TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование консолидации композита СВМПЭ+B_4C методом искрового плазменного спекания

621.762.06:536.421.5:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Янь Хуэйюэ		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кащук И.В.	к.т.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Лямина Г.В.	к.х.н, доцент		

Томск – 2022 г.

Результаты обучения по направлению

22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Код результа-тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	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), *CDIO Syllabus* (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), *CDIO Syllabus* (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р3	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), *CDIO Syllabus* (3.2, 4.4, 4.8)
Р4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), *CDIO Syllabus* (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
Р5	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), *CDIO Syllabus* (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *F3адачи…EANI*
Р6	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), *CDIO Syllabus* (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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), *CDIO Syllabus* (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной	Требования ФГОС (ОК-7), *CDIO Syllabus* (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями

	деятельности в области материаловедения и технологии материалов	международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р9	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), *CDIO Syllabus* (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4,), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), *CDIO Syllabus* (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ _____ Г.В.Лямина

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Янь Хуэйюэ

Тема работы:

Исследование консолидации композита СВМПЭ+B_4C методом искрового плазменного спекания	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	№32-49/С от 01.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ); порошок карбида бора (B_4C); композиты на основе СВМПЭ и B_4C. Целью данной работы является изучение возможности получения композитов на основе СВМПЭ с высоким содержанием B_4C методом искрового плазменного спекания. Работа проводиться на специальном оборудовании удовлетворяющим требованиям техники безопасности, с использованием средств индивидуальной защиты.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	Задачи работы: 1. Подготовка порошковых смесей СВМПЭ-B_4C. 2. Изготовление образцов композита СВМПЭ-B_4C методом искрового плазменного спекания. 3. Определение плотности образцов. 4. Измерение твердости образцов. Аналитический литературный обзор выполнен по направлениям: 1. Физико-механические свойства СВМПЭ. 2. Физико-механические свойства B_4C. 3. Методы изготовления композиционных материалов на основе СВМПЭ.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Графики, рисунки применяемые в работе

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Кащук И.В. Доцент ОСГН
Социальная ответственность	Сечин А.И. Профессор ООД

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. профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Янь Хуэйюэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Янь Хуэйюэ

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	2. *Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска* 3. *Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ*
4. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	5. *Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование*
6. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	7. *Отчисления во внебюджетные фонды 30 %*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ конкурентных технических решений (НИ)*	2. *Расчет конкурентоспособности* 3. *SWOT-анализ*
4. *Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)*	5. *Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования*
6. *Составление бюджета инженерного проекта (НИ)*	7. *Расчет бюджетной стоимости НИ*
8. *Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)*	9. *Интегральный финансовый показатель.* 10. *Интегральный показатель ресурсоэффективности.* 11. *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	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Янь Хуэйюэ		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
154Б82	Янь Хуэйюэ		
Школа	ИШНПТ	**Отделение (НОЦ)**	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/ специальность**	22.03.01.Материаловедение и технология материалов

Тема ВКР:

Исследование консолидации композита СВМПЭ+B_4C методом искрового плазменного спекания	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	*Объект исследования:Композиты из карбида бора и СВМПЭ* *Область применения:Высокопрочный защитный материал* *Рабочая зона: в 021 аудитории 10 корпуса ТПУ* *Размеры помещения:5*8м* *Количество и наименование оборудования рабочей зоны:* *освещение смешаннов, наличие ПК, рабочего стола оператора, установка ИПС, шаровая мельница и ск анирующий электронный микроскоп.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	*"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 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*

	поля радиочастот; *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 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.*
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	*Были выявлены следующие вредный факторы производства:* 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.* *Были выявлены следующие опасные факторы производства:* 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;* *– Были выявлены основные источники опасности, выбраны средства защиты и определены защитные мероприятия.*
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	*Работа с металлическими порошками СВМПЭ и порошки B_4C в данных концентрациях не несут опасных и вредных воздействий на окружающую среду(селитебную зону, атмосферу, гидросферу, ли тосферу).*

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	*Пожар*
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Янь Хуэйюэ		

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2022

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

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Г.В. Лямина	к.х.н. доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 73 страницы, 16 рисунков, 22 таблиц и 45 источников.

Ключевые слова: Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) карбид бора (B_4C), искровое плазменное спекание (ИПС), композитный материал.

Объект исследования: образцы композитных материалов на основе СВМПЭ и B_4C.

Целью настоящей работы является изучение возможности получения композитов на основе СВМПЭ с высоким содержанием B_4C методом искрового плазменного спекания.

В выпускной квалификационной работе проведен аналитический обзор научных публикаций, посвященных методам изготовления композитных материалов на основе полимерной матрицы и керамических наполнителей. Исследовано влияние наполнителя на электроимпульсное плазменное спекание, плотность и твердость, изготовленных в работе композитов. В работе было использовано следующее оборудование: шаровая мельница МЛШ-01 (ПромстройМаш, Россия), установка искрового плазменного спекания SPS-515S (Syntex Inc., Япония), твердомер ТВР-ДЦ (Восток 7, Россия), сканирующий электронный микроскоп JSM7500FA (JEOL, Япония), Экспериментальные данные были обработаны при помощи программного обеспечения ImageJ и пакета программ Microsoft Office.

Выпускная квалификационная работа выполнена на оборудования ЦКП НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» Национально исследовательского Томского политехнического университета, который поддержан проектом МОН № 075-15-2021-588.

Содержание

Введение 16

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР) 17

1.1 Физико-химические свойства СВМПЭ 17

1.2 Физико-химические карбида бора (B_4C) 18

1.3 Методы изготовления композиционных материалов на основе СВМПЭ и карбида бора 20

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ, МАТЕРИАЛЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 25

2.1 Исходные порошковые материалы и методика изготовления образцов. 25

2.2 Оборудование и методы 27

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 31

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 35

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ... 35

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений 35

4.1.2 SWOT-анализ 36

4.2 Планирование научно-исследовательских работ 39

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования 39

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения 40
4.3 Бюджет научно-технического исследования 43
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования. 44
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования 44
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы 45
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы 47
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 47
4.3.6 Накладные расходы 47
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР 48
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 49
4.4.1Интегральный показатель финансовой эффективности 49
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности. 50
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки 51
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 54
5.1 Введение 54
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 54
5.3 Производственная безопасность 56
5.4 Анализ вредных производственных факторов 57
5.5 Анализ опасных производственных факторов 60

5.6 Экологическая безопасность 63

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 65

5.8 Выводы по разделу 66

Заключение 68

Список литературы 69

ВВЕДЕНИЕ

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) сочетает в себе уникальную комбинацию свойств: высокую вязкость и трещиностойкость, отличную работоспособность при повышенных рабочих скоростях, малый износ, незначительные потери при трении, высокую устойчивость по отношению к воздействию агрессивных сред (кислоты, щелочи, едкие газы), хорошее шумопоглощение, хорошую стойкость к воздействию температур в диапазоне от - 200°С до 90 °С. Физико-химические свойства материалов на основе СВМПЭ определяются его атомным, молекулярным и надмолекулярным строением. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен с наполнителями из карбида бора и/или тяжелых металлов является перспективным для защиты от баллистического воздействия, нейтронного и рентгеновского излучения [1].

Актуальной задачей на сегодняшней день является изготовление высоконаполненных композиционных материалов на основе СВМПЭ и карбида бора, ограниченной плохой смачиваемостью и слабой адгезией карбида бора и низким показателем текучести расплава полимера из-за его высокой молекулярной массы. В связи с этим для изготовления композитов на основе СВМПЭ перспективно использовать метод искровое плазменное спекание (ИПС).

Искровое плазменное спекание (ИПС) - это технология получения функциональных и конструкционных материалов. Она отличается высокой скоростью нагрева, коротким временем спекания и возможностью контроля структуры. Этот метод используется для получения металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов [2].

Целью работы является изучение возможности получения композитов на основе СВМПЭ с высоким содержанием B_4C методом искрового плазменного спекания.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

1.1. Физико-химические свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обычно получают из этилена высокой чистоты с низким содержанием примесей. Этилен очищают при температуре 100ºС и давлении 4-5 МПа или при температуре 130ºС и давлении 0,5-0,8 МПа, методом низкотемпературной адсорбции с последующим фракционированием, методом гиперсорбции на активированном угле или методом гидрирования в присутствии кобальт-молибденового катализатора при температуре 250 ºС и давлении 1,5 МПа [3]

Физико-химические, химические и механические свойства СВМПЭ обусловлены высоким значением молекулярной массы. Благодаря этому его эксплуатационные характеристики существенно выше чем у полиэтиленов стандартных марок [4].

Износостойкость СВМПЭ пропорциональна молекулярной массе. Испытания на износ показывают, что его стойкость в несколько раз выше, чем у традиционной углеродистой стали и меди. В 4-5 раз выше чем у нейлона и политетрафторэтилена (ПТФЭ). Он занимает первое место среди существующих материалов своего класса. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен имеет очень широкие перспективы практического применения в автомобилестроении, судостроении и морской техники, атомной энергетики, в аэрокосмической и оборонной промышленности [5]. Применяется в пищевой промышленности, используется для транспортировки порошкообразных или гранулированных твердых продуктов питания, таких как пшеница, мука, рис и зерно [6]. Также СВМПЭ является единственным разрешенным полимером медицинского назначения. Согласно ISO 5834-5:2005 [26] он используется для

изготовления эндопротезов, соответствующий высоким национальным и мировым стандартам медицинских материалов [7].

СВМПЭ имеет высокую ударную вязкость и низкий коэффициент трения (0,05-0,11). Он является саомсмазывающимся материалом, является хорошим звукоизоляционным материалом и обладает отличным эффектом шумоподавления [8].

1.2 Физико-химические карбида бора

Карбид бора — также известный как черный алмаз, представляет собой неорганическое вещество с химической формулой B_4C, обычно серо-черный микропорошок. Карбид бора сохраняет очень похожую кристаллическую структуру для своего диапазона составов. Карбид бора имеет сложную кристаллическую структуру, характерную для боридов на основе икосаэдра. Икосаэдры бора образуют ромбоэдрическую единицу решетки (пространственная группа: R-3m (№ 166), постоянная решетки: a = 0,56 нм и c = 1,212 нм), окружающую цепь C-B-C, которая находится в центре элементарной ячейки, и оба атома углерода соединяют соседние три икосаэдра. Кристаллическая решетка карбида бора представлена на рисунке 1.

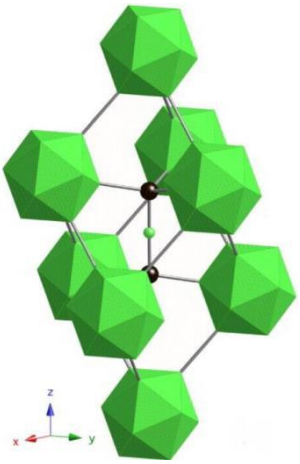

Рисунок 1-Элементарная ячейка B_4C. Зеленая сфера и икосаэдры состоят из атомов бора, а черные сферы - из атомов углерода [9]

Молекулярные структуры карбида бора обсуждались независимыми научными группами [10,11]. Атомные связи в карбиде бора между бором и

углеродом были определены как однородные. Эти связи, очевидно, играют важную роль в формировании специфической кристаллической структуры и достижении хороших свойств материала [12]. Это один из трех самых твердых известных материалов (после алмаза и кубического нитрида бора), который используется для изготовления бронеэлементов специальной техники, в бронежилетах и различных отраслях промышленности [13]. Он имеет твердость по шкале Мооса около 9,5, низкий удельный вес и является самым легким среди керамических материалов, поэтому его можно использовать в аэрокосмической отрасли [14, 15].

Карбид бора является радиационно-защитным материалом [16]. По сравнению с чистыми элементами B и Cd, карбид бора имеет низкую стоимость, хорошую коррозионную стойкость и термическую стабильность. Он широко используется в атомной промышленности. Карбид бора может поглощать большое количество нейтронов без образования каких-либо радиоизотопов, поэтому он является идеальным поглотителем нейтронов на атомных электростанциях. Из карбида бора в основном изготавливают поглощающие стержни для ядерных реакторов [17].

B_4C обладает прекрасными химическими свойствами. Он не реагирует с кислотами, щелочами и большинством неорганических соединений при комнатной температуре. Медленно коррозирует только в смесях плавиковой, серной и азотной кислоты [18].

Карбид бора обладает такими преимуществами, как высокая температура плавления, высокий модуль упругости, низкий коэффициент расширения. Прочность и ударная вязкость карбида бора немного ниже, чем у других керамических материалов аналогичного класса, однако существуют методы, позволяющие увеличить прочность и ударную вязкость карбида бора [19].

1.3 Методы изготовления композиционных материалов на основе СВМПЭ и карбида бора

Горячее прессование - это процесс совмещающий в себе одновременное приложение давление и нагрева консолидируемого материала до достаточно высокой температуры, достаточной чтобы вызвать инициировать процесс спекания материала [19].

В процессе горячего прессования на качество готового изделия будут влиять скорость приложения давления, скорость изменения температуры, свойства используемого сырья, свойства рабочей среды и термодинамические параметры [20,21].

Вакуумформование – это процесс формования изделий из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых полимер переходит в высокоэластическое состояние. В процессе вакуумформования (рисунок 2) плоская заготовка 3 из термопластичного полимерного материала вдавливается по периферии в рабочую камеру установки через прижимную раму 2, которая предварительно нагревается до высокоэластичного состояния 1 (Рисунок 2а) с помощью нагревательного устройства). Затем (Рисунок. 2б) в полости, образованной заготовкой 3 и поверхностью формующего основания 4 (или формующего пуансона), создается вакуум, в результате чего изделие 5 формуется (извлекается из формующего инструмента) за счет создан перепад давления, прижимная рама предварительно открыта до 2,5 МПа [20,21].

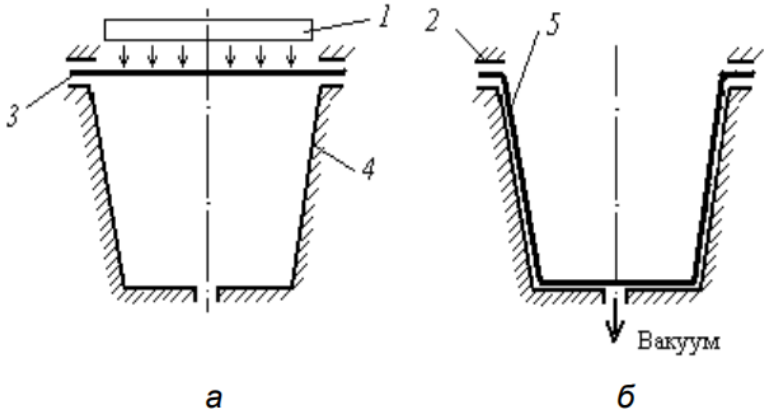

Рисунок 2 -Схема реализации процесса вакуумного формования: 1 –

нагревательное устройство; 2 – прижимная рама;3 – плоская полимерная заготовка; 4 – формующая матрица;5 – отформованное изделие [20].

Метод механотермоформования (рисунок 3) отличается от метода пневмо- и вакуумформования только тем, что формование изделия 5 из плоской заготовки 1 осуществляется за счёт поступательного перемещения формующего пуансона 3, вытягивающего предварительно нагретую устройством 2 заготовку, закреплённую в зажимном устройстве 4. Придание плоской разогретой заготовке 3 формы готового изделия 5 осуществляется за счёт её механической вытяжки металлическим пуансоном.

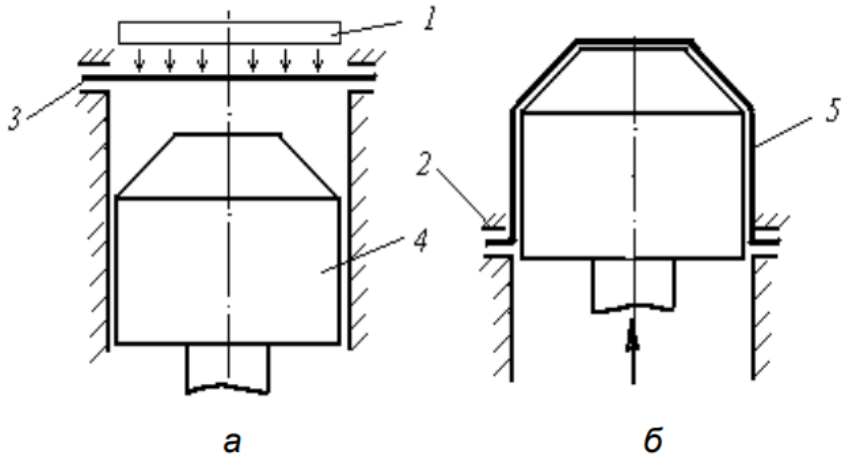

Рисунок 3 -Схема реализации процесса механотермоформования (ГП): 1 – нагревательное устройство; 2 – прижимная рама;3 – плоская полимерная заготовка; 4 – формующий пуансон;5 – отформованное изделие [21].

В работе [22] изучали влияние порошка вольфрама на свойства композита СВМПЭ-W. Результаты показали, что более высокое содержание наполнителей в полимерно-матричных нанокомпозитах приводит к увеличению модуля упругости, напряжения растяжения и предела прочности при растяжении. Однако удельное удлинение значительно снижается. поток быстрых нейтронов вызывает остаточную радиоактивность в материале. В механических свойствах облученного композита наблюдается снижение

пластичности и относительного удлинения, тогда как предел прочности и предел текучести остаются постоянными [22].

Ультразвуковое прессование. Метод компактирования сухих порошков под УЗ-воздействием (УЗВ) осуществляется в специальной пресс-форме акустическом волноводе, в котором имеется объем, заполненный сухим порошком [23].

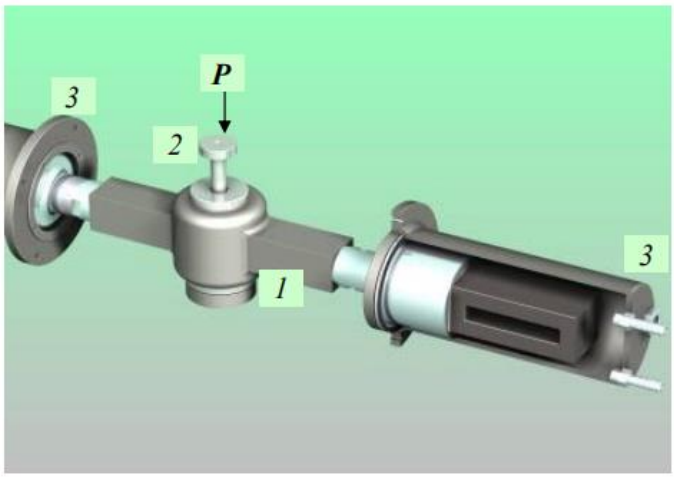

Рисунок 4 -акустическом волноводе [23]

Одновременно с давлением P к матрице пресс-формы (Рисунок 4) (1) перпендикулярно оси прессования пуансонов (2) от широкополосного УЗ-генератора через магнитострикционные преобразователи (3) подводятся УЗ-колебания с фиксированной частотой f, но с различной мощностью W, в течение времени τ [23].

Равномерное распределение частиц в прессовках заданной формы обеспечивается при условиях квазирезонансного УЗ-воздействия определенной мощности (интенсивности) в процессе компактирования материала [23]

Воздействие на порошок мощного ультразвука в процессе прессования уменьшает межчастичное трение и трение частиц порошка о стенки пресс-формы, частично разрушает агломераты и крупные частицы, повышает поверхностную активность частиц порошка и равномерность их распределения по объему [24- 28].

Для прессованных композитов СВМПЭ это способствует увеличению плотности образца, ускорению процесса диффузии, ограничению роста зерен при последующем спекании и сохранению наноструктуры [28].

Искровое плазменное спекание (Spark Plasma Sintering, ИПС) – которое также известно под названием «технология спекания в электрическом поле» (FAST, Field Assisted Sintering Technology) – это новая, инновационная технология спекания, которая играет все большую роль в получении различных материалов, например, наноструктурных материалов, композитных материалов и градиентных материалов.

ИПС похож на горячее прессование, но метод нагрева совершенно другой. Это метод спекания под давлением, который использует электрический ток для нагрева консолидируемого материала. В процессе ИПС электрический ток проходит через частицы порошка [30].

Установка SPS-511S состоит из вакуумной камеры с охлаждаемыми водой стальными стенками (Рисунок.5). Внутри установки между стальными электродами 1 и 6 размещается закрепленная графитовыми вставками 2 пресс-форма 5. Спекаемый образец 4 помещен между графитовыми пуансонами 3. Для обеспечения надежного контакта между стальными электродами и графитовыми вставками внутри пресс-формы устанавливают прокладки 7 и 9 и трубку из графитовой фольги 8 [29].

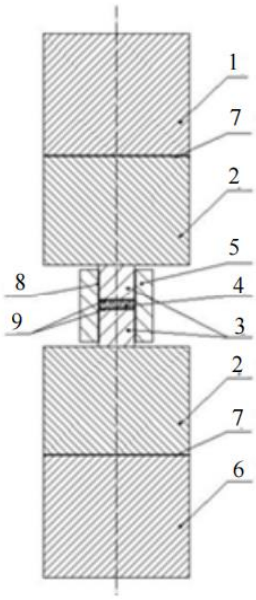

Рисунок 5- Схематическая модель установки искрового плазменного спекания [30].

1 – верхний охлаждаемый электрод; 2 – графитовые вставки; 3 – верхний и нижний графитовые пуансоны; 4 – образец; 5 – пресс-форма; 6 – нижний охлаждаемый электрод; 7, 9 – прокладки из графитовой фольги; 8 – трубка из графитовой фольги

ИПС обладает рядом преимуществ по сравнению с горячим прессованием. Однако ИПС является дорогостоящим методом, и в настоящее время с его помощью весьма проблематично получить образцы, отличные от лабораторных [24].

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ, МАТЕРИАЛЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

2.1 Исходные порошковые материалы и методика изготовления образцов.

В качестве исходных материалов для изготовления порошковых смесей использовали коммерческие порошки сверхвысокомолекулярного полиэтилена GUR 2122 (Celanese, Германия) и карбида бора (ОКБ-Бор, Россия).

Порошок СВМПЭ имеет белый цвет. Средний размер частиц порошка по данным производителя - 20 мкм, плотность материала - 0,94г/см^3. Фотография порошка представлена на рисунке 6.

Риунок 6- СВМПЭ GUR 2122 (Celanese, Германия)

Порошок карбида бора имеет черный цвет. Средний размер частиц порошка по данным производителя - 3 мкм, плотность материала 2,52г/см^3. Фотография порошка представлена на рисунке 7.

Рисунок 7 - Карбид бора (ОКБ, Бор)

Порошковые смеси состава СВМПЭ – B_4C с содержанием карбида бора от 75 мас. % до 90 мас. % готовили путем смешивания исходных порошков в

агатовой ступке в течение 15 минут, затем сухим смешиванием в горизонтальной шаровой мельнице МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия) в течение 68 часов. Соотношение массы шаров к массе порошка составляло 8:1.

В результате было подготовлено четыре порошковые смеси на основе СВМПЭ с различным содержанием карбида бора. Состав полученных смесей представлен в таблице 1.

Таблица 1- Состав порошковых смесей

Смесь №	Содержание B_4C, об.%
1	75
2	80
3	85
4	90

Консолидацию подготовленных порошковых смесей проводили методом искрового плазменного спекания на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония) с использованием пресс-формы из карбида вольфрама. Процесс проводили в вакууме при температуре 180℃ с выдержкой в течение 10 минут. Давление прессования в течении всего процесса составляло 40 МПа. Для измерения температуры использовали термопару. Изменение линейных размеров консолидируемого материала регистрировали с помощью встроенного оборудования технологической установки.

В результате спекания были получены образцы диаметром ~10 мм и толщиной от 3,8 до 4,2 мм.

Плотность образцов определяли по формуле:

$$\rho = m/V, \qquad (1)$$

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

Относительную плотность определяли, как отношение плотности образца к теоретической плотности порошковой смеси. Значение теоретической плотности определяли по правилу смесей. Результаты расчёта для каждого состава представлены в таблице 2.

Таблица 2-Рассчетная теоретическая плотность порошковых смесей.

Смесь №	Плотность, г/см^3
1	2,125
2	2,204
3	2,283
4	2,362

На рисунке 8 представлена схема проведения эксперимента.

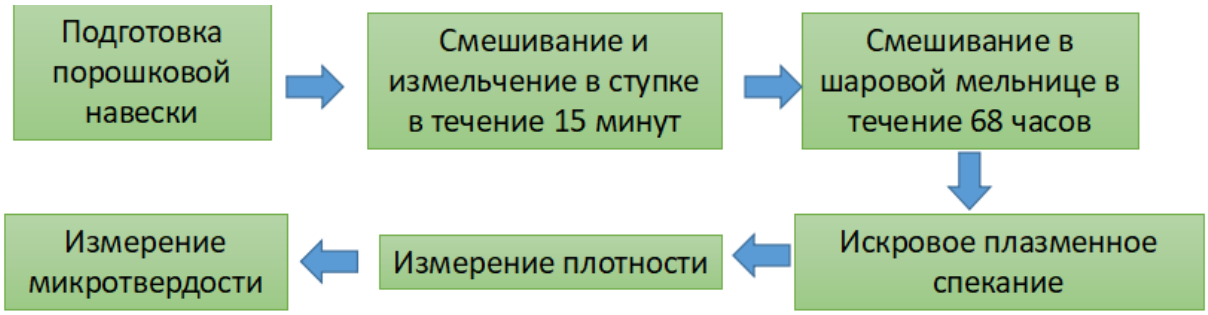

Рисунок 8 – Схема эксперимента

2.2 Оборудование и методы

Горизонтальная шаровая мельница МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия), использованная в работе, представлена на рисунке 9.

Шаровая мельница состоит из полой цилиндрической емкости, вращающейся вокруг своей оси. Емкость частично заполнена мелющими телами, в качестве которых были использованы керамические шары, выполненные из диоксида циркония.

Рисунок 9-Горизонтальная шаровая мельница МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия)

Установка искрового плазменного спекания и вольфрамовая пресс-форма, использованные в работе представлены на рисунке 10.

Искровое плазменное спекание – это процесс консолидации материала, протекающий под одновременным термическим и компрессионным воздействием. Принцип спекания импульсным током был предложен в 1930 году, но только в 1965 году технология спекания импульсного была впервые использована в Японии и других странах.

Процесс ИПС заключается в том, чтобы поместить металл и другой порошок в форму, изготовленную из графита и других материалов, с использованием электродов для перфорации и подачи верхней и нижней матрицы, чтобы придать удельную мощность спекания и давление прессования спеченному порошку. Активация разряда, термопластическая деформация и охлаждение дополняют новую технологию спекания порошковой металлургии для производства высококачественных материалов. Особенностью технологии ЭИПС является то, что импульсный ток прямо передается между частицами порошка для нагревания, чтобы плотно спекать порошковые материалы [31].

При использовании метода электроимпульсного плазменного спекания рост зерен ограничен короткой продолжительностью цикла спекания. Технология ИПС заключается в применении больших импульсных токов непосредственно в пресс-форме, через тепловые или другие полевые эффекты для достижения спекания наноматериала. Метод ИПС может быстро достичь спекания за короткое время путем комплексного контроля местного высокотемпературного поля, разряда шокового давления, и электрического поля диффузии во время начального спекания. Установлено, керамические материалы, изготовленные методом ИПС в оптимальном режиме, могут быть обладать высокой плотности (близкой к теоретической) и повышенными механическими свойствами [31].

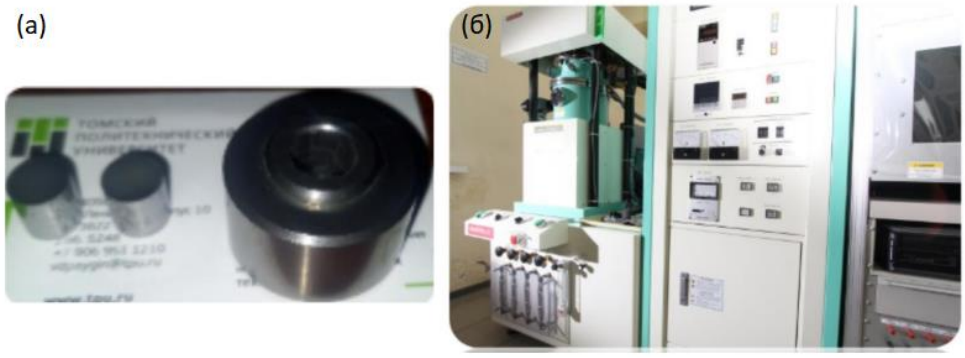

Рисунок 10-а-Пресс-формы из твердого сплава, б-ИПС-515S (Syntex Inc., Япония)

Для определения твердости полученных образцов B_4C-СВМПЭ, использовали твердомер Шора с индикатором типа D, который представлен на рисунке 11.

Твердость по Шору относится к методу испытания и выражения твердости материалов. Принцип испытания заключается в том, что алмазный индентор падает на поверхность образца с фиксированной высоты, затем отскакивает на определенную высоту, что фиксируется прибором, а затем используется для расчета твердости по Шору [25].

Рисунок 11 - ТВР-ДЦ твердомер (дюрометр) Шора тип D с цифровым индикатором

Морфологию порошков и микроструктуру консолидированных образцов изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-2100 (JEOL, Япония), который представлен на Рисунке 12.

Сканирующий электронный микроскоп - это одна из разновидностей электронного микроскопа. Он позволяет получать изображения исследуемого объекта при помощи сканирования поверхности сфокусированным пучком электронов. Электроны взаимодействуют с атомами в образце, производя различные сигналы, которые содержат информацию о топографии поверхности и составе образца. Электронный луч сканируется в растровой схеме сканирования, и положение луча комбинируется с интенсивностью обнаруженного сигнала для получения изображения.

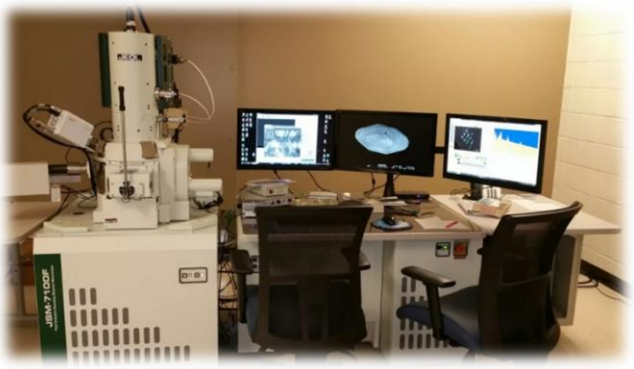

Рисунок 12-Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JSM-2100 (JEOL, Япония).

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

СЭМ-изображения порошковых смесей представлены на рисунке 13. Порошок СВМПЭ состоит из частиц и агломератов различной геометрии с формой близкой к сферической. Частицы карбида бора представляют собой частицы неправильной формы.

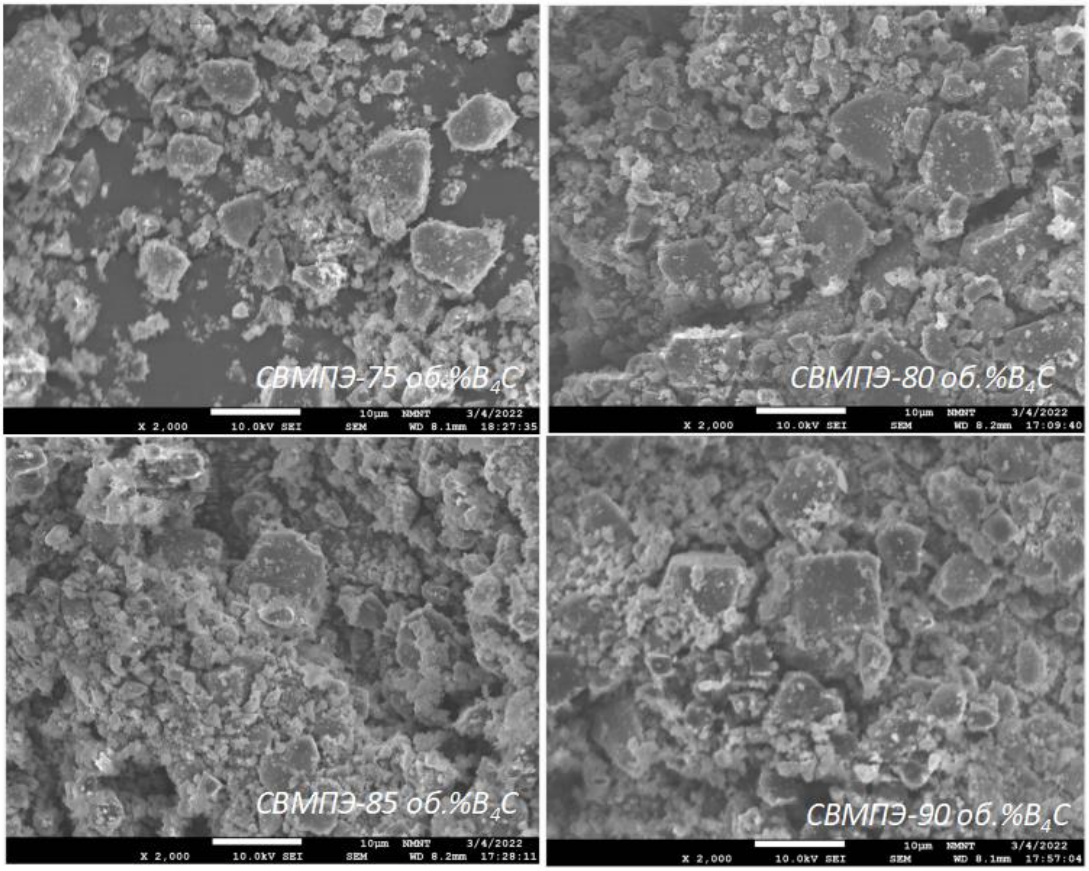

Рисунок 13-СЭМ-изображения смешанный порошок

На рисунке 14 представлены кривые изменения линейных размеров образцов СВМПЭ – B_4C в процессе искрового плазменного спекания до температуры 180 °С под давлением 40 МПа. Усадочные кривые носят одностадийный характер. Интенсивная усадка образца, с содержанием карбида бора 75 об. % начинается при температуре 135 °С и продолжается до 155 °С, после чего замедляется, но не прекращается полностью вплоть до 180 °С и окончания изотермической выдержки.

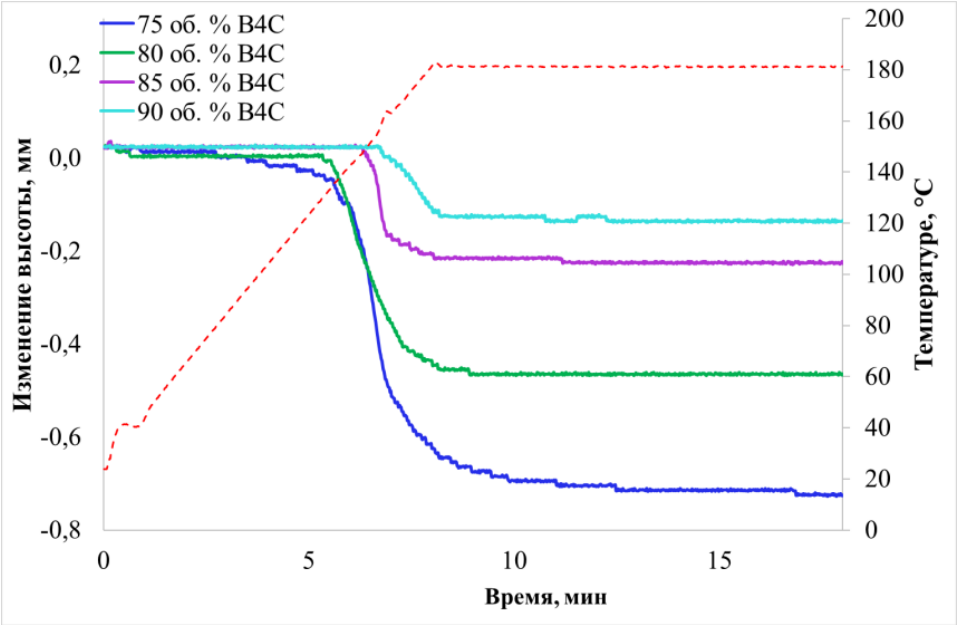

Рисунок 14-Изменение линейных размеров образца СВМПЭ-B_4C в процессе искрового плазменного спекания под давлением

Повышение содержания карбида бора с 75 до 90 об. % приводит к повышению температуры начала интенсивной усадки до 162 °С и температуры ее окончания (180 °С). При этом усадка образцов содержащих карбид бора в количестве от 80 об. % до 90 об. % завершается на этапе изотермической выдержки. В таблице 3 представлены результаты измерения плотности образцов СВМПЭ-B_4C различного состава.

Таблица 3- Результаты измерения плотности образцов СВМПЭ-B_4C

B_4C, об. %	СВМПЭ, об. %	Относительная плотность, %
75	25	92,9±0,5
80	20	83,8±0,5
85	15	78,4±0,5
90	10	75,2±0,5

Наибольшую плотность демонстрирует образец СВМПЭ-B_4C, изготовленный из смеси с содержанием карбида бора 75 об. %. В присутствие карбида бора в количестве от 75 об. % до 90 об. % относительная плотность образцов уменьшается на 17,2 %. Можно предположить, что снижение плотности связано с низким содержанием СВМПЭ в образцах, частицы которого в процессе смешивания порошков распределились недостаточно

равномерно в объеме порошка. Это не позволило образовать непрерывную матрицу, полностью обволакивающую частицы наполнителя.

На рисунке 15 представлены СЭМ-изображения поверхности скола изготовленных образцов СВМПЭ-B_4C, подтверждающие сделанное предположение.

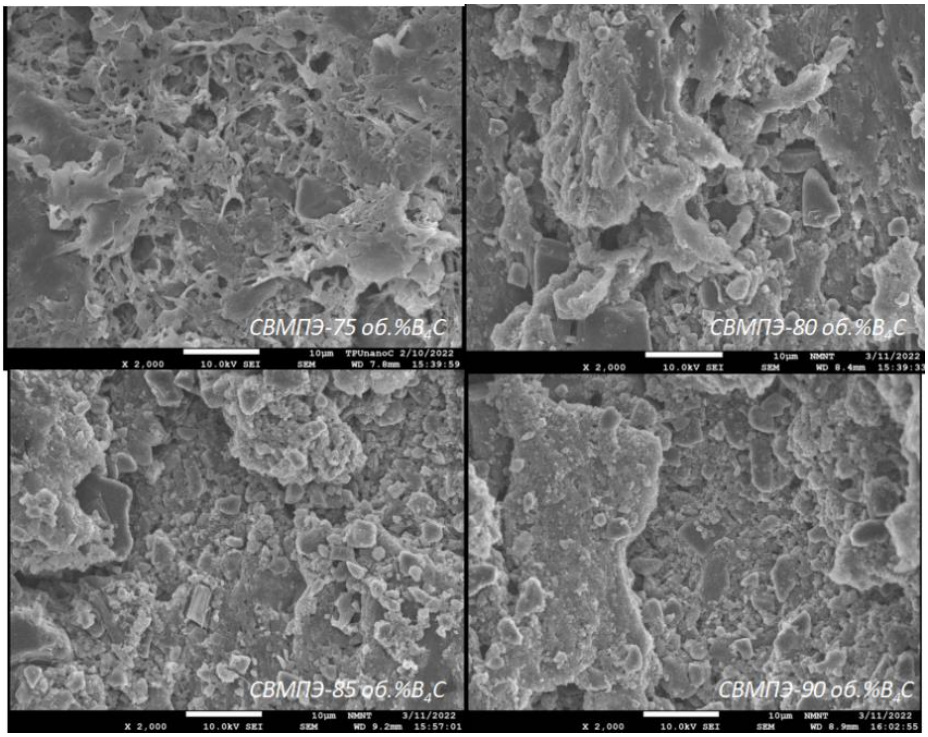

Рисунок 15- СЭМ-изображения поверхности скола композиционных образцов СВМПЭ-B_4C

В таблице 4 представлены результаты измерения твердости полученных образцов.

Таблица 4- Твердость образцов СВМПЭ-B_4C

B_4C, об. %	СВМПЭ, об. %	Средняя твердость, ГПа
75	25	8,38±0,17
80	20	8,04±0,16
85	15	7,48±0,15
90	10	7,01±0,19

Наибольшую твердость (8,38±0,17 ГПа) демонстрирует образец СВМПЭ-B_4C, изготовленный из смеси с содержанием карбида бора 75 об. %. В присутствие карбида бора в количестве от 75 об. % до 90 об. % твердость

образцов уменьшается на 1,37 ГПа. Твёрдость образцов напрямую связана с плотностью и имеет прямую зависимость от нее.

Таким образом, изготовление композита на основе СВМПЭ-B_4C методом электроимпульсного плазменного спекания возможно. Наибольшая плотность (92,4 %) и твердость (8,38±0,17 Гпа) достигается при следующих параметрах ИПС: температура 180 °С, давление 40 МПа, выдержка 10 минут.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

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.

В работе исследуются технологические режимы консолидации смеси по рошков сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и карбида бора мет одом электроимпульсного искрового плазменного спекания.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Сравним три технологии изготовления композитов:

- Искровое плазменное спекание (индекс «ф»);

- Ультразвуковое прессование (индекс «к1»);

- Искровое плазменное спекание+Ультразвуковое прессование (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**			**Конкуренто-способность**		
		$Б_ф$	$Б_{к1}$	$Б_{к2}$	$К_ф$	$К_{к1}$	$К_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,13	5	5	5	0,65	0,65	0,65
2. Количество оборудования	0,12	4	4	5	0,48	0,48	0,6
3. Безопасность	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
4. Эффективность работы	0,12	4	4	5	0,48	0,48	0,6
5. Удобство эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
2. Предполагаемый срок эксплуатации оборудования	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Итого	**1**	**36**	**34**	**35**	**4,46**	**4,28**	**4,37**

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

$K=\Sigma Bi*Бi=$（0.13*5+0.12*4+0.15*5+0.12*4+0.2*4+0.08*5+0.1*4+0.1*5)=4.46

где К – конкурентоспособность проекта; Bi – вес показателя (в долях единицы); Бi– балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование 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. Наличие бюджетного финансирования.	Сл2.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Простота технологии	Сл3. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С4. Экологичность технологии.	
Возможности	**Угрозы**
В1. Использование оборудования ТПУ.	У1. Потеря заказчиков и партнеров.
В2. Сотрудничество с другими научными центрами.	У2. Появление новых конкурентов
В3. Появление дополнительного спроса на новый продук.	

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.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.3.

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

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	-	-	-	-
	В2	0	+	0	0
	В3	-	+	+	+

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

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	0	-	-	-
	В2	-	-	+	+
	В3	-	0	+	+

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

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	0	-	+
	У2	+	+	-	0

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

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	-
	У2	+	-	0

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта**
	С1. Низкая цена исходного сырья. С2. Наличие бюджетного финансирования. С3. Простота технологии С4. Экологичность технологии.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. Сл2.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Эксперименты имеют

		большие погрешности и неопределенности.
Возможности В1. Использование оборудования ТПУ. В2. Сотрудничество с другими научными центрами. В3. Появление дополнительного спроса на новый продук.	**Направления развития** В1С1С2：Удобное оборудование и условия обработки, сырье и бюджет подходят друг другу. В2С2С4：Сотрудничать с другими технологическими центрами, достаточными средствами для облегчения защиты окружающей среды. В3С1С4:Низкая цена исходного сырья и экологичность технологии являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.	**Сдерживающие факторы** В1Сл3Сл4. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку. В1Сл1Сл3. Проведение необходимых экспериментов на оборудовании ТПУ позволит компенсировать отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
Угрозы У1. Потеря заказчиков и партнеров У2. Появление новых конкурентов	**Угрозы развития** У1С4. Введение новых требований к утилизации радиоактивных отходов мало повлияет на предложенную технологию (по сравнению с аналогами) ввиду заявленной экологичности разработки. У2С1С3С4. Большое количество сырья, требующего переработки, сподвигнет государство на выбор наиболее экологичной и дешевой технологии утилизации.	**Уязвимости:** У1Сл2Сл3:Разрабатывать новые технологии для удовлетворения потребностей рынка У2Сл1Сл3:Проведение дополнительных научных исследований и дальнейшее совершенствование технологии.

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:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения і-ой работы, человеко-дни;

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

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

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой і-ой работы в рабочих днях Трі, при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{\text{р}_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i}, \quad (4.2)$$

где $T_{\text{р}i}$ – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ожі}}$ – 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):

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

где T_{ki} – 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		$t_{ожi}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	5	-	3,2	-	3,2	5
2. Календарное планирование выполнения НИР	2	1	4	3	2,8	1,8	2,8	5
3. Обзор научной литературы	-	7	-	10	-	8,2	8,2	13
4. Выбор методов исследования	-	5	-	7	-	5,8	5,8	7
5. Планирование эксперимента	1	4	2	6	1,4	4,8	4,8	7
6. Подготовка материалов	-	2	-	4	-	2,8	2,8	7
7. Проведение эксперимента	-	20	-	40	-	28	28	45
8. Обработка полученных данных	-	6	-	10	-	7,6	7,6	8
9. Оценка правильности полученных результатов	1	2	3	4	1,8	2,8	2,8	4

10. Составление пояснительной записки		10		12	-	10,8	10,8	14
Итого:	6	57	14	96	9,2	72,6	76,8	115

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{кi}$, кал. дн.	Продолжительность работ														
				янв			февр			март			апр			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, используемых при получении ториевого концентрата из монацитового концентрата. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение ториевого концентрата из монацитового концентрата

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
СВМПЭ порошок	кг	1	200	200
B_4C порошок	кг	2	1800	3600
Итого:				3800

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 раннее, 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:

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

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования,	Время использования, мес	H_A, %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сканирующеий электронный микроскоп (SEM) JEOL JSM-7500FA НОИЦ НМНТ ТПУ	1	15	0,3	7	7000000	1225
2	Оборудование SPS SPS-515S (Syntex Inc., Япония)	1	15	0,4	7	15000000	3500
3	Горизонтальная шаровая мельница МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия)	1	10	0,1	10	15000	1.25
Итого:		4726,25 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 $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{дн}=З_м \cdot M/F_д=(58500 \cdot 10,3)/246=2449,39 \quad (4.8)$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_д$ – 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):

$$З_{дн}=З_м \cdot M/F_д=(35100 \cdot 11,2)/213=1845,63 \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$З_м=З_{мс} \cdot (1+k_{пр}+k_д)k_р=30000 \cdot (1+0,3+0,2) \cdot 1,3=58500 \text{ } руб. \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$З_м=З_{мс} \cdot (1+k_{пр}+k_д)k_р=18000 \cdot (1+0,3+0,2) \cdot 1,3=35100 \text{ } руб. \quad (4.11)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_д$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_р$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365

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

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{тс}$, *руб*	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, *руб*	$З_{дн}$, *руб*	$T_{р}$, *раб.дн.*	$З_{осн}$, *руб*
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2449,39	9,2	22534,4
Инженер	18000	0,3	0,2	1,3	35100	1845,63	72,6	133922,7
Итого:								156457,1

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{доп}=k_{доп}\cdot З_{осн}=0.15\cdot 22534,4=3380,16 \text{ } руб. \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$З_{доп}=k_{доп}\cdot З_{осн}=0.15\cdot 133922,7=20088,4 \text{ } руб. \quad (4.13)$$

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:

$$З_{внеб}=k_{внеб}(З_{осн}+З_{доп})=0,3\cdot(2449,39+22534,4)=7495,137 \text{ } руб. \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$З_{внеб}=k_{внеб}(З_{осн}+З_{доп})=0,3\cdot(133922,7+1845,63)=40730,5 \text{ } руб. \quad (4.15)$$

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

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$З_{накл} = (\text{сумма статей} 1 \div 5) \cdot k_{пр}, \quad (4.16)$$

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

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных рас ходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
4726,25	3800	156457,1	23468,56	48225,64	236677,55	37868,408	274545,7

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Разработка технологии получения ториевого концентрата из отвального монацита Туганского месторождения по форме, приведенной 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	3800	4800	3000	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное	4726,25	7894,2	5252,25	Пункт 4.3.2

	оборудование				
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	156457,1	156457,1	156457,1	Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23468,56	23468,56	23468,56	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	48225,64	48225,64	48225,64	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	37868,408	38535,28	37824,568	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР		274545,7	279380,78	274228,118	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.

4.4.1Интегральный 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 соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

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

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

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

$Ф_{pi}$ – стоимость *i*-го варианта исполнения;

$Ф_{max}$ – максимальная стоимость исполнения.

$Ф_{текущ.проект}$ = 274545,7 руб, $Ф_{исп.2}$ = 279380,78 руб, $Ф_{исп.3}$ = 274228,118 руб.

$I_{\text{финр}=}^{исп.i}$ $Ф_{текущ.проект}$ / $Ф_{max}$=274545,7 /279380,78 руб =0,98

$I_{\text{финр}=}^{исп.i}$ $Ф_{исп.2}$ / $Ф_{max}$=279380,78 /279380,78 руб =1

$I_{\text{финр}=}^{исп.i}$ $Ф_{исп.3}$ / $Ф_{max}$=274228,118 /279380,78 руб =0.98

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант текущий считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности. Разрабатываемая технология подразумевает уменьшение количества отходов и количества оборудования, но за счет увеличения материальных затрат данная технология уступает в цене сернокислотной переработке.

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:

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

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

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$Э_{ср1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (4.19)$$

$$Э_{ср1} = \frac{4,68}{4,68} = 1,00 \quad Э_{ср2} = \frac{4,38}{4,68} = 0,94, \quad Э_{ср3} = \frac{3,55}{4,68} = 0,76.$$

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	0,98	1	0,98
2	Интегральный показатель	4,45	3,90	3,55

	ресурсоэффективности разработки			
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.

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 274545,7 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,98, 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, находиться в 021 аудитории 10 корпуса ТПУ.

Данная диссертация посвящена получению композиционного материала из высокомолекулярного полиэтилена и карбида бора методом ип-спекания. Актуальной задачей на сегодняшней день является изготовление высоконаполненных композиционных материалов на основе СВМПЭ и карбида бора, ограниченной плохой смачиваемостью и слабой адгезией карбида бора и низким показателем текучести расплава полимера из-за его высокой молекулярной массы. В связи с этим для изготовления композитов на основе СВМПЭ перспективно использовать метод искрового плазменного спекания (ИПС).

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 обеспечению безопасности измельчения и спекания порошков при проведении экспериментов и попытке предотвратить их воздействие на работающих.

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 относиться 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, подобных:

- индивидуальным трудовым договорам;
- коллективным договорам;
- локальным нормативным актам.

Кроме денежных выплат, специалисты, выполняющие трудовые функции под воздействием вредных факторов, вправе требовать:

- сокращения рабочей недели до 36 часов;
- предоставления ежегодного дополнительного отпуска на срок от 7 дней.

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 приделах 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
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
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 IIа, так как иногда приходиться 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°С, 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 (блоки питания микроскопов, установка для электроимпульсного спекания).

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 освебщенность 300 - 500 лк, коэффициент пульсации 15-20%.

Произведем расчёт общего электрического освещения учебной лабораторией.

Параметры помещения: a=8 - длина помещения, м;

b=5- ширина помещения, м;

h=3,5 - высота помещения, м;

S=40 - площадь помещения, м^2.

Формулой = X * Y * Z рассчитывается показатель необходимой величины светового потока (Люмен) при этом:

X – установленная норма освещенности объекта в зависимости от типа помещения. Нормы приведены в Таблице №1,

Y – соответствует площади помещения в квадратных метрах,

Z - коэффициент поправки значений в зависимости от высоты потолков в помещении.При высоте потолков от 2,5 до 2,7 метра коэффициент равен единице, от 2,7 до 3 метра коэффициент соответствует 1,2; от 3 до 3,5 метров коэффициент составляет 1,5; 3,5 до 4,5 метров коэффициент равен 2.

300 (X) * 40 (Y) * 1,5(Z) = 18000Люмен.

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 B_4C. Металлический порошок СВМПЭ и B_4C в биосредах, в опыте не дают острого токсического эффекта, их аэрозоли при длительном воздействии оказывают слабо выраженное фиброгенное действие. Кроме токсического действия 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 осуществятся 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].

5.5 Анализ опасных производственных факторов

Электробезопасность. Механическая опасность. Основным источником механических опасностей в рабочей зоне является планетарная шаровая мельница. Во время работы возникают высокоскоростное вращение и высокие температуры. При неправильном обращении посуда может быть выброшена, а части оборудования могут нанести серьезный вред здоровью человека: царапины, синяки, переломы костей, ожоги и т.д.

Согласно ГОСТ ISO 12100-2013 [38] машины и механизмы с подвижными частями, способными создать опасность для здоровья человека, должны быть оборудованы средствами защиты или предохранительными устройствами. В нашем случае планетарная шаровая мельница оснащена защитным кожухом, чтобы избежать опасных ситуаций. В случаях, когда

требуется наблюдение, следует использовать средства индивидуальной защиты лица и глаз в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.253-2013 [42].

Кроме того, для предотвращения вышеуказанных опасностей при использовании планетарных шаровых мельниц необходимо соблюдать правила безопасности при использовании форм для спекания ИПС:

– Перед установкой пресс-формы необходимо убедиться, что пресс-форма не повреждена во избежание несчастных случаев при нагреве и опрессовке;

– Установите пресс-форму в пресс, убедившись, что она находится в правильном положении;

– между формой или между формой и подвижными элементами устройства не должны находиться конечности, волосы, детали одежды;

– Форма тяжелая, поэтому все операции нужно выполнять аккуратно.

Электробезопасность. В ходе выполнения работы были использованы следующие электроприборы: установка ИПС, электронные весы, персональные компьютеры, сканирующие электронные микроскопы, шаровые мельницы. Все это приборы при неправильной эксплуатации или обслуживании несут опасность поражения электрическим током.

Наиболее вероятной причиной электротравм является прикосновение или приближение на недопустимое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

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 [42].

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.

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 (воздух, гидросфера и литосфера), а также миграцию в различные биологические объекты (человек и наземные обитатели, растительный и животный мир водной системы, почва и отложения и т.д.).

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 [[МР 1.2.0037—11. Контроль наноматериалов в воздухе. Методические рекомендации.]]. В производственных помещениях также необходимо контролировать чистоту помещения [[МР 1.2.0016-10 Методика классифицирования нанотехнологий и продукции наноиндустрии по степени их потенциальной опасности]]. Для этого используют следующие технические подходы: контроль, фильтрование среды, очистка сред (вода, воздух), 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 [[ГОСТ 17.1.3.06-82 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод]] и ГОСТ 17.1.3.13–86 [[ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения]] если ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 [[ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения N 1 к ГН 2.1.5.1315-03]] 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. [[МУ 2.1.7.1185-03. 2.1.7 Сбор, транспортирование, захоронение асбестсодержащих отходов]].

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Здание 10 корпуса, где находиться лаборатория, ТПУ расположено в дали 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 [44] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [43].

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.

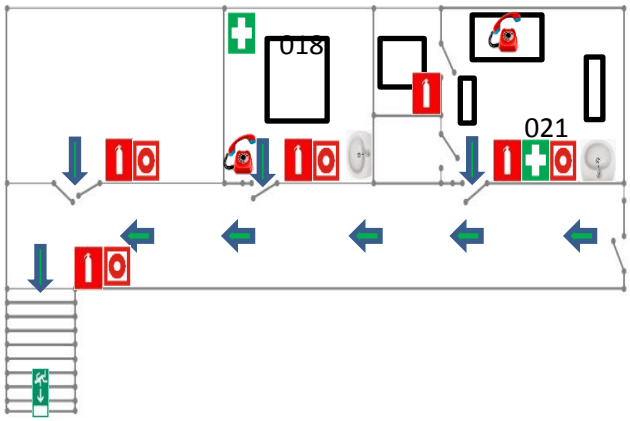

Рисунок 5.1 - План эвакуации

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

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

1. 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.

2. 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. Плотно 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.

3. 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

При анализе вредных и опасных факторов и возможных аварийных ситуаций установлено, что наиболее опасным является высокотемпературное ошпаривание. В связи с изложенным принимаются необходимые меры по

минимизации антропогенного воздействия факторов и чрезвычайных ситуаций, а также по предупреждению или ликвидации их при возникновении.

Основным фактором воздействия на окружающую среду является выброс химических веществ и наночастиц в окружающую среду. Лаборатория предпринимает шаги по минимизации воздействия химических веществ и наноматериалов на окружающую среду.

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

В результате работы композитные материалы состава СВМПЭ-B_4C в высоким содержанием карбида бора (до 90 об. %), изготовлены методом искрового плазменного спекания. Показано, что метод ИПС позволяет изготовить полимерные композиты на основе СВМПЭ с высоким содержанием наполнителя.

Сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что искровое плазменное спекание позволяет получать полимерные композиты на основе СВМПЭ с высоким содержанием карбида бора (от 75 до 90 об. %) с относительной плотностью до 92,4 % и твердость до 8,38±0,17 ГПа.

2. Определен режим искрового плазменного спекания: температура - 180 °С, давление - 40 МПа и выдержка на заданной температуре спекания - 10 минут который позволяет получать композит с относительной плотностью 92,4 % и твердостью 8,38±0,17 ГПа.

Список литературы

1. Hambir S., Jog J. P. Sintering of ultra high molecular weight polyethylene // Bulletin of Materials Science. – 2000. – V. 23. – №3. – P. 221-226.
2. Pomeroy M. (ed.). Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses. – Elsevier, 2021.
3. Михайлин Ю.А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Часть 1 // Полимерные материалы. – 2003. – №3. – С. 16-19.
4. Kurtz S.M. The UHMWPE Biomaterials Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices // – Second Edition. – Burlington: Academic Press. –2009. – P. 530.
5. Du S. Properties and Application Field of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene // Gansu Metallurgy. – 2015. – V. 37. – №2.
6. Huang A., Zhu B., Jia J., Li Y. Development and application of ultra-high molecular weight polyethylene // Polymer Bulletin. - 2012.-№4. - P.127-132.
7. Б.А. Люкшин. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин и др. – Новосибирск – М.:Издательство СО РАН. – 2017. – С.311.
8. Lu Q. Properties and Modification of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene and its Application // Agricultural Mechanization Research. - 2005. - №6. - P. 232-233.
9. Zhang F., Xu F. Crystal structure of new rare-earth boron-rich solids: $REB_{28.5}C_4$ //Journal of Alloys and Compounds. - 2001.- V.329. - P.168-172
10. Mondal S., Bykova E., Dey S., Ali S.I., Dubrovinskaia N., Dubrovinsky L., Parakhonskiy G., Smaalen S. Disorder and defects are not intrinsic to boron carbide // Scientific Reports.-2016. - P.1-6.
11. Domnich V., Reynaud S., Haber R.A., Chhowalla M. Boron carbide: structure, properties, and stability under stress//Journal of the American Ceramic Society. - 2011. - V.94. - № 11.- P.3605-3628.

12. Suri. A.K., Subramanian C., Sonber J.K., Murthy T.S.R.Ch. Synthesis and consolidation of boron carbide: a review Inst // International Materials Reviews.- 2010. - V.55. - P.4-40.

13. M.L. Wilkins. Boron and Refractory Borides // M.:Springer Berlin Heidelberg. - 1977. - P.633-648.

14. Xue D., Li K., Zhang F. Advances in Materials Chemistry [M]. M.:East China University of Science and Technology Press, - 2011. - P.198.

15. Inorganic Chemistry Teaching and Research Office, Department of Chemistry Beijing Normal University // Handbook of Simple Chemistry [M]. -Beijing,M.:Beijing Press. - 1980.- P.302.

16. R. Mahagin, D. Dahl Nuclear applications of boron and the borides // Boron and Refractory Borides. - M.:Springer Verlag Berlin. - 1977. - P.613-632.

17. Бибик И. С., Вальцева А. И. Применение карбида бора в стержнях системы управления и защиты инновационных реакторов на быстрых нейтронах // Энерго-и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. - Екатеринбург, 2017. – 2017. – С. 687-691.

18. Zhang X., Liu N. Properties, Preparation and Application of Boron Carbide Materials // Cemented Carbide. - 2006. - V.23, №1.

19. Tang G., Zhang X., Chen C. A review of boron carbide superhard materials // Materials Review, - 1994. - № 4,- P .69-72.

20. Бердышев Б.В. Термоформование: основные технологические методы и оборудование // Пластикс. – 2005. – Т.28. - № 6–С.28-31.

21. Брагинский В. А. Термоформование – это просто? // Пластикс. – 2005. – Т.28. - № 6. – С. 24-27.

22. Kaloshkin S. D. et al. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites // Journal of alloys and compounds. – 2012. – V. 536. – P. S522-S526.

23. Хасанов О. Л. и др. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий. – 2020.

24. Ragulya A.V. Fundamentals of Spark Plasma Sintering//Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition). - 2010. - C.1-5.

25. Cui K. Dictionary of Safety Engineering/M.:Beijing,Chemical Industry Press. - 1995. - P.140.

26. ICS : 11.040.40 Implants for surgery, prosthetics and orthotics. ISO 5834-5:2005:Implants for surgery — Ultra-high-molecular-weight polyethylene — Part 5: Morphology assessment method

27. German R.M. A-Z of Powder Metallurgy. - M:Elsevier.-2005.-P.103.

28. Гусев А. И. Ультразвуковое прессование нанопорошков // Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, - 2007. – С. 416.

29. Булата Л.П., Пшенай Д.А., Пшенай-Северина., Нефедоваа И.А. Новотельноваа А.В., Гуревич Ю.Г. Новые материалы и нанотехнологии // Тепловые и электрические поля при искровом плазменном. - 2014. - №5. - С.39-40.

30. Eric J.M., Marcel A.J.S. Thermochemical Surface Engineering of Steels // Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering – 2010. - P. 434-473.

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 пръоверки 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 12.4.253-2013 (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)

43. 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).

44. 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)

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.