования актуальны для космической, атомной техники, ядерной медицины, ускорительной техники.

Экономическая эффективность работы заключается в использовании для производства композиты СВМПЭ+В₄С более простых и экономичных методов (ультразвуковое прессование), чем традиционные

методы, применяемые для синтеза подобных материалов (горячее прессование).

Содержание

РЕФЕРАТ	10
ВВЕДЕНИЕ	14
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Свойства и применение СВМПЭ	15
1.2 Свойства и применение карбида бора	16
1.3 Композит СВМПЭ+В ₄ С	17
1.4 Технологии консолидации композитов СВМПЭ:В ₄ С	18
1.5 Выводы по разделу и постановка задачи исследования	19
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА	21
2.1 Материалы эксперимента	21
2.2 Оборудование и методики эксперимента	21
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	26
3.1 Характеризация порошковых материалов	26
3.2 Влияние режимов приготовления порошковой смеси на консолидацию	27
3.3 Выводы по разделу	30
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	31
Введение	31
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения	31
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	31
4.1.2 SWOT-анализ	32
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	35
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	35
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	36
4.3 Бюджет научно-технического исследования	39
Оборудование SPS SPS-515S (Syntex Inc., Япония)	41
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	45

4.5 Выводы по разделу	48
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	49
5.1 Введение	49
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	49
5.3 Производственная безопасность	51
5.4 Анализ вредных производственных факторов	52
5.5 Анализ опасных производственных факторов	54
5.6 Экологическая безопасность	57
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	58
5.8 Выводы по разделу	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛЕТЕРАТУРЫ	62

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря высокой твердости (около 9,5 по шкале Мооса) карбид бора (B_4C) активно используется в производстве бронезащитных элементов, сопел для пескоструйной обработки и других изделий, требующих высокой твердости и/или износостойкости. Кроме того, B_4C способен поглощать большое количество нейтронов без образования каких-либо радиоактивных изотопов, поэтому он используется на ядерных реакторах в качестве регулирующих стержней. Высокие твердость и температура плавления B_4C делают изготовление изделий из этого материала нетривиальной задачей.

Одним из вариантов решения данной проблемы является использование термопластичного полимера в качестве матрицы, связывающей твердые частицы карбида. Изготовление изделий из такого композита на порядок проще, чем из чистого B_4C . Одним из перспективных материалов, используемым в качестве полимерной матрицы является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Молекулярная масса СВМПЭ в тысячи раз превосходит молекулярную массу обычного полиэтилена, что является причиной уникальных свойств СВМПЭ, таких как: высокие износостойкость и ударная вязкость.

Композит СВМПЭ+ B_4C является перспективным материалом для радиационной защиты компонентов микро- и наноэлектроники на АЭС и в условиях космоса. Исследования актуальны для космической, атомной техники, ядерной медицины и ускорительной техники.

Данное исследование посвящено изучению консолидации порошков на основе СВМПЭ+ B_4C методом ультразвукового прессования.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Свойства и применение СВМПЭ

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) — неразветвленный линейный полиэтилен с молекулярной массой более 1,5 млн. Это вид полимера с линейной структурой, которая полимеризуется мономерами этилена и бутадиена под действием катализаторов [1]. Плотность: 0,920 ~ 0,964 г/см³. Рабочие температуры СВМПЭ от -150 °С до 80 °С, температура плавления 130 - 136 °С.

СВМПЭ обладает хорошей износостойкостью, пропорционально молекулярной массе, чем больше молекулярная масса, тем выше износостойкость [2].

СВМПЭ обладает хорошей коррозионной стойкостью, низкотемпературной стойкостью и стойкостью к старению, может сопротивляться большинству агрессивных сред.

СВМПЭ обладает хорошей трещиностойкостью, коэффициентом удлинения 100~300% и может выдерживать огромное внешнее и внутреннее давление, нагрузку на изгиб без разрушения. Изделия из СВМПЭ не прилипают и не образуют накипи на поверхности благодаря малому коэффициенту трения и гидрофобности [3].

Поскольку СВМПЭ обладает многими превосходными свойствами, он активно используется в различных композитных материалах.

СВМПЭ обладает отличными самосмазывающимися и антипригарными свойствами, что позволяет использовать его в качестве тары для хранения и транспортировки различных веществ. СВМПЭ также используется в качестве труб для транспортировки жидкости. В промышленности его можно использовать в качестве стойкой к давлению тары, конвейерной ленты, фильтрующего материала и т. д., в строительстве его можно использовать в качестве стен, перегородок и т. д., а использование СВМПЭ для армирования бетона может существенно повысить его ударопрочность. Благодаря отличной износостойкости и ударопрочности, СВМПЭ широко используется

в машиностроении и может использоваться для изготовления зубчатых колес, роликов, шкивов, подшипников и других деталей.

С точки зрения военного снаряжения, благодаря хорошей ударопрочности и высокому удельному поглощению энергии СВМПЭ используют для изготовления защитной одежды и пуленепробиваемых материалов. Благодаря легкому весу, высокой прочности и хорошей ударопрочности, СВМПЭ используется в производстве различных деталей самолетов и космических аппаратов. В то же время его можно использовать в качестве канатов для подъема тяжелых предметов в космических челноках, заменяя традиционные стальные тросы и канаты из синтетического волокна.

Кроме того, СВМПЭ обладает способностью к замедлению нейтронного излучения благодаря высокому содержанию атомов водорода, поэтому его можно использовать в качестве радиационной защиты [23][24][25].

Биосовместимость, гипоаллергенность, долговечность и высокая стабильность СВМПЭ позволяют использовать его в медицине. Например, СВМПЭ можно использовать в качестве материала для эндопротезов. [4].

1.2 Свойства и применение карбида бора

Карбид бора - неорганическое вещество с химической формулой B_4C , относительной молекулярной массой 55,26 г/моль и плотностью 2,52 г/см. Температура плавления B_4C 2350 °С, температура кипения 3500 °С, обычно серо-черный порошок. Это один из самых твердых известных материалов с твердостью по шкале Мооса около 9,5 [5].

B_4C обладает низкой плотностью, высокой прочностью, высокотемпературной стабильностью, износостойкостью и хорошей химической стабильностью.

B_4C это материал с высокой температурой плавления, из которого можно получить простые формы путем плавления порошка при высокой температуре. Порошок B_4C используется в качестве абразивного материала для шлифования и полирования твердых материалов, таких как цементированный карбид и драгоценные камни.

Благодаря высокой твердости B_4C используется в качестве брони, бронезилов и во многих других промышленных целях. B_4C также может использоваться в качестве керамического покрытия для боевых кораблей и вертолетов, которое имеет малый вес и обладает способностью противостоять проникновению бронебойных снарядов. В промышленности B_4C можно использовать для изготовления форсунок/сопел. Сопла из карбида бора чрезвычайно твердые и износостойкие, не вступают в реакцию с кислотными и щелочными веществами, устойчивы к перепадам температур и высокому давлению.

B_4C способен поглощать большое количество нейтронов без образования каких-либо радиоактивных изотопов, поэтому он используется на ядерных реакторах в качестве регулирующих стержней.

1.3 Композит СВМПЭ+ B_4C

Армирование полимерной матрицы твердыми частицами является наиболее эффективным и простым методом улучшения прочностных характеристик СВМПЭ [15].

В экспериментах [7] СВМПЭ армировали различным количеством частиц карбида бора (B_4C) различного размера. Плотность композитов увеличивается с увеличением содержания B_4C , а композиты с наночастицами были плотнее композитов с микрочастицами.

Было показано, что добавление B_4C способствует существенному повышению износостойкости. С увеличением содержания B_4C увеличивается твердость композита и снижается скорость его износа. Композиты с наночастицами B_4C имеют более высокую твердость и износостойкость, по сравнению с композитами армированными частицами микронных размеров [7].

Было показано, что B_4C полезен для повышения твердости композитов при царапании. Примерно в 3 раза наблюдалось увеличение твердости при царапании при содержании B_4C 10%. Существует линейная зависимость между твердостью при царапании и износостойкостью. [7].

СВМПЭ обладает способностью к замедлению нейтронного излучения, однако полностью остановить его дальнейшее распространение СВМПЭ не способен [9][14], кроме того, использованию СВМПЭ в качестве конструкционного материала препятствуют недостаточно высокие прочностные характеристики [10][11][12]. Добавление частиц В₄С к СВМПЭ способствует повышению механических характеристик композита, а способность карбида к поглощению нейтронов делает такой композит эффективным радиационно защитным материалом. Например, в исследовании [8] наилучшие радиационно защитные характеристики были обнаружены у образцов с содержанием В₄С 10%. Увеличение содержания В₄С улучшает затухание медленных нейтронов [13].

1.4 Технологии консолидации композитов СВМПЭ:В₄С -

Горячее прессование - это процесс консолидации порошковых материалов, сочетающий одновременно прессование и спекание [26].

В литературе [27, 28] авторы использовали метод горячего прессования для консолидации композиционных образцов СВМПЭ+В₄С. Исследователи получили образцы, которые имеют высокие прочностные характеристики и минимальные допуски по размерам. Преимуществом данной технологии является сокращение времени спекания, за счет совмещения процессов прессования и спекания. Основным минусом данной технологии является невысокая производительность процесса.

Формование литъём используется в производстве широкого спектра композиционных материалов. Этот метод использовался в экспериментах [29][30] для изготовления композиционного материала СВМПЭ/В₄С/Al₂O₃. Преимуществом данной технологии является возможность изготовления изделий сложной формы. Основным недостатком метода является трудоёмкость технологического процесса, состоящего из многостадийных операций подготовки и обработки шликеров, сушки и финишной обработки образцов.

Метод электроимпульсного плазменного спекания (SPS). Метод SPS заключается в высокоскоростном нагреве порошкового материала в вакууме путем пропускания импульсов постоянного тока через образец и пресс-форму с одновременным приложением давления. SPS имеет следующие преимущества: высокая скорость нагрева, позволяющая сохранить мелкозернистую структуру, низкая температуры спекания, возможность изготовления высокоплотных образцов. Однако SPS является достаточно дорогой технологией с низкой производительностью.

Ультразвуковое компактирование порошков. Одним из перспективных методов консолидации порошковых материалов является прессование с подведением в зону компактирования мощного ультразвукового воздействия.

Суть ультразвукового прессования заключается в том, что из-за УЗ-колебаний с амплитудой, сопоставимой с размерами частиц или агломератов, в процессе прессования общее напряжение деформируемого порошкового материала равномерно перераспределяется и релаксирует в прессовке вследствие равномерного распределения частиц порошка. При прессовании под УЗ-воздействием распределение давления и плотности по объему прессовки становится более равномерным из-за снижения пристенного трения, за счет снижения межчастичного трения достигается более плотная упаковка частиц порошка и, соответственно, более высокая плотность прессовки даже сложной геометрии [20].

По литературным данным ультразвуковая обработка способствует улучшению механических и трибологических свойств композитов нитрид бора + политетрафторэтилен, повышению предела прочности и модуля упругости синтетических композитов, снижает коэффициент трения [22]. Снижение межчастичного трения и трения между частицами и элементами прессовой оснастки позволяет формировать сложные изделия при относительно малых усилиях прессования [21].

1.5 Выводы по разделу и постановка задачи исследования

Из проанализированных литературных данных сделаны следующие выводы:

1. Композиты на основе СВМПЭ:В₄С являются перспективным материалов для мля многих областей науки и техники, особенно актуально их применение в качестве радиационной защиты персонала и электроники в условиях космоса или на АЭС.
2. Ультразвуковое прессование является перспективной технологией производства композиционных материалов на основе СВМПЭ:В₄С, требующей развития.

Целью работы является применение ультразвукового прессования для компактирования смесей порошков на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и карбида бора.

В ходе выполнения работ для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Подготовить порошковые смеси СВМПЭ + 75 об. % В₄С в различных режимах.
2. Изучить морфологию исходных порошков и приготовленных порошковых смесей.
3. Изготовить образцы из порошков СВМПЭ:В₄С методом ультразвукового прессования.
4. Определить плотность образцов и их механических характеристики.
5. Оценить влияние способа и режимов приготовления порошковой смеси на характеристики консолидированных образцов.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1 Материалы эксперимента

В качестве исходных материалов использовали порошки СВМПЭ GUR2122 (Ticona, плотность $0,94\text{г/см}^3$, средний размер частиц 20 мкм) и $\text{В}_4\text{С}$ (ОКБ-БОР, плотность $2,52\text{ г/см}^3$, средний размер частиц 3 мкм).

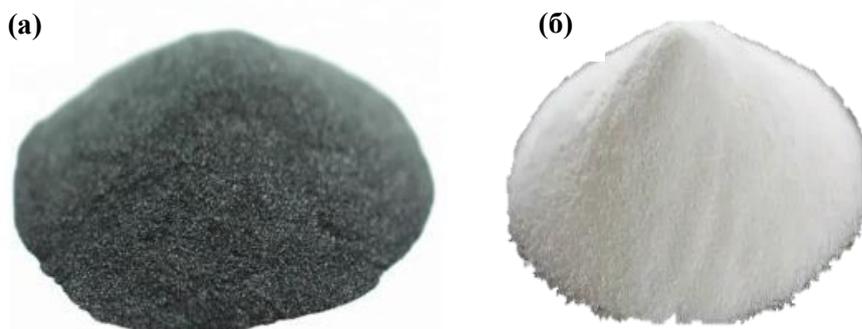


Рис 2.1 Изображения порошков карбида бора (а) и СВМПЭ (б)

На основании предварительных исследований консолидации порошковых смесей СВМПЭ: $\text{В}_4\text{С}$ с различным содержанием $\text{В}_4\text{С}$ по критерию максимальной плотности и максимальных прочностных характеристик было выбрано оптимальное содержание карбида бора в композите – 75 объемных \% . Все исследования, выполненные в рамках данной ВКР, проводились на этом материале.

2.2 Оборудование и методики эксперимента

Подготовку порошковых смесей $\text{В}_4\text{С/СВМПЭ}$ проводили методом сухого смешивания в горизонтальной (МЛШ-01, Промстроймаш, Россия) и планетарной (Pulverisette 6, Fritsh, Германия) шаровых мельницах.

Обработку смесей в горизонтальной шаровой мельнице проводили в течении 68 часов , частота вращения барабана составляла $\sim 70\text{ об./мин.}$, отношение массы порошковой смеси к массе мелящих тел из диоксида циркония равнялось $1:8$.



Рис 2.2 Горизонтальная шаровая мельница (МЛШ-01, Промстроймаш, Россия)

Обработку смесей в планетарной шаровой мельнице проводили в течении 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 часов, частота вращения барабана составляла ~400 об./мин., отношение массы порошковой смеси к массе стальных мелющих тел равнялось 1:12.



Рис 2.3 Планетарная шаровая мельница (Pulverisette 6, Fritsh, Германия)

Анализ микроструктуры спеченных образцов проводили при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-7500F (Jeol, Япония).



Рис 2.4 Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JSM-7500F (Jeol, Япония)

Консолидацию образцов методом УЗ проводили в стальной пресс-форме-волноводе диаметром 10 мм, в качестве источника УЗ-воздействия использовали генератор УЗГ 22 (Ультра-Резонанс, Россия). В зону прессования в течение 7 минут подводились колебания частотой 21,82 кГц, мощность воздействия составляла ~ 1 кВт, давление прессования не превышало 350 МПа. Температура поверхности пресс-формы в зоне прессования в конце процесса составляла ~ 100 °С.

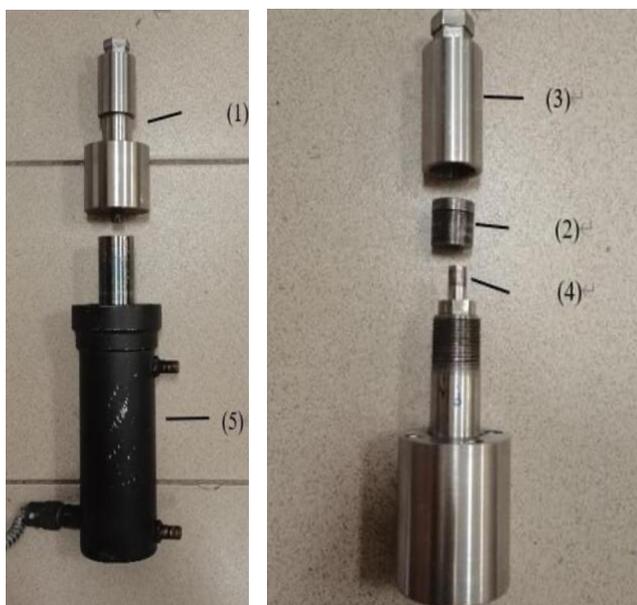


Рис 2.5 Пресс-форма-волновод с магнестрикционным преобразователем
1) волновод, 2) цилиндрическая пресс-форма, 3) крышка, 4) пуансон, 5)
магнестрикционный преобразователь



Рис 2.6 Генератор УЗГ 22 (Ультра-Резонанс, Россия)

Массу образцов определяли с помощью аналитических весов с точностью 0.001 г, а диаметр и высоту образцов измеряли штангенциркулем с точностью 0.001 мм.



Рис 2.7 Аналитические весы



Рис 2.8 Штангенциркуль

Плотность образцов определяли по формуле:

$$\rho = m/V$$

где ρ – плотность, m – масса, V – объем образца.

Объем образцов определяли по формуле:

$$V = \pi * r^2 * h$$

где V – объем образца, r – радиус, h – высота

Относительную плотность определяли как отношение измеренной плотности образца к теоретической плотности материала.

Для определения твердости по Шору образцов В₄С-СВМПЭ, использовали твердомер.



Рис 2.9 ТВР-ДИЦ твердомер (дюрометр) Шора тип D с цифровым индикатором

Модуль Юнга образцов рассчитывали исходя из скорости распространения звуковых волн в объеме образцов с помощью ультразвукового толщиномера 38DL PLUS (Olympos, 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).



Рис 2.10 Ультразвуковой толщиномер 38DL PLUS (Olympos, США)

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Характеризация порошковых материалов

На рисунке 3.1 представлены изображения микроструктуры исходных порошков V_4C и СВМПЭ.

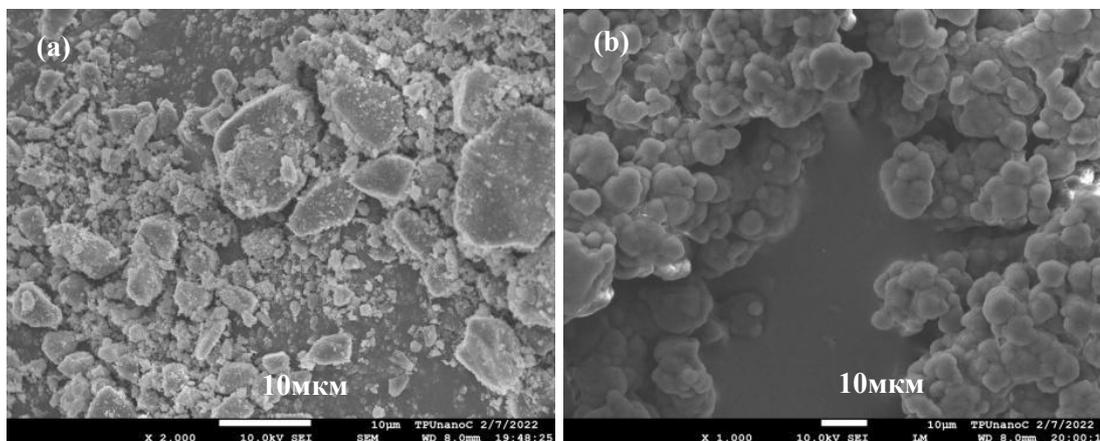


Рис 3.1 СЭМ-изображения морфологии исходных порошков V_4C (a) и СВМПЭ (b)

Частицы V_4C представляют из себя неправильные выпуклые многогранники с формой близкой к равноосной, порошок СВМПЭ состоит из агломератов сферических частиц различной геометрии.

На рисунке 3.2 представлены изображения микроструктуры порошковой смеси, подготовленной в горизонтальной шаровой мельнице.

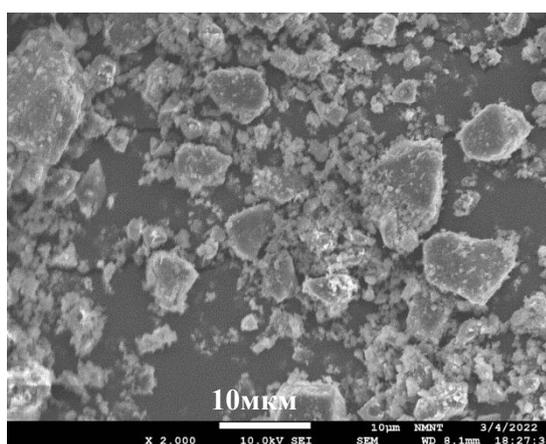


Рис 3.2 СЭМ-изображения морфологии смесей порошков с содержанием V_4C 75 об.%, подготовленных в горизонтальной шаровой мельнице

На рисунке 3.3 представлены изображения микроструктуры порошковой смеси, подготовленной в планетарной шаровой мельнице в режимах с различной продолжительностью обработки.

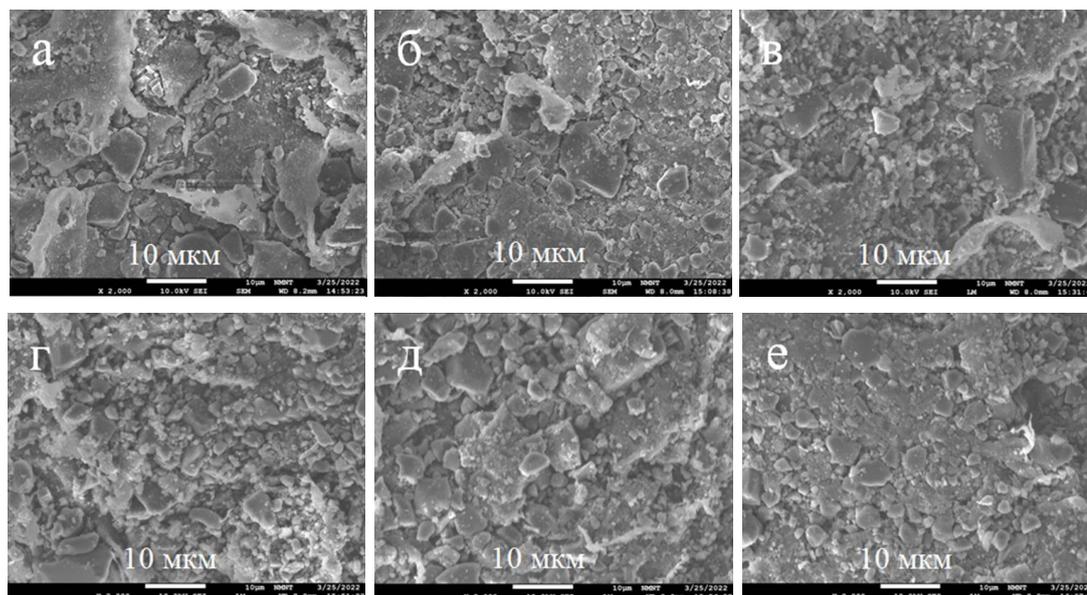


Рис 3.3 СЭМ-изображения морфологии порошковых смесей с содержанием V_4C 75 об.%, подготовленных в планетарной шаровой мельнице в течении 0.25 часов. (а), 0.5 часов. (б), 1 час. (в), 1.5 часов. (г), 2 часов. (д) и 3 часов. (е)

Обработка порошковой смеси в планетарной мельнице в течение 0.25 часов приводит к образованию крупных волокон полиэтилена длиной более 20 мкм, количество которых уменьшается с увеличением времени обработки.

Обработка порошковой смеси в горизонтальной шаровой мельнице и в планетарной шаровой мельнице приводит к существенному изменению морфологии частиц СВМПЭ, на изображении микроструктуры смеси не наблюдается характерных для исходного порошка полиэтилена гранул и частиц сферической формы. На данном этапе исследований визуальная идентификация компонентов композита не представляется возможным и является предметом дальнейших исследований.

3.2 Влияние режимов приготовления порошковой смеси на консолидацию

В ходе исследования было изучено влияние способа и режимов подготовки порошковых смесей на консолидацию образцов методом ультразвукового прессования.

Таблица 3.1 Способ и режимы подготовки смесей, плотность консолидированных образцов V_4C /СВМПЭ

Номер образца	Способ обработки смеси	Время обработки, ч	Относительная плотность, %
1	Планетарная шаровая мельница	0.25	88.54
2		0.5	88.78
3		1	89.92
4		1.5	93.94
5		2	93.20
6		3	93.85
7	Горизонтальная шаровая мельница	68	81.36

Из таблицы видно, что способ и режимы подготовки смеси оказывают существенное влияние на плотность консолидированных образцов. Все образцы, изготовленные из порошков, приготовленных в планетарной шаровой мельнице (№ 1-6), имеют плотность выше, чем образец из порошка, подготовленного в горизонтальной шаровой мельнице.

Зависимость плотности консолидированных образцов от продолжительности обработки смеси в планетарной шаровой мельнице представлена на рисунке 3.4.

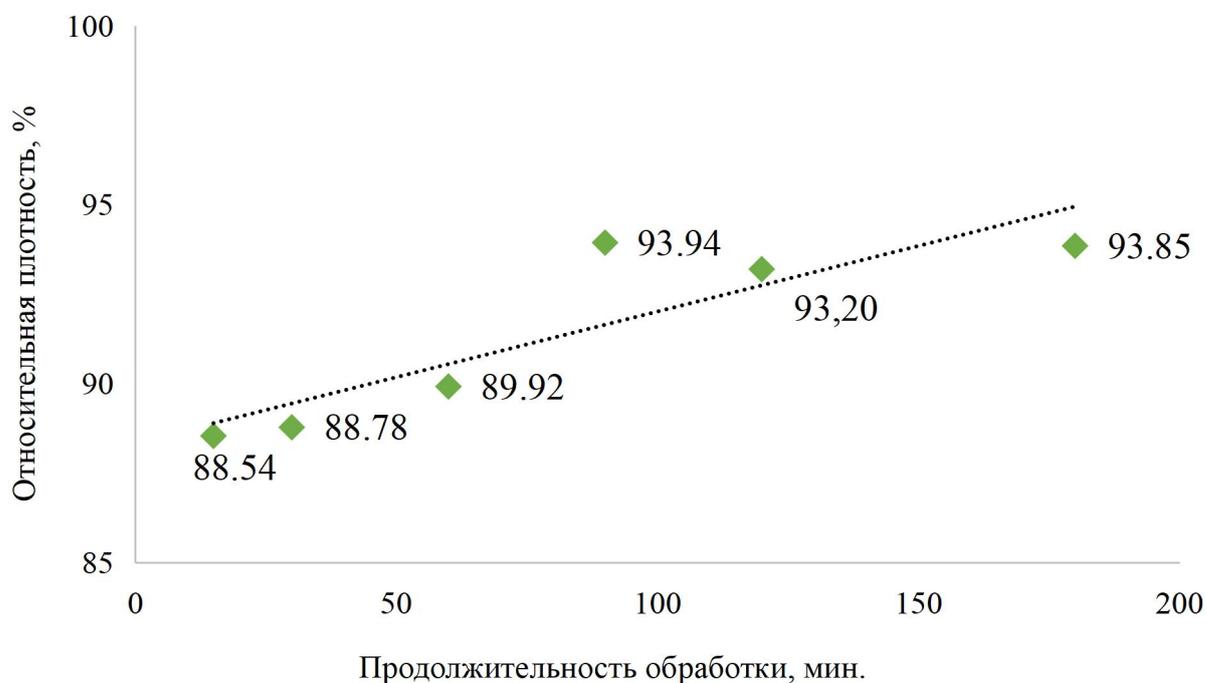


Рис 3.4 Зависимость плотности консолидированных образцов от времени обработки порошковой смеси в планетарной мельнице

Из рисунка видно, что увеличение продолжительности обработки порошковых смесей оказывает положительное влияние на плотность образцов. Максимальное значение плотности имеет образец, изготовленный из смеси порошков, приготовленной в планетарной мельнице в течение 1,5 ч (образец №4). Можно предположить, что увеличение времени обработки не способствует существенному увеличению плотности консолидированных образцов (происходит насыщение).

Таблица 3.2 Механические характеристики консолидированных образцов В₄С/ СВМПЭ

Номер образца	Относительная плотность, %	Твердость по Шору, HD	Модуль Юнга, ГПа
1	88.54	84.32±0.29	13.47
2	88.78	84.83±0.11	13.03
3	89.92	86.82±0.26	17.20
4	93.94	89.89±0.83	26.84
5	93.20	87.99±0.28	18.57
6	93.85	85.35±0.60	19.30

Зависимость модуль Юнга от плотности консолидированных образцов представлена на рисунке 3.5.

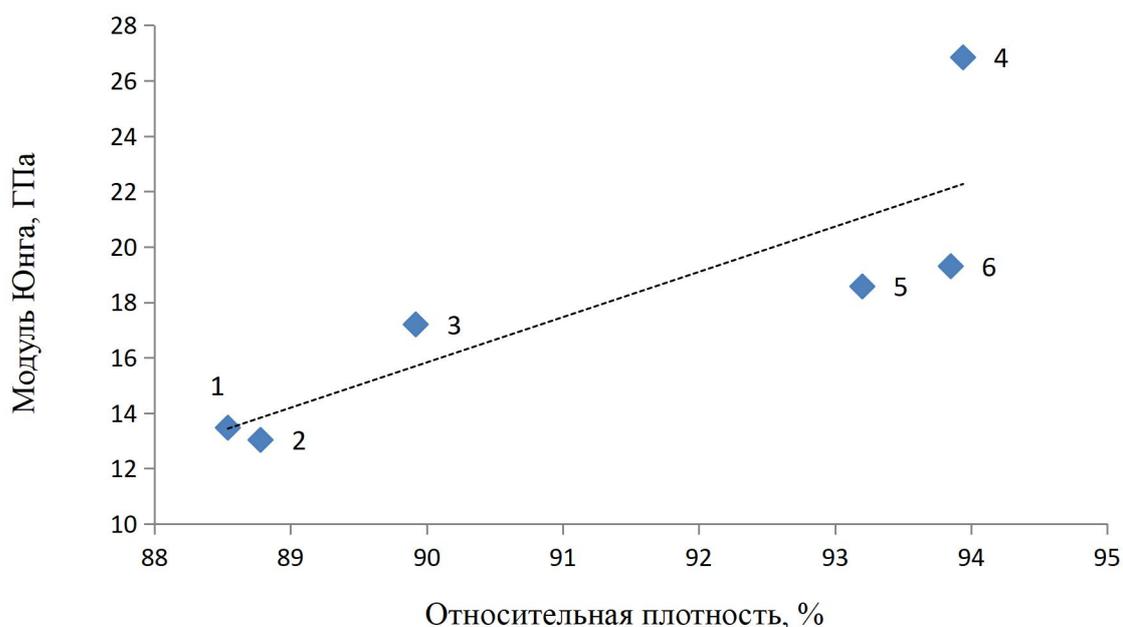


Рис 3.5 Зависимость модуль Юнга от относительных плотности консолидированных образцов

Из графика видно, что модуль Юнга напрямую зависит от плотности консолидированных образцов. Чем выше плотность, тем больше модуль Юнга. Образец № 4 имеет максимальное значение модуля Юнга, что является показателем хорошего межчастичного контакта.

Явной зависимости твердости от плотности образцов не наблюдается.

3.3 Выводы по разделу

1. Обработка порошковой смеси в горизонтальной и планетарной шаровой мельнице приводит к существенному изменению морфологии частиц СВМПЭ.

2. Планетарная мельница показала себя, как более эффективная технология подготовки порошковой смеси В₄С:СВМПЭ к консолидации по сравнению с обработкой в горизонтальной мельнице.

3. Увеличение продолжительности обработки порошковой смеси в планетарной мельнице способствует уплотнению порошка в процессе прессования.

4. Модуль Юнга напрямую зависит от плотности консолидированных образцов. Чем выше плотность, тем больше модуль Юнга. Образец № 4 имеет максимальное значение модуля Юнга, что является показателем хорошего межчастичного контакта.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Целью работы является применение метода прессования порошков под мощным ультразвуковым воздействием для компактирования смеси порошков сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и карбида бора.

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 ВКР является разработка технологии получения композитов СВМПЭ и В₄С.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Сравниваем методы прессования производственных материалов:

- Метод электроискрового плазменного спекания (индекс «ф»);
- Метод ультразвукового прессования (индекс «к1»);

- Метод ультразвукового прессования в сочетании с методом искрового плазменного спекания (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	0.12	3	3	5	0.36	0.36	0.6
3. Безопасность	0.16	5	5	5	0.8	0.8	0.8
4. Эффективность работы	0.12	3	4	5	0.36	0.48	0.6
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	5	5	0.5	0.5	0.5
Итого	1	32	35	38	4	4.38	4.88

Расчет конкурентоспособности, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i$$

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

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что метод ультразвукового прессования в сочетании с методом искрового плазменного спекания 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. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Простота технологии	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл3. Отсутствие оборудование для проверки продукта в условиях эксплуатации
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Наличие бюджетного финансирования	
С6. Исследовательское оборудование на базе ТПУ	
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ТПУ.	У1. Отсутствие поддержки и финансирования со стороны государства.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление новых конкурентов
В3. Появление крупных проектов с использованием композит СВМПЭ+В ₄ С.	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

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							
Возможност и проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	+

	B3	+	+	+	+	0	0
	B4	+	+	+	+	0	-

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

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

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

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	+	+	+	0	+	0
	У2	-	-	-	0		

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

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	0	+	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>C1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>C2. Простота технологии</p> <p>C3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C4. Экологичность технологии.</p> <p>C5. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>C6. Исследовательское оборудование на базе ТПУ</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Отсутствие оборудование для проверки продукта в условиях эксплуатации</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p>
<p>Возможности</p> <p>B1. Использование</p>	<p>Направления развития</p> <p>C1C2C3B4 делает эту</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>Сл1Сл2Сл3 Эти факторы</p>

<p>оборудования ТПУ. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Появление крупных проектов с использованием композит СВМПЭ+В4С. В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>технологии дешевой и легкой для выхода в мир. С1С2С3С4В2В3 Низкая стоимость и простая технология, продукт имеет большие перспективы использования. С5С6В1 позволяет плавно развиваться</p>	<p>являются проявлениями неисследованности и незрелости технологий, которые привели к ограничениям в разработке В2В3В4.</p>
<p>Угрозы У1. Отсутствие поддержки и финансирования со стороны государства. У2. Появление новых конкурентов</p>	<p>Угрозы развития С6 позволяет сэкономить много денег при имеющемся оборудовании, а С1С2С3 позволяет нормально проводить эксперименты даже в случае с У1.</p>	<p>Уязвимости: Из-за отсутствия финансовой поддержки У1 не так много исследователей Сл2, и мало существующей литературы по Сл1. Недостатки эксперимента Сл4 сделают У2 огромной угрозой.</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.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика 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	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:

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

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

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

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

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

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		$t_{ожид}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	7	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	5	-	3.2	0	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	0	8.2	8.2	13
4. Выбор методов исследования	-	5	-	7	0	5.8	5.8	7
5. Планирование эксперимента	1	4	2	6	1.4	4.8	4.8	7
6. Подготовка материалов	-	2	-	4	0	2.8	2.8	7
7. Проведение эксперимента	-	20	-	40	0	28	28	45
8. Обработка полученных данных	-	6	-	10	0	7.6	7.6	8
9. Оценка правильности полученных результатов	1	2	3	4	1.8	2.8	2.8	4
10. Составление пояснительной записки		10		12	0	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_{ki} кал	Продолжительность работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

№	Вид работ	Исп	T_{ki} 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 научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Данная часть включает затрат всех материалов, для приготовления композиционных материалов СВМПЭ+В₄С. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты для приготовления композиционных материалов СВМПЭ+В₄С

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок СВМПЭ GUR2122 (Ticona)	кг	1	175	175
Порошок В ₄ С (ОКБ-БОР)	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:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	использования,	Время использования, мес.	$N_4, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	ПЭВМ	1	3	3	33	60000	4950
2	Сканирующий электронный микроскоп (SEM) JEOL JSM-7500FA НОИЦ НМНТ ТПУ	1	15	0,16	7	6000000	5600
3	Оборудование SPS SPS-515S (Syntex Inc., Япония)	1	20	0,20	5	15000000	12500
4	генератор УЗГ 2 (Ультра-Резонанс, Россия)	1	10	0.1	10	20000	16,7
5	горизонтальной шаровых мельницах (МЛШ-01, Промстроймаш, Россия)	1	10	0.1	10	25000	20,83
6	планетарной шаровых мельницах (Pulverisette 6, Fritsh, Германия)	1	10	0.1	10	200000	166,7
Итого:						23254,23 руб.	

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d} = \frac{58500 * 10.3}{246} = 2663.4 \text{ руб} \quad (4.8)$$

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 (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\partial H} = \frac{Z_M * M}{F_{\partial}} = \frac{39000 * 11.2}{213} = 2050.7 \text{ руб} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_M = Z_{MC} * (1 + k_{np} + k_{\partial}) * k_p = 30000 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 58500 \text{ руб} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_M = Z_{MC} * (1 + k_{np} + k_{\partial}) * k_p = 20000 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 39000 \text{ руб} \quad (4.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – 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	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, \text{руб}$	k_{np}	k_{∂}	k_p	$Z_M, \text{руб}$	$Z_{\partial H}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	30000	0.3	0.2	1.3	58500	2663.4	9.2	24503.4
Инженер	20000	0.3	0.2	1.3	39000	2050.7	72.6	148881.1

Итого:	173384.5
--------	----------

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0.15 * 24503.4 = 3675.5 \text{ руб} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0.15 * 148881.1 = 22332.2 \text{ руб} \quad (4.13)$$

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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0.3 * (24503.4 + 3675.5) = 8453.7 \text{ руб} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0.3 * (148881.1 + 22332.2) = 51364 \text{ руб} \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

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, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{пр}, \quad (4.16)$$

где $k_{пр}$ – 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
23254,23	2575	173384.5	26007.7	59817.7	285039,057	45606,25	330645,3

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	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	23254,23	23520.423	31200.423	Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	173384.5	173384.5	173384.5	Пункт 4.3.3

4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	26007.7	26007.7	26007.7	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	59817.7	59817.7	59817.7	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	45606,25	45648,84	46877,64	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР		330645,3	330954,1	339862,9	Сумма ст. 1-6 Сумма ст. 1- 6

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), 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.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 330645,3 \text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.2}} = 330954,1 \text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.3}} = 339862,9 \text{руб}$.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\max}} = \frac{330645,3}{339862,9} = 0,97$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\max}} = \frac{330954,1}{339862,9} = 0,974$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\max}} = \frac{339862,9}{339862,9} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем 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.2	Исп.3
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:

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

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

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{сп1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (4.19)$$

$$\mathcal{E}_{сп1} = \frac{4,68}{4,68} = 1,00 \quad \mathcal{E}_{сп2} = \frac{4,38}{4,68} = 0,94, \quad \mathcal{E}_{сп3} = \frac{3,55}{4,68} = 0,76.$$

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.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	0,974	1
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. Технология сернокислотной переработки хоть и выявлена как наиболее эффективная, но влечет за собой большое количество отходов, в то время как текущий проект направлен в том числе на минимизацию количества отходов в ущерб стоимости проекта.

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 9.2 дня;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 330645,3 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,97, что является показателем того, что ИР является финансово 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», кафедра НМНТ, ТПУ. Рабочее место, где была выполнена основная работа, находится в 021 аудитории 10 корпуса ТПУ.

Данная диссертация посвящена получению композита СВМПЭ+В₄С при компактировании смеси сухих порошков под мощным ультразвуковым воздействием. Метод включает взвешивание порошка, его измельчение, проведение спекания SPS или ультразвукового прессования, наконец, наблюдение за его структурой под электронным микроскопом. Технологию можно использовать для изготовления изделий, требующих высокой твердости и/или износостойкости.

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 изготовления композита СВМПЭ+В₄С, при компактировании смеси сухих порошков под мощным ультразвуковым воздействием.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства. Все работники и руководитель в соответствии с Постановлением Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29 [31] обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знания требований охраны труда для

обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Исследование подразумевает взаимодействие с химически опасными веществами, такие условия труда относятся к вредным условиям. Регулирование рабочих процессов, выплат и предоставления дополнительных льгот работникам, занятым на вредных производствах, осуществляется статьями 219, 92, 117, 147 ТК РФ [32]. В частности, в соответствии с требованиями, изложенными в ст.147 ТК РФ, в 2017 году сотрудники обладают правом на получение доплат за труд во вредных условиях.

Правом работодателя является увеличение оговоренного в законе процента доплаты с учетом тяжести и вредности условий, в которых сотрудник выполняет свои трудовые функции. Конкретизация размеров подобных надбавок подлежит закреплению в специальных документах.

Компоновка рабочего места. Характер основной работы при выполнении ВКР предполагал оборудование рабочего места для проведения работ стоя. Согласно ГОСТ 12.2.033-78 [33] рабочее место для выполнения работ стоя организуется в случае, когда выполняемая физическая работа является средней тяжести или тяжелой, а также в случае превышения величины рабочей зоны для сидячего рабочего места. Конструкция и взаимное расположение элементов на рабочем месте должны соответствовать характеру выполняемой работы, физиологическим и психологическим требованиям, а также обеспечивать удобство при работе (соответствовать антропометрии работника).

В ГОСТ 12.2.033-78 [33] установлены следующие требования для рабочего места стоя:

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

–при проектировании рабочего места следует учитывать антропометрические показатели работников в зависимости от их пола или

устанавливать средние показатели при работе на этом месте персонала обеих полов;

–организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или его наклон вперед не более чем на 15°;

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

Так же ГОСТ 12.2.033-78 [33] установлены требования к расположению на рабочем месте органов управления и средств отображения информации для более продуктивного выполнения операций, снижения травмоопасности и комфортной работы.

Оборудование, используемое на рабочем месте, должно быть максимально эргономичным.

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 [34] (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
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
1.Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.	+	+	-	СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4 [35]
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	-	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [36]

3.Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны.	-	+	-	ГОСТ 12.1.005-88 [37]
4.Механические опасности	-	+	-	ГОСТ ISO 12100-2013 [38]
5.Термические опасности	-	-	-	-
6.Электробезопасность	+	+	-	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [39] ГОСТ 12.2.007.0-75 [40]
7.Пожаробезопасность	+	+	-	Приложение №3 к приказу ректора ТПУ №52/од от 21.06.2013 [41]

5.4 Анализ вредных производственных факторов

Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.

Микроклимат характеризуется тремя основными параметрами, а именно, температурой воздуха, влажностью и скоростью движения воздушных масс. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений установлены в санитарных правилах и нормах СанПиН 2.2.4.548-96 [35].

Некоторые производственные процессы не позволяют поддерживать оптимальные показатели микроклимата, что может существенно снизить производительность рабочего персонала, повысить утомляемость и заболеваемость.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [35] работа при проведении исследований относится к категории Па, так как иногда приходится переносить предметы массой свыше 10 кг. Из этого следует, что в холодный период года оптимальные значения показателей микроклимата должны соответствовать следующим значениям: температура воздуха 19-21°C, относительная влажность воздуха 60-40% и скорость движения воздуха 0,2 м/с. Для теплого периода года данные показатели составляют: температура воздуха 20-22 °С, относительная влажность воздуха 60-40% и скорость движения воздуха 0,2 м/с.

Оптимальные показатели микроклимата в лаборатории обеспечиваются за счет системы отопления, кондиционера и вентиляции.

Основным фактором, приводящим к отклонению показателей микроклимата от нормы, является оборудование с высоким тепловыделением.

Превышение допустимой температуры воздуха рабочей зоны может быть вызвана неисправностью кондиционеров или долгой работой установки

для электроимпульсного спекания на высокой мощности, особенно высокая вероятность отклонения показателей микроклимата присутствует в жаркие дни.

Недостаточная освещенность. Лаборатория расположена на цокольном этаже, поэтому необходимая освещенность достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами.

Плохие условия освещенности (низкая освещенность, недостаточная равномерность, помехи, отвлекающие внимание, дискомфортная блескость) приводят к снижению зрительной работоспособности, усталости центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания недостаточно четких или сомнительных сигналов, мышечной усталостью из-за неудобного положения, принимаемого в попытке разглядеть тот или иной объект. Локальные мышечные напряжения (в частности, шейных мышц) могут возникать также во время работы, при которой необходимо пользоваться микроскопом.

По нормам освещения и отраслевым нормам освещения в помещении при работе с ПК рекомендуется освещенность 300 - 500 лк, коэффициент пульсации 15-20%.

При недостаточной освещенности рабочего места необходимо увеличить число осветительных приборов либо использовать более яркие лампы.

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 [36].

При комбинированном освещении для офисных помещений в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [36] установлено значение КЕО равное 0,6.

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 СВМПЭ и порошок В₄С. Порошок СВМПЭ и порошок В₄С в биосредах, в опыте не дают острого токсического эффекта. Но микродисперсные порошки способны оказывать раздражающий эффект на органы дыхания.

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 [32], ГОСТ 12.4.299-2015 [43]. Если при попадании на кожу способны вызвать раздражение, поэтому при работе с ними следует пользоваться перчатками и халатом для защиты открытых участков кожи согласно [43].

5.5 Анализ опасных производственных факторов

Механические опасности. Основным источником механической опасности в рабочей зоне является планетарная шаровая мельница. Высокоскоростные планетарные шаровые мельницы являются опасным производственным фактором. Неправильное использование планетарной шаровой мельницы может нанести серьезный ущерб здоровью человека: царапины, ушибы, переломы костей.

Согласно ГОСТ ISO 12100-2013 [38] машины и механизмы имеющие подвижные части, способные нанести вред здоровью человека, должны быть оснащены защитными или предохранительными устройствами. И в случае, когда наблюдение за процессом прессования необходимо, должны использоваться индивидуальные средства защиты лица и глаз, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.253-2013 [44].

Безопасные расстояния для предохранения верхних конечностей от попадания в опасную зону указаны в ГОСТ ISO 12100-2013 [38]. Для планетарной шаровой мельницы, используемой в работе, в данном нормативном акте установлено расстояние равное 1,4 м при высоте защитного ограждения 1м.

Электробезопасность. В ходе выполнения работы были использованы следующие электроприборы: электронный микрометр, электронные весы, персональный компьютер, сканирующий электронный микроскоп, планетарная шаровая мельница, машина для спекания SPS, машина для ультразвукового прессования. 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. Электролитическое действие тока проявляется в разложении крови и других жидкостей в организме, вызывая тем самым значительные нарушения их физико-химических составов. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве и повреждении кровеносных сосудов, нервов, мозга и других органов, что вызывает их серьезные функциональные расстройства. Биологическое действие тока выражается главным образом в нарушении биоэлектрических процессов, свойственных живой материи, с которыми связана ее жизнеспособность [44].

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [39] на производстве для обеспечения электробезопасности должны быть приняты следующие защитные меры:

- защитные оболочки;
- защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную);
- изоляцию рабочего места;

- малое напряжение
- защитное отключение.

Для защиты от поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [39] электроприборы должны быть заземлены или занулены.

При работе с электроприборами должны соблюдаться «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», установленные ГОСТ 12.2.007.0-75 [40]. 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 [45] в целях обеспечения пожарной безопасности в лаборатории запрещено:

- курить;
- пользоваться неисправными электронагревательными приборами;
- использовать временную электропроводку, удлинители, переноски для питания приборов;
- перегружать электрическую сеть;
- скручивать, завязывать электрические провода;
- хранить пожароопасные материалы ЛЖВ;
- оставлять выключенным свет, компьютеры и другие электроприборы.

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.

Кроме того, перед спеканием необходимо изучить фазовые диаграммы контактирующих в процессе спекания веществ (подложки и образца, образцов из различных материалов), чтобы выявить наличие или отсутствие низкотемпературных эвтектик, которые говорят о возможности взаимодействия различных веществ при температуре ниже, чем температура плавления каждого из веществ в отдельности. Пренебрежение анализом диаграмм состояния веществ, находящихся в зоне спекания, может привести к уничтожению не только образца и кюветы, но и повреждению футеровки печи, что может привести к короткому замыканию и пожару.

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.

5.6 Экологическая безопасность

Наночастицы, благодаря малому размеру, могут проникнуть практически в любые среды и даже в организмы. Поступая из разных источников в окружающую среду, наночастицы, способны проникать в самые разные области нашего мира. Схема миграции наночастиц представляет собой взаимное перемещение наночастиц между средами обитания, а также миграцию в различные биологические объекты.

Защита атмосферы. Наночастицы, попадая в воздух, образуют аэрозоли, устойчивые к седиментации. Эти аэрозоли проникают в биологические объекты через дыхательные пути, пищеварительный тракт, кожу и слизистые. Чтобы предотвратить попадание веществ в атмосферу, следует использовать в помещении лаборатории систему вентиляции, оснащенную встроенной системой фильтрации. Предельно допустимая концентрация наноматериалов в воздухе регламентируется [45]. В производственных помещениях также необходимо контролировать чистоту помещения. Для этого используют следующие технические подходы: контроль, фильтрование среды, очистка

сред, индивидуальная защита персонала. В помещениях, где непосредственно проводится работа с наноразмерными частицами используется вытяжная система с вакуумом для предотвращения попадания дисперсных частиц за пределы помещения.

Защита гидросферы. Наночастицы с производства, при неправильной утилизации суспензий металлических нанопорошков могут попадать в воду, используемую для питьевых нужд. Данным путем частицы попадают в пищеварительный тракт человека. В настоящее время исследования, доказывающие данный механизм попадания частиц не проведены, а такая возможность рассматривается только на вероятностном уровне. При этом, на сегодняшний день тема поведения наночастиц в водных средах не изучена глубоко, а в России наноматериалы не признаны потенциально опасными. По ГОСТ 17.1.3.06–82 и ГОСТ 17.1.3.13–86 если ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 не превышен, очистка воды не требуется.

Защита литосферы. Наночастицы попадают в почву путем осаждения, адсорбции или адгезии из атмосферы, растворением и осаждением из гидросферы, а также из биологических объектов, например, при их разложении. Наночастицы легко проникают из почвы в бентос, в растения, и, далее по пищевой цепочке, в организмы животных и людей. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве регламентируется МУ 2.1.7.1185-03. 2.1.7..

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Здание 10 корпуса, где находится лаборатория, ТПУ 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. Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар. Причиной пожара может быть короткое замыкание, возгорание легко воспламеняющихся веществ, неосторожное обращение с огнем. Все помещения должны соответствовать требованиям пожарной

безопасности согласно ГОСТ 12.1.004-91 [46] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [47].

Для предотвращения и ликвидации пожара здание оборудовано пожарной сигнализацией, пожарными кранами и шлангами, пожарными щитами, огнетушителями, во всех помещениях имеется план эвакуации, в коридорах указатели движения к эвакуационному выходу. На рисунке 5.1 представлен план эвакуации из лаборатории (021 аудитория) и соседних помещений.

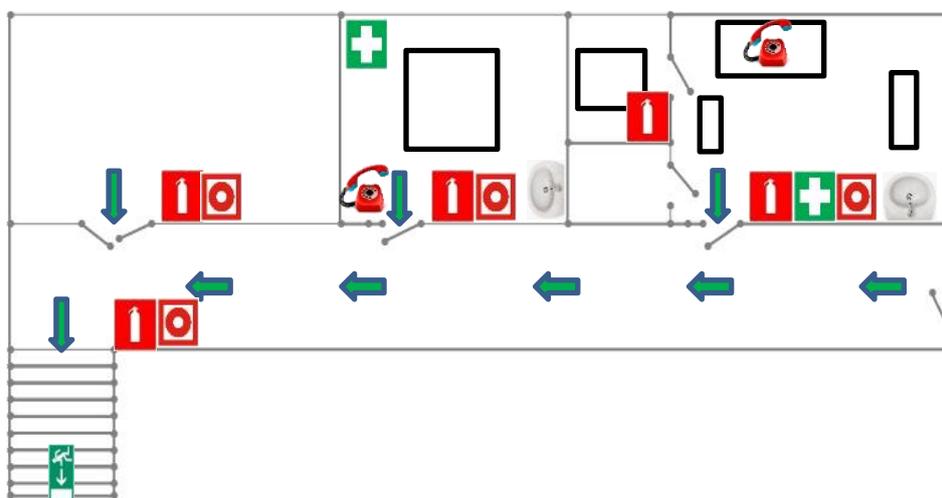


Рисунок 5.1 - План эвакуации

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

При срабатывании пожарной сигнализации или явных признаках пожара необходимо руководствоваться следующими указаниями.

При выходе из помещения, убедиться, что за дверью нет пожара, приложив руку к двери или к металлической ручке, если они горячие, то ни в коем случае не открывайте дверь. Если основной выход заблокирован пожаром, постарайтесь покинуть помещение через окна. Если нет возможности выйти через окна необходимо плотно заткнуть все щели вокруг двери влажными тряпками, укрыться смоченными водой покрывалами или намочить одежду, при наличии большого количества воды постоянно

поливать дверь. Постарайтесь по средствам связи сообщить о своем местоположении. При задымлении необходимо лечь на пол и дышать сквозь намоченную ткань, дожидаясь спасения.

Когда есть возможность покинуть помещение, необходимо организованно двигаться к аварийному выходу, согласно плану эвакуации (рисунок 1), избегая при этом огня и сильного задымления. При наличии дыма, двигайтесь на четвереньках, прикрывая дыхательные пути влажной тканью. Плотнo закрывайте за собой двери, чтобы замедлить распространение пожара. При невозможности пройти к эвакуационному выходу, используйте для выхода окна или лазы на крышу, привлекайте к себе внимание, чтобы вас заметили и спасли. При выходе из помещения сразу сообщите об этом ответственным лицам. Если очаг возгорания возник непосредственно на вашем рабочем месте, первым делом вызовете пожарную службу и самостоятельно начните тушение огня с помощью имеющихся в помещении противопожарных средств. При возгорании электроприбора, перед тушением, необходимо его обесточить и накрыть покрывалом, ограничив доступ к огню кислорода. При отсутствии покрывала тушите с помощью огнетушителя или водой, однако это может повредить не вышедшие из строя в результате пожара элементы прибора.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы были сделаны следующие выводы:

1. Обработка порошковой смеси в горизонтальной и планетарной шаровой мельнице приводит к существенному изменению морфологии частиц СВМПЭ.

2. Планетарная мельница показала себя, как более эффективная технология подготовки порошковой смеси В₄С:СВМПЭ к консолидации по сравнению с обработкой в горизонтальной мельнице.

3. Увеличение продолжительности обработки порошковой смеси в планетарной мельнице способствует уплотнению порошка в процессе прессования.

4. Модуль Юнга напрямую зависит от плотности консолидированных образцов. Чем выше плотность, тем больше модуль Юнга. Образец № 4 имеет максимальное значение модуля Юнга, что является показателем хорошего межчастичного контакта.

5. Было показано, что на реализацию проекта составляют 330645,3 руб. По сравнению с другими решениями значения показателей ресурсоэффективности ниже по сравнению с аналогами.

6. Главным направлением обеспечения экологической безопасности при работе является жесткий контроль предельно допустимая концентрация порошков и порядок действий в случае пожара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛЕТЕРАТУРЫ

- [1] Xiang Dong. Research progress on application and modification of ultra-high molecular weight polyethylene[J]. Chemical Technology Market, 2006, 29(5): 41-45.
- [2] Properties and Application Field of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene DU Shi-xiao(Baiyin Vocational and Technical College of Mining and metallurgy,Baiyin 730900,China)
- [3] Liu Ying, Liu Ping, Chen Chengsi, et al. Properties and application progress of ultra-high molecular weight polyethylene[J]. Foreign Plastics, 2005, 23(11): 36-40.
- [4] Huang Anping, Zhu Bochao, Jia Junji, Li Yanqin, Development and application of ultra-high molecular weight polyethylene, "Polymer Bulletin", 2012, 4:127-132
- [5] Xue Dongfeng, Li Keyan, Zhang Fangfang, et al. Advances in Materials Chemistry[M]. East China University of Science and Technology Press, 2011.
- [6] Stein HL. Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). Engineered Materials Handbook. 1999. p. 167e71.
- [7] Sharma S, Bijwe J, Panier S. Assessment of potential of nano and micro-sized boron carbide particles to enhance the abrasive wear resistance of UHMWPE[J]. Composites Part B: Engineering, 2016, 99: 312-320.
- [8] Mehelli O, Derradji M, Belgacemi R, et al. Development of lightweight and highly efficient fast neutrons composites shields based on epoxy, UHMWPE fibres and boron carbide particles[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2022, 193: 109510.
- [9] Andrievski R A 2012 Russ. Chem. Rev. 81(6) 549 [8] Domnich V, Reynaud S, Haber R A and Chhowalla M J 2011 Amer. Ceram. Soc. 94(11) 3605
- [10] DiJulio, D., Cooper-Jensen, C.P., Perrey, H., Fissum, K., Rofors, E., Scherzinger, J., Bentley, P.M., 2017. A polyethylene- B₄C based concrete for enhanced neutron shielding at neutron research facilities. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 859, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.03.064>.
- [11] Shin, J.W., Lee, J.-W., Yu, S., Baek, B.K., Hong, J.P., Seo, Y., Kim, W.N., Hong, S.M., Koo, C.M., 2014. Polyethylene/boron-containing composites for radiation shielding. Thermochim. Acta 585, 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.03.039>.
- [12] Zhang, X., Yang, M., Zhang, X., Wu, H., Guo, S., Wang, Y., 2017. Enhancing the neutron shielding ability of polyethylene composites with an alternating multi-layered structure. Compos. Sci. Technol. 150, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.06.007>.
- [13] Yasin T, Khan M N. High density polyethylene/boron carbide composites

- for neutron shielding[J]. *e-Polymers*, 2008, 8(1).
- [14] S. Sharma, J. Bijwe, S. Panier, Assessment of potential of nano and micro-sized boron carbide particles to enhance the abrasive wear resistance of UHMWPE, *Composites Part B*, 99 (2016) 312-320. 这个可以去看看文献
- [15] Wang H Q, Quan J Y, Yu J R, et al. Improved Wear Resistance of UHMWPE Fibers by Modified Nano-Graphite[C]//*Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2019, 960: 148-154.
- [16] Mashkov Yu K, Kropotin O.V and Shilko S.V. et. al. 2015 *Mater.* 1 pp 22-25.
- [17] Petrova P N, Okhlopkova A A and Fedorov A L 2015 *Friction and Wear* 36, 1 pp 14–20
- [18] Negrov D A and Eremin E N 2012 *Russian Engineering Research* 32, 1 pp 42–44
- [19] Eremin E N and Negrov D A 2014 *Chemical and Petroleum Engineering* 49 pp 9–10
- [20] Попов В.В., Петрунин В.Ф., Хасанов О.Л., Двилис Э.С. Исследование закономерностей прессования нанокристаллических порошков ZrO_2 под ультразвуковым воздействием // *Огнеупоры и техническая керамика.*– 200.– №11.– С. 17 – 23.
- [21] Negrov D A, Eremin E N. The influence of ultrasonic exposure on polytetrafluoroethylene structure modified with boron nitride[C]//*Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2017, 858(1): 012021.
- [22] Negrov D, Eremin E. Effect of ultrasonic vibrations on changing the mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene modified with boron nitride[C]//2014 *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*. IEEE, 2014: 1-4.
- [23] Abdalsalam A H, Sayyed M I, Hussein T A, et al. A study of gamma attenuation property of UHMWPE/ Bi_2O_3 nanocomposites[J]. *Chemical Physics*, 2019, 523: 92-98.
- [24] Xiaozhou Cao, Xiangxin Xue, Tao Jiang, Zhefu Li, Yuefeng Ding, Yong Li, He Yang, Mechanical properties of UHMWPE/ Sm_2O_3 composite shielding material, *J. Rare Earths* 28 (2010) 482–484.
- [25] Z. Parlar, A. Abdlhamed, İ. Akkurt, Gamma–ray–shielding properties of composite materials made of recycled sport footwear, *Int. J. Environ. Sci. Technol.Conf.* (2018).

- [26] German, R.M.: A-Z of Powder Metallurgy, page 103. Elsevier, 2005.
- [27] Uhm Y R, Kim J, Jung J, et al. Preparation and characteristics of nano-B₄C/PVA particles and ultra high molecular weight polyethylene composites[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2010, 27(4): 1338-1342.
- [28] Borisova R V, Nikiforov L A, Okhlopkova T A, et al. Effect of brominated UHMWPE on the properties and structure of the resulting UHMWPE/boron carbide nanocomposite[C]//AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2018, 2053(1): 040009.
- [29] da Silva Chagas N P, de Oliveira Aguiar V, da Costa Garcia Filho F, et al. Ballistic performance of boron carbide nanoparticles reinforced ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2022, 17: 1799-1811.
- [30] Tenório Soares I, de Muniz Almeida C, de Maru Moraes M M, et al. Enhancement of mechanical properties of ultra-high molecular weight polyethylene nanocomposites without losing thermal stability[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2022: e52618.
- [31] Постановление Минтруда России, Минобразования России от 13.01.2003 N 1/29 (ред. от 30.11.2016) "Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций".
- [32] Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
- [33] ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 26.04.1978 N 1100).
- [34] 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).
- [35] 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).
- [36] 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).

[37] ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

[38] 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).

[39] 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).

[40] 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).

[41] Инструкция о мерах пожарной безопасности (Приложение №2 к приказу ректора ТПУ №52/од от 21.06.2013).

[42] 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).

[43] 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).

- [44] 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)
- [45] 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.
- [46] 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)
- [47] 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).