

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния низкомолекулярных включений гексагонального нитрида бора в высокомолекулярной матрице карбида циркония на структуру и свойства композитов ZrC/h-BN

УДК 620.22-419.8:661.8'061:661.883.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Грушковская Алиса Николаевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мировой Юрий Александрович	-		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>УК(У)-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях

<b>ОПК(У)-3</b>	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
<b>ПК(У)-2</b>	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
<b>ПК(У)-3</b>	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
<b>ПК(У)-4</b>	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
<b>ПК(У)-5</b>	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
<b>ПК(У)-6</b>	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
<b>ПК(У)-7</b>	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
<b>ПК(У)-8</b>	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
<b>ПК(У)-9</b>	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
<b>ДПК(У)-1</b>	Способен применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов

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  
 \_\_\_\_\_ О.Ю.Ваулина  
 (Подпись)     (Дата)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Грушкова Алина Николаевна

Тема работы:

Исследование влияния низкомолекулярных включений гексагонального нитрида бора в высокомолекулярной матрице карбида циркония на структуру и свойства композитов ZrC/h-BN	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-31/с от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является получение и изучение свойств высокотемпературного материала ZrC с модифицирующими добавками h-BN, оказывающими воздействие на структурно – фазовое состояние исследуемых материалов.
---------------------------------	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ литературных данных с целью теоретического обоснования разработки методики получения высокотемпературных керамических материалов для ответственных и термонагруженных конструкций и энергоемких систем</li> <li>2. Механическая обработка исходных порошковых систем ZrC – h-BN и определение влияния времени обработки на морфологические характеристики обрабатываемых компонентов</li> <li>3. Высокотемпературная консолидация высокомодульной матрицы, армированной низко модульными включениями</li> <li>4. Исследование физико-механических свойств керамических композитов с низко модульными включениями в высоко модульной матрице.</li> <li>5. Установление роли низко модульных включений в реализации механизма торможения трещин между высоко модульной матрицей и армирующим компонентом.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Титульный лист</li> <li>• Актуальность, цель работы</li> <li>• Материалы и методы исследования</li> <li>• Результаты исследований</li> <li>• Заключение</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><i>Финансовый менеджмент...</i></p>	<p>Кацук И. В., Доцент</p>
<p><i>Социальная ответственность</i></p>	<p>Черемискина М.С., Ассистент</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мировой Юрий Александрович	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Грушковская А.Н.		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.01.2022	Аналитический обзор литературы	15
25.04.2022	Исследования микроструктуры исходного порошка BN, определение плотности и твердости ZrC/BN композитов	15
29.04.2022	Определение трещиностойкости ZrC/BN композитов, расчет ОКР, определение прочностных свойств ZrC керамики	15
04.05.2022	Анализ результатов	15
20.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2022	Социальная ответственность	15
25.05.2022	Заключение	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мировой Юрий Александрович	-		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ваулина О.Ю.	К.Т.Н.		

## **Обозначения и сокращения**

ГП – горячее прессование

ОКР – области когерентного рассеяния

ПК – персональный компьютер

ЭМИ – электромагнитное излучение

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 73 с., 26 рис., 26 табл., 30 источников.

Ключевые слова: керамика, гетеромодульные композиты, ZrC/h-BN композиты, вязкость разрушения, механические характеристики композитов.

Объектом исследования являются порошки ZrC и h-BN, а также керамические матричные композиты, полученные на их основе с объемным содержанием нитрида бора в 1, 3, 5, 10 и 15 %.

Цель работы – изучение свойств и структуры керамических композитов с различной долей включений h-BN в высокомодульной матрице ZrC. Определение закономерностей поведения ZrC/h-BN композитов.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую тематику, микроструктурный анализ исходного порошка BN, определение прочностных характеристик ZrC, измерение твердости композитных образцов, определение коэффициента трещиностойкости, расчет размеров областей когерентного рассеяния и микронапряжений решетки ZrC.

В результате исследования были получены композиты с различным содержанием h-BN, инициирующим механизм торможения трещин в керамике.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: было обнаружено, что с увеличением доли включений h-BN в матрице ZrC до значения 10 об.%, значение  $K_{IC}$  составило 4,62 МПа\*м<sup>1/2</sup>, при этом,  $K_{IC}$  исходной керамики ZrC составлял 3,91 МПа\*м<sup>1/2</sup>.

Область применения: Ответственные узлы трибосопряжений, сопряженные с высокими температурными градиентами, скоростями и нагрузкой.

Экономическая эффективность работы отражена в значении интегрального финансового показателя, который составляет 0,94, что демонстрирует финансовую эффективность данной работы по сравнению с аналогами.

В будущем планируется использовать данные составы композитов как основу для получения пар трибоконтатов, сопряженных с большими термомеханическими нагрузками.



## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	10
1. Обзор литературы.....	11
1.2 Карбид циркония .....	11
1.2 Нитрид бора .....	14
1.3 Керамические матричные композиты .....	16
2. Проведенные исследования .....	19
2.1 Материалы и методики исследования.....	19
2.1.1 Микроструктурный анализ порошка VN.....	19
2.1.2 Определение прочностных характеристик ZrC .....	20
2.1.3 Определение плотности .....	20
2.1.4 Измерение твердости по методу Виккерса .....	21
2.1.5 Определение коэффициента трещиностойкости .....	21
2.1.5.1 Определение $K_{iC}$ методом (low crack to indent ratios) низкого отношения трещины к вдавливанию .....	21
2.1.5.2 Определение $K_{iC}$ методом Single edge V-notch beam .....	22
2.1.6 Расчет размеров областей когерентного рассеяния и микронапряжений .....	22
2.2. Результаты проведенных исследований .....	24
2.2.1 Микроструктурный анализ порошка VN.....	24
2.2.2 Определение прочностных характеристик ZrC .....	24
2.2.3 Определение плотности.....	25
2.2.4 Измерение твердости по методу Виккерса .....	26
2.2.5 Определение коэффициента трещиностойкости .....	27
2.2.5.1 Определение $K_{iC}$ методом «Low crack to indent ratios».....	27
2.2.5.2 Определение $K_{iC}$ методом Single edge V-notch beam .....	28
2.2.6 Расчет размеров областей когерентного рассеяния и микронапряжений .....	29
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	33
4. Социальная ответственность .....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	69
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Интерес, вызванный в последнее время такими видами керамик, как бориды, карбиды, нитриды, мотивирован поиском материалов, способных выдерживать экстремальные условия окружающей среды, которые могут включать, по отдельности или в комбинации, влияние температуры, химической активности, механического напряжения, излучения и износа. Некоторые потенциальные способы применения этого класса материалов включают в себя микроэлектронику, изоляцию, высокотемпературные электроды и износостойкие поверхности. Но в последнее время наблюдается своего рода возрождение материалов, первоначально изучавшихся в 1960-х годах для потенциальных аэрокосмических применений, движимое «потребностью в скорости» - с новыми концепциями силовых установок и гиперзвуковых двигателей. В частности, материалы, способные выдерживать условия, с которыми сталкиваются передние кромки крыльев и компоненты двигательной установки гиперзвуковых аэрокосмических аппаратов, а также экстремальные условия для носовых частей, связанные с входом в атмосферу и движением ракет. Сочетание экстремальных температур, химически агрессивных сред и быстрого температурного перепада (температура эксплуатации материалов быстро увеличивается от комнатной до 3000°С) выходит за рамки возможностей современной инженерной керамики [1].

Карбид циркония имеет высокие показатели среди твердых материалов из тугоплавких металлов, что позволяет рассматривать его потенциально широкий спектр использования, как то: добавки к твердым сплавам, матрица или наполнитель для многопрофильных и защитных композитных материалов. Примером этого является исследование покрытий из карбида циркония: дереворежущий инструмент, модифицированный аналогичным образом, имеет повышенную на 30% объемную износостойкость [2].

## 1 Обзор литературы

### 1.2 Карбид циркония

Карбид циркония - это химическое соединение тугоплавкого металла и углерода. Существует только гранцентрированный кубический карбид циркония с решеткой типа NaCl, который имеет широкий диапазон однородности, что объясняет различия в параметрах решетки в разных источниках. Углерод в кристаллической решетке занимает октаэдрические полости в пространстве между атомами циркония [3]. Как и другие карбиды переходных металлов, этот материал является тугоплавким ( $T_{пл} = 3527 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и достаточно твердым (по шкале Мооса от 8 до 9 единиц, микротвердость 28 ГПа).

Карбид циркония – соединение, химически устойчивое при комнатной температуре к серной, соляной, фосфорной, хлорной, щавелевой кислотам и смесям серной и фосфорно, серной и щавелевой кислот. Нерастворим в 10% и 20% растворах гидроксида натрия. Растворим в кипящей серной, азотной и перхлорной кислотах. Хорошо растворим в «царской водке», смесях серной и азотной, азотной и плавиковой кислотах. При температуре  $700^\circ\text{C}$  и выше карбид циркония реагирует с кислородом с образованием оксида циркония  $\text{ZrO}_2$  [4]. На рисунке 1.1 показано, что образование стехиометрического  $\text{ZrC}$  встречается редко, а диапазон однородности достаточно широк и составляет от 0,3 до 0,98 при соотношении углерод-С/цирконий-Zr [5].

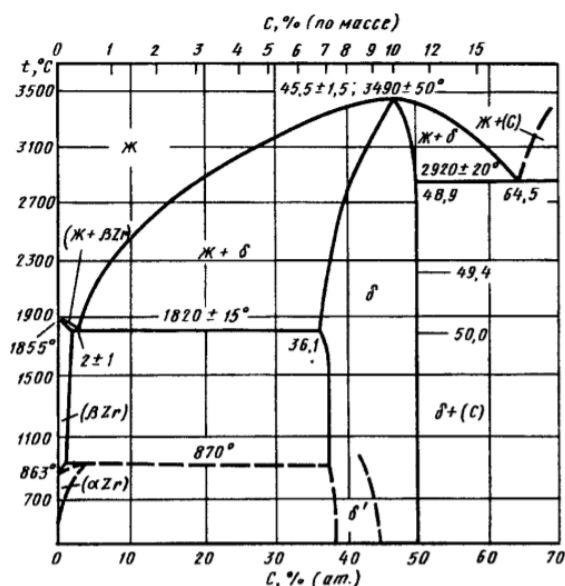


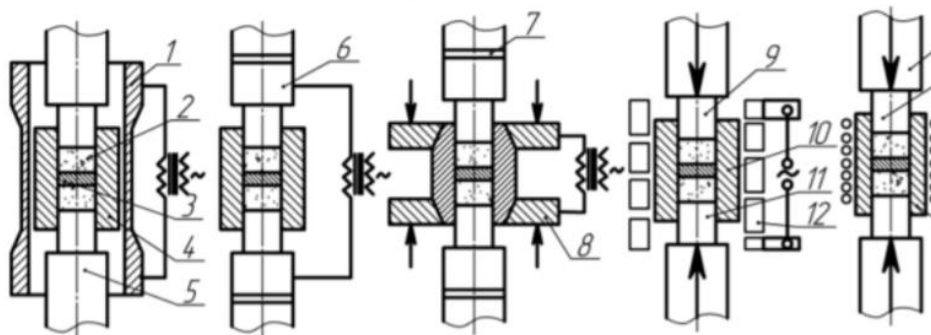
Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния (Zr-C)

Образование оксидов при высоких температурах существенно влияет на процесс формования керамики на основе  $\text{ZrC}$ , в результате чего процесс спекания осуществляется в инертной атмосфере. Также при высокой температуре могут образовываться карбонитриды. Карбид циркония является одним из представителей сверхтвердой высокотемпературной керамики.

Технология изготовления жаропрочной керамики с углеродными включениями обычно осуществляется в несколько этапов. Сначала смесь углерода и керамический порошок подвергаются термообработке для удаления примесей газа с поверхности частиц. Затем компоненты и активаторы спекания смешиваются в планетарных мельницах или вручную. После чего полученная смесь помещается в форму, в которой производится горячее прессование [6,7].

Процесс горячего прессования активно используется для производства керамик на основе  $\text{ZrC}$ . При горячем прессовании материалы формируют из порошков, сочетая приложение давления и спекание при температуре  $0,5-0,8T_{\text{пл}}$  основного компонента. Метод горячего прессования используют для изготовления различных видов керамики, в т.ч. высокотемпературной. Повышение текучести при повышенных температурах облегчает производство продуктов с низкой пористостью.

Принципиальная схема агрегата горячего прессования представлена на рисунке 1.2. Реорганизация частиц порошка и разрушение крупных пор связаны с увеличением координационного числа зерен. Это является основным преимуществом процесса ГП по сравнению со свободным спеканием. Чаще всего давление в процессе ГП не превышает 200 МПа, однако более высокие давления используют для уплотнения наноразмерных частиц.



1 - нагреватель; 2 - порошок; 3 - брикет; 4 - матрица; 5, 6 - пуансоны; 7 - изоляция; 8 - графитовый контакт; 9 – графитовый пуансон; 10 – графитовая матрица; 11 - керамика; 12 - индуктор; 13 - керамический пуансон; 14 - керамическая матрица

Рисунок 1.2 – Принципиальная схема горячего прессования

При консолидации систем на основе ZrC важную роль играют не только приложенное давление и температура, но и кинетические ограничения спекания, такие как: прочность ковалентных связей, кислородные примеси на поверхности частиц, скорость диффузии. Включения различных фаз, добавки - инициаторы спекания, размер и форма частиц играют важную роль в производстве материалов с высокой плотностью при сохранении высоких механических и термических свойств [8]. По причине большого влияния на конечный результат размеров и формы частиц, часто перед формованием проводят измельчение порошка в планетарной мельнице.

## 1.2 Нитрид бора

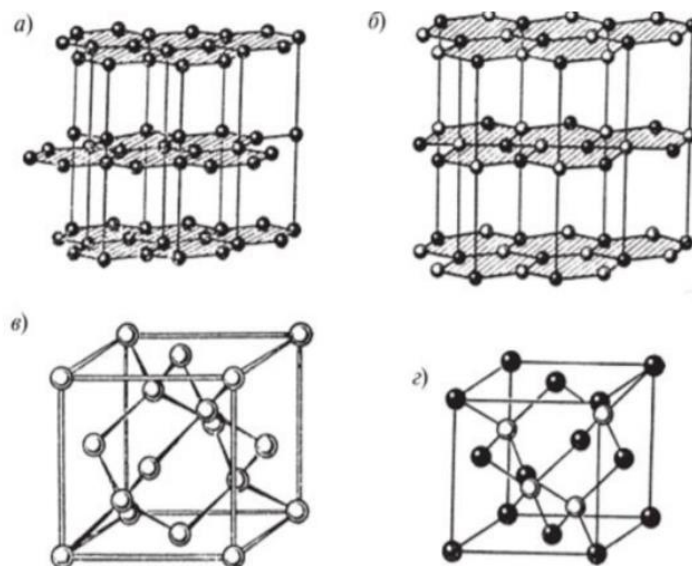
Нитрид бора - это бинарное соединение, состоящее из бора и азота. BN получают реакцией оксида бора  $B_2O_3$  с аммиаком  $NH_3$  при температуре  $\sim 2000^\circ C$ . Это единственное соединение бора и азота с очень высокой температурой плавления  $3000^\circ C$  (под давлением азота).

Кристаллический нитрид существует в нескольких полиморфных модификациях - гексагональный  $h$ -BN и кубический  $\beta$ -BN. Также иногда выделяют аллотропную модификацию  $\gamma$ -BN, однако в связи с тем, что  $\gamma$ -BN является метастабильной модификацией, практического значения не имеет.

Алмазоподобный кубический нитрид бора образуется путем нагревания  $h$ -модификации свыше  $1350^\circ C$  и приложении давления выше  $6200$  МПа в присутствии катализаторов. BN кристаллизуется в составе сфалерита. Кристаллы этой модификации прозрачные, иногда могут иметь окраску в зависимости от присутствия в них определенных примесей. Форма кристаллов обычно тетраэдрическая или октаэдрическая.

$\beta$ -модификация BN отличается от других повышенной твердостью, которая близка к алмазной. Однако кубический BN намного более химически стабилен при повышенных температурах [9,10]. Кубический нитрид бора и материалы на его основе занимают место среди важнейших инструментальных материалов. На рисунке 1.3 показаны структуры  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификаций нитрида бора.

$h$ -BN по структуре схож с графитом. Для структуры  $h$ -BN характерно чередование графитоподобных сеток, состоящих из чередующихся атомов бора и азота. Реальные кристаллы  $h$ -BN в большинстве случаев демонстрируют смешанную укладку, с присущей ей дефектам, которые являются причиной широкого диапазона электронных свойств данной модификации нитрида бора [11].



а – графитоподобная  $h$ -структура; б – структура  $\alpha$ -BN; в – алмазная структура; г – структура  $\beta$ -BN

Рисунок 1.3 – Структуры аллотропных модификаций нитрида бора

Гексагональный нитрид бора, рисунок 1.4, – белый мелкозернистый порошок с хлопьевидной структурой. Продукты невысокой плотности из такого порошка получают путем прессования с последующим спеканием в аммиаке или азоте при  $T = 1800$  °С. Для изготовления более плотных изделий используется ГП, которое проводится в графитовых формах при давлении 30 – 50 МПа и температуре 1800 – 1900 °С [9].

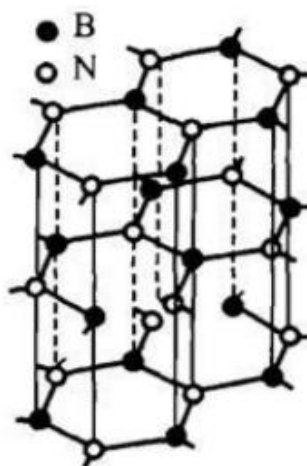


Рисунок 1.4 – Структура гексагонального нитрида бора

Несмотря на то, что *h*-BN является наиболее изученным полиморфом BN, до сих пор нет согласия по основным электронным свойствам данной модификации. Например, существует широкий диапазон значений для его энергии зазора [11].

### **1.3 Керамические матричные композиты**

Композиты с керамической матрицей (КМК) представляют собой материал, относящийся как к композитам, так и к керамикам. КМК состоят из керамических включений, распределенных в керамической (оксидной, карбидной, нитридной или другой неорганической, неметаллической) термостойкой матрице.

Причина разработки КМК заключается в преодолении проблем, связанных с распространенными типами инженерной керамики, такими как оксид алюминия, карбид кремния, нитрид алюминия, нитрид кремния, оксид циркония и т.д. Керамики представляют собой группу материалов, отличающихся высоким модулем упругости, высокой температурой плавления и высокой твердостью. Из-за высокого модуля упругости они подвержены быстрому распространению трещин даже от самых мелких дефектов, в том числе царапин поверхности, что приводит к легкому разрушению под действием механических или термомеханических нагрузок. Основной задачей при изготовлении конструкций на основе КМК является придание материалу большей устойчивости к образованию трещин.

В случае КМК, включая армирование волокнами, повышение трещиностойкости обычно достигается введением промежуточных слоев в композиционную структуру. В течение некоторого времени только добавление многожильных волокон (рисунок 1.5) резко увеличивало вязкость разрушения. Армирующие элементы, используемые в КМК, служат для увеличения вязкости разрушения системы композиционных материалов, используя преимущества высокой твердости и высокого модуля упругости керамической матрицы [12].



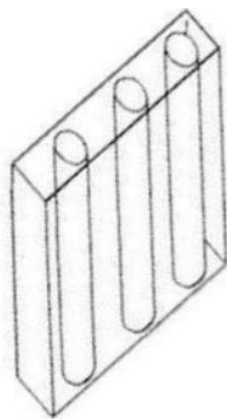


Рисунок 1.5 – Керамический матричный композит армированный непрерывными волокнами

Наиболее распространенным является керамическое волокно непрерывной длины с модулем упругости ниже, чем у матрицы. Роль данного типа волокна заключается в том, чтобы предотвратить прохождение микротрещин через материал и, таким образом, увеличить потребление энергии во время распространения трещины. Армирование керамическими волокнами не только увеличивает исходную устойчивость композитной конструкции к распространению трещин (рисунке 1.6), но и позволяет керамическим композиционным материалам избегать резкого разрушения, характерного для классической керамики [5].

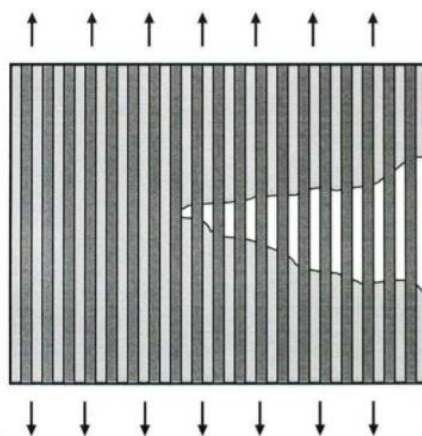
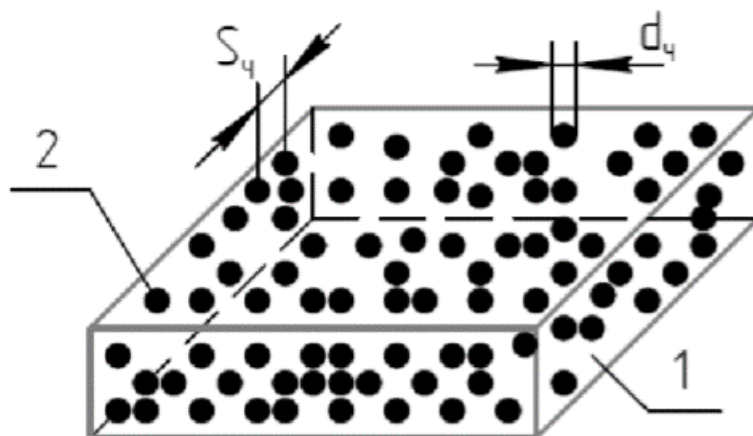


Рисунок 1.6 – Распространение трещины в керамическом композите, армированном непрерывными волокнами

Такое поведение композитов с керамической матрицей отличается от поведения керамических волокон в композитах с полимерной и металлической матрицами, где волокна часто разрушаются до разрушения матрицы из-за более высокой пластичности этих матриц.

Наиболее часто используемые волокна для композитов с керамической матрицей - это углерод, карбид кремния, оксид алюминия и муллит. Также существует несколько типов керамических композитов с прерывистыми однонаправленными и беспорядочно ориентированными волокнами.

Также существуют способы упрочнения КМК твердыми частицами (рисунке 1.7). Эти материалы более доступны, их легче производить и поэтому они широко используются.



1 – керамическая матрица; 2 - дисперсные частицы;  $d_{ч}$  – диаметр частиц;

$S_{ч}$  – расстояние между частицами

Рисунок 1.7 – Дисперсно-упрочнённый керамический композит

Как и в случае с другими типами керамических композиционных материалов, включения затрудняют распространение трещины в объеме материала. Однако важными отличительными чертами являются анизотропия свойств и тот факт, что степень упрочнения зависит от прочной связи на границе раздела матрица-частица [5].

## 2 Проведенные исследования

### 2.1 Материалы и методики исследования

В качестве объектов исследования в работе выступали порошки ZrC и *h*-BN, а также керамические матричные композиты, полученные на их основе. Исследовались композиты с объемным содержанием нитрида бора в 1, 3, 5, 10 и 15 %. Смеси были получены перемешиванием исходных порошков в смесителе С 2.0. В качестве материала консолидации использовались графитовые пресс-формы. В таблице 2.1 отображены данные о технологическом режиме спекания исследуемых образцов.

Таблица 2.1 – Технологический режим спекания композитов ZrC/*h*-BN

Температура изотермической выдержки, °С	Давление прессования, МПа	Масса загружаемой шихты, г	Газовая атмосфера	Время изотермической выдержки, мин.
1800	22,6	5	Аргон	15

#### 2.1.1 Микроструктурный анализ порошка BN

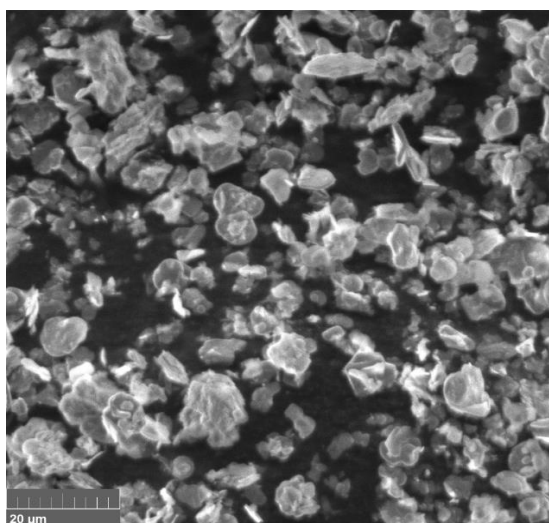


Рисунок 2.1 – Микроструктура порошка *h*-BN

Данные о микроструктуре были получены в ходе анализа изображения поверхности образцов (рисунок 2.1.), снятого при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) «VEGA3 TESCAN» с установленным термоэмиссионным вольфрамовым катодом. Использовались режимы обратно отраженных и вторичных электронов, ускоряющее напряжение 29 кВ [13].

### 2.1.2 Определение прочностных характеристик ZrC

Испытания на определение прочности пяти образцов ZrC при сжатии проводилось по ГОСТ Р 57606-2017 [14], трех образцов ZrC при трехточечном изгибе – по ГОСТ Р 57749-2017 [15].

### 2.1.3 Определение плотности

Расчет плотности производился двумя способами: геометрическое измерение и гидростатическое взвешивание.

Геометрическая плотность определялась, по формуле, исходя из геометрической формы образцов (цилиндр):

$$\rho = \frac{m}{V^3} = \frac{m}{R^2 h \pi},$$

где  $m$  – Масса образца,  $V$  – Объем образца,  $R$  – Радиус основания цилиндра,  $h$  – Высота цилиндра.

Определение плотности методом гидростатического взвешивания образцов, производилось по формуле:

$$\rho_T = \rho_{ж} \frac{P_0}{P_0 - P},$$

где  $P_0$  – вес тела на воздухе,  $P$  – вес тела в жидкости,  $\rho_T$  – плотность тела,  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости.

## 2.1.4 Измерение твердости по методу Виккерса

Проведение испытаний по Виккерсу регламентируется ГОСТ 2999-75 [16] и ISO 6507. Использовалась нагрузка в 5 кг. Измерение размеров отпечатка для расчёта твёрдости производилось с помощью изображения, снятого при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) «VEGA3 TESCAN» с установленным термоэмиссионным вольфрамовым катодом [13]. Результаты измерений приведены в таблице 2.2.

## 2.1.5 Определение коэффициента трещиностойкости

Модуль Юнга был рассчитан по правилу смеси [17]:

$$E_c = \frac{E_m \cdot E_f}{E_m \cdot V_f + E_f(1 - V_f)},$$

где  $E_c$  – модуль Юнга композита,  $E_f$  – модуль Юнга наполнителя,  $E_m$  – модуль Юнга матрицы,  $V_f$  – объемная доля наполнителя.

Также модуль Юнга определен экспериментально ультразвуковым методом, с помощью прибора OLIMPUS 38DL. Результаты приведены на рисунке 2.7.

### 2.1.5.1 Определение $K_{IC}$ методом «Low crack to indent ratios»

Значения коэффициента  $K_{IC}$  определялись по формуле «Ниихара-Морена» [18]:

При  $c/a < 2$ :

$$K_{IC} = 0,035 \left(\frac{l}{a}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{H_v}{E\Phi}\right)^{-\frac{2}{5}} \left(\frac{H_v a^{\frac{1}{2}}}{\Phi}\right)$$

При  $c/a > 2$ :

$$K_{IC} = 0,129 \left(\frac{c}{a}\right)^{-\frac{3}{2}} \left(\frac{H_v}{E\Phi}\right)^{-\frac{2}{5}} \left(\frac{H_v a^{\frac{1}{2}}}{\Phi}\right), \text{ где}$$

$l$  – Средняя длина трещины, мм;  $a$  – половина диагонали отпечатка, мм;  $H_v$  – Твердость по Виккерсу, кгс/мм<sup>2</sup>;  $E$  – Модуль упругости, ГПа

### 2.1.5.2 Определение $K_{1C}$ методом Single edge V-notch beam

SEVNB-метод заключается в формировании узкого V-образного надреза на одной из самых больших поверхностей образца, перпендикулярного длинной оси образца. Для получения V-образного профиля, первичный надрез был осуществлен с помощью электроэрозионной резки с шириной раскрытия 200 мкм, окончательный V-образный надрез был сформирован на вершине U-образного под углом  $18^\circ$ .

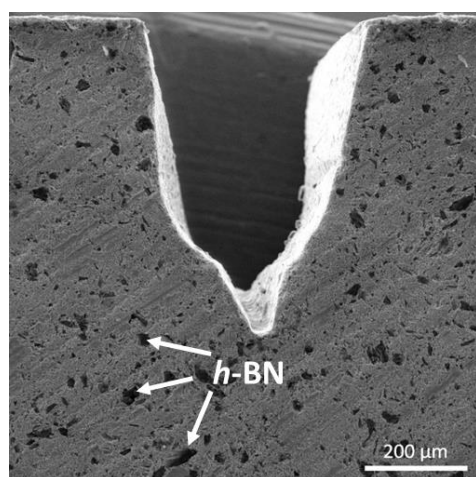
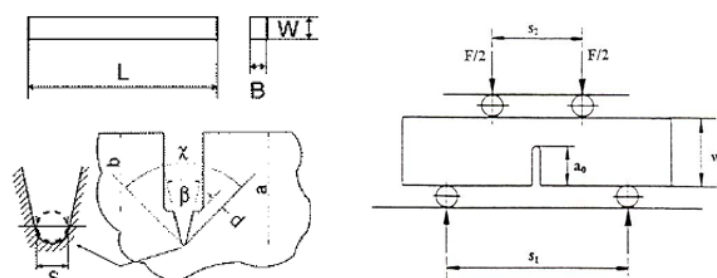


Рисунок 2.2 – Изображение с полированной поверхности образца ZrC-5BN



где,  $a - 0,8-1,2$  мм,  $b - 0,5$  мм,  $c - 200$  мкм,  $\beta - 18^\circ$ ,  $L - 10$  мм

Рисунок 2.3 – Схематичное изображение формы V-образного надреза

### 2.1.6 Расчет размеров областей когерентного рассеяния и микронапряжений

Рентгеноструктурный анализ порошков проведен на дифрактометре с использованием монохроматического Cu-K $\alpha$  излучения при величине катодного напряжения 20 кВ; с интервалом измерений  $30 - 120^\circ$ , с шагом гониометра  $- 0,05^\circ$  и временем экспозиции  $- 3$  сек.

Расчет областей когерентного рассеяния (ОКР) производился по формуле Дебая-Шеррера по самому интенсивному пику:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_s \cos \theta}$$

где  $D$  – величина ОКР,  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения,  $\theta$  – угол Вульфа-Брэгга,  $\beta_s$  – интегральная ширина линии, если считать, что всё уширение пика обусловлено размерами ОКР,  $k$  – коэффициент, зависящий от формы кристаллита. Коэффициент  $k$  в зависимости от формы частиц может принимать различные значения. Например, для сферических частиц  $k$  обычно принимают равным 0,9 [19].

Рентгенограммы всех образцов (рисунок 2.12) с содержанием  $h$ -BN от 0 до 15% сравнивались с эталонами ZrC и BN из базы «International Centre for Diffraction Data».

Размер областей когерентного рассеяния и микроискажений кристаллической решетки ZrC рассчитывался с помощью построения Вильямсона-Холла, с использованием графика зависимости:

$$\frac{\sin \theta}{\lambda} = b \frac{\cos \theta}{\lambda}$$

где  $2\theta$  - угол дифракции,  $\lambda$  - длина волны,  $b$  - полуширина пика.

Таким образом были получены данные, представленные на рисунке 2.13, об искажении решетки ZrC, при увеличении объемной доли  $h$ -BN в составе композита.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Б81	Грушковская Алиса Николаевна

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение Школы</b>	<b>Материаловедение в машиностроении</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки персонала определены штатным расписанием НИ ТПУ и ИФПМ СО РАН
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ
--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Б81	Грушковская Алиса Николаевна		28.02.2022



### **3. 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 программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью данной ВКР является изучение свойств и структуры керамических композитов с различной долей включений гексагонального нитрида бора в высокомодульной матрице карбида циркония. Определение закономерностей поведения ZrC/h-BN композитов.

### **3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **3.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Проводить сравнительный анализ при разработке чего-либо является важной частью в борьбе за конкуренцию. При выдвигании какого-либо продукта нужно знать его сильные и слабые стороны, чтобы понимать конкурирующие возможности и точнее нацеливаться на подходящую аудиторию.

В качестве конкурирующих материалов рассматриваются: сталь Ст.3 – Бк1, конструкционный полимерный композит (армирующий наполнитель в полимерных композитах - углеродные или стеклянные волокна, а матрица - полимерный материал, как правило синтетическая смола), применяемый в авиации – Бк2. Критерии, подобранные, исходя из требуемых механических свойств, для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в таблице 3.1. Основными критериями оценки материалов будут являться: показатели прочности, затраты на производство, доступность сырья, а также простота и скорость изготовления.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип покрытия имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 3.1 показано сравнение разработок конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 3.1 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Прочность по Моосу	0,2	4	3	1	0,8	0,6	0,2
2. Трещиностойкость	0,18	5	1	3	0,9	0,18	0,54
3. Доступность сырья	0,066	5	4	1	0,33	0,264	0,066
4. Тяжесть и время изготовления	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
5. Плотность	0,11	2	1	5	0,22	0,11	0,55
6. Экологичность	0,09	4	2	1	0,36	0,18	0,09
7. Безопасность	0,004	3	3	3	0,012	0,012	0,012
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	4	2	3	0,28	0,14	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	4	3	0,06	0,12	0,09
3. Цена разработки	0,1	3	4	1	0,3	0,4	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>3,712</b>	<b>2,506</b>	<b>2,258</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере экологичности, определяется по формуле:

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

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

Таким образом, конкурентоспособность рассматриваемых продуктов составляет:

$$K = 0,8 + 0,9 + 0,33 + 0,33 + 0,15 + 0,22 + 0,36 + 0,012 + 0,28 + 0,06 + 0,3 + 0,3 = 3,712;$$

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является актуальным и перспективным, имеет достаточный уровень конкурентоспособности.

### 3.1.2 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 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции.	Сл1. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
С2. Квалифицированный персонал.	Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Вероятность получения брака.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Внедрение керамики в разные области промышленности.	У1. Отсутствие ожидаемых результатов.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 3.3–3.6.

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	+	+
	B2	+	+	+	-
	B3	+	-	-	+
	B4	+	+	-	-

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	-
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	+	+
	B4	-	-	-	+

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	-	-
	У2	-	-	+	-

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	+	-
	У2	+	+	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции.</p> <p>С2. Квалифицированный персонал.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p> <p>Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл3. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Внедрение керамики в разные области промышленности.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В1С1С2С4 Керамика включает в себя удачные механические свойства появление ее в новых отраслях промышленности будет увеличиваться.</p> <p>В2С1С2С3С4 Благодаря качественной работе, высока вероятность появления спроса на новые разработки.</p> <p>В3С1 Уникальные физико-механические характеристики данного типа керамики позволяют рассматривать ее в качестве материала, потенциально пригодного к использованию в аэрокосмической сфере.</p> <p>В4С1С2С4 Высокие характеристики материала позволят ему быть конкурентоспособным даже на международном рынке</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл2 Получить точные сведения о характеристиках материала возможно лишь на высокоточном оборудовании.</p> <p>В3Сл3Сл4 Внедрение в аэрокосмической области возможно для материала, прошедшего многократно подтвержденные испытания.</p> <p>В4Сл4 Внедрение на мировой рынок подразумевает низкий процент брака.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Отсутствие ожидаемых результатов.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p>	<p><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1С1 Исходя из уже проведенных исследований, можно обосновано предполагать искомые свойства материала.</p> <p>У2С3 Данное исследование основывается на наиболее свежей литературе по данной теме.</p>	<p><b>Уязвимости:</b></p> <p>У1Сл3 Некоторые погрешности проведения испытаний могут быть приняты за искомые результаты.</p> <p>У2Сл1Сл2Сл4 Многие из мероприятий по подготовке и проведению корректных исследований занимают длительное время, за которое могут быть также исследованы и описаны новые конкурирующие материалы.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

### 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.2.1 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 3.8.

Таблица 3.8 – Перечень этапов, работ и 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

Продолжение таблицы 3.8 – Перечень этапов, работ и исполнителей

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	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 (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

### 3.2.2 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 сметы.

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

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

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

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

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

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



$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожі}$  – 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:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,478$$

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 3.9.

Таблица 3.9 – 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		$t_{ожгi}$ , 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	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
<b>Итого:</b>	7	59	15	84	10,2	69	68,5	102

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 3.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	▨												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	▨ ■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■											
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■										
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			▨ ■										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■									
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■	■	■						
8	Обработка полученных данных	Исп2	18								■	■	■			
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5										▨ ■			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13												■	■

Примечание:

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

### 3.3 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 и дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы НИР.

### 3.3.1 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 образцов композитов ZrC/h-BN. Результаты расчета затрат представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Затраты на получение образцов композитов ZrC/h-BN

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок ZrC	кг	0,2	90000	18000
Порошок h-BN	кг	0,05	35000	1750
Графит	кг	1	15000	15000
Графитовая фольга	пг.м	1	6000	6000
Перчатки резиновые, технические	пар	1	12	12
<b>Итого:</b>				40762

### 3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

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

Таблица 3.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, мес.	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Планетарная шаровая мельница активатор 2SL	1	15	0,16	6,7	100000	90	
2	РФА- установка ДРОН-3М	1	20	0,1	5	18000000	7500	
3	Растровый электронный микроскоп (РЭМ) TESCAN Vega 3	1	20	0,16	5	15000000	10000	
4	Твердомер «Duramin 500»	1	10	0,1	10	4000000	3500	
5	Весы ВЛЭ-250	1	12	0,03	8,3	19000	40	
6	Испытательная машина «Instron 1182»	1	12	0,2	8,3	7000000	9750	
7	Смеситель С 2.0	1	12	0,16	20	364000	405	
8	Установка горячего прессования	1	20	1	5	15000000	12500	
<b>Итого: 43785</b>								руб.

### 3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_{\text{д}}$  – 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):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 3.13 – 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 3.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{\delta}$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	21902,46
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	69	120273,9
Итого:								142176,36

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 21902,46 = 3285,37 руб..$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 120273,9 = 18041,09 руб.,$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

### 3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (21902,46 + 3285,369) = 7556,349 руб..$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (120273,9 + 18041,09) = 41494,5 руб.,$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 3.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
43785	40762	142176,36	21326,45	49050,84	297100,65

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр},$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

$$Z_{накл} = 297100,7 \cdot 0,2 = 59420,13$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование влияния низкомолекулярных включений гексагонального нитрида бора в высокомолекулярной матрице карбида циркония на структуру и свойства композитов ZrC/h-BN» по форме, приведенной в таблице 3.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.



Таблица 3.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	40762	4626,3	55945	Пункт 3.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	43785	52959,8	47453	Пункт 3.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	142176,36	142176,36	142176,36	Пункт 3.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21326,45	21326,45	21326,45	Пункт 3.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	49050,84	49050,84	49050,84	Пункт 3.2.3.4
6	Накладные расходы	59420,13	54027,95	63190,33	Пункт 3.2.3.5
Бюджет затрат НИР		356520,78	324167,7	379141,98	Сумма ст. 1- 6

### **3.4 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.

**Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как

знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Исследование физико-механических свойств и структуры функциональной керамики на основе оксида и нитрида алюминия;
- 2) Исследование изменений механических характеристик полимерных композитов от количества вводимого модификатор УНТ-3.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 356520,78$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 324167,7$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 379141,98$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{356520,8}{379142} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{324167,7}{379142} = 0,86;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{379142}{379142} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Сравнительная оценка характеристик НИР

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3

Продолжение таблицы 3.17 – Сравнительная оценка характеристик НИР

5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,85	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

## **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 102 дня; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 69 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 10,2 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 356520,78 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,94, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4Б81		Грушковская Алиса Николаевна	
<b>Школа</b>	Инженерная школа новых производственных технологий	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Материаловедение в машиностроении
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Тема ВКР:

<b>Исследование влияния низкомолекулярных включений гексагонального нитрида бора в высокомолекулярной матрице карбида циркония на структуру и свойства композитов ZrC/h-BN</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b>	<p><i>Объект исследования:</i> образцы композитов ZrC/h-BN  <i>Область применения:</i> Ответственные узлы трибосопряжений, сопряженные с высокими температурными градиентами, скоростями и нагрузкой.  <i>Рабочая зона:</i> лаборатория  <i>Размеры помещения:</i> 70 кв.м.  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> кол-во – 6, установка горячего прессования, пресс гидравлический, шкаф сушильный, заточной станок, станок сверлильный, печь вакуумная  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> сушка порошковых систем, прессование, спекание, полировка поверхностей спеченных композитов</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.</li> <li>– ГОСТ 12.1.005-88; Общие гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне.</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>– ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</li> <li>– ГОСТ 22614-77. Система "человек- машина". Включение и выключение клавиш и кнопок. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><i>Вредные производственные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>2. Запылённость.</li> <li>3. Повышенный уровень шума.</li> <li>4. Повышенный уровень электромагнитных Излучений.</li> <li>5. Недостаточная освещённость рабочей зоны.</li> </ol> <p><i>Опасные производственные факторы:</i>          Производственные факторы, связанные с электрическим током.</p> <p><i>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</i>          Защита органов дыхания, респираторы по классификации не ниже FFP2</p>

<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение почвы отходами исследования <i>Воздействие на гидросферу:</i> загрязнение сточных вод отходами исследования <i>Воздействие на атмосферу:</i> загрязнение воздуха парниковыми газами от компьютерной техники и испытательных машин <i>Воздействие на селитебную зону:</i> нет
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	Возможные ЧС: пожар в здании, сильные ветры и ураганы, другие ЧС природного характера. Наиболее типичная ЧС: пожар на территории лаборатории
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Грушковская Алиса Николаевна		

#### 4 Социальная ответственность

Тема данной работы - исследование влияния низко модульных включений гексагонального нитрида бора в высоко модульной матрице карбида циркония на структуру и свойства композитов  $ZrC/h-BN$ .

Объектами исследования являются исходные порошки  $ZrC$  и  $h-BN$ , а также образцы композитов  $ZrC/h-BN$ .

Область применения исследуемых материалов – ответственные узлы трибосопряжений, сопряженные с высокими температурными градиентами, скоростями и нагрузкой, например, передние кромки крыльев и компоненты двигательной установки гиперзвуковых аэрокосмических аппаратов.

Данная научно-исследовательская работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, корпус №3. Рабочей зоной являлась лаборатория площадью 70 кв.м. со следующим оборудованием: установка горячего прессования, пресс гидравлический, шкаф сушильный, заточной станок, станок сверлильный, печь вакуумная. Поскольку работа осуществлялась в разных частях рабочей зоны, постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005-88).

Работа исследователя, с точки зрения физической нагрузки, относится к категории лёгких. Однако она связана с умственным напряжением, а также другими вредными факторами, рассмотренными в данном разделе, также, разработаны требования безопасности, а также комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.



## **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства для рабочей зоны исследователя**

Работа проходила на территории Института физики прочности и материаловедения СО РАН. Режим рабочего времени представлял из себя гибкий рабочий график на основе устных договоренностей с руководителем назначалось время притупления к работе, объем и желательные сроки ее выполнения. Организуют, защищают и осуществляют обработку персональных данных работников и студентов ИФПМ СО РАН. Оплата труда, виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания, при выполнении студентом учебной научной работы не предусмотрены.

### **4.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя**

Основная часть исследовательской работы проходила в положениях стоя и сидя. Эргономические требования при работе сидя за учебной литературой, ПК или в процессе расчетов приводятся по ГОСТ 12.032-78. Рабочее место при работе сидя организуется при работе, классифицируемой, как физически легкая. Конструкция рабочего места и расположение всех его элементов должно быть удобным для работающего. Должна соблюдаться зона досягаемости в пределах трудовых операций (Рисунок 4.1 и 4.2).

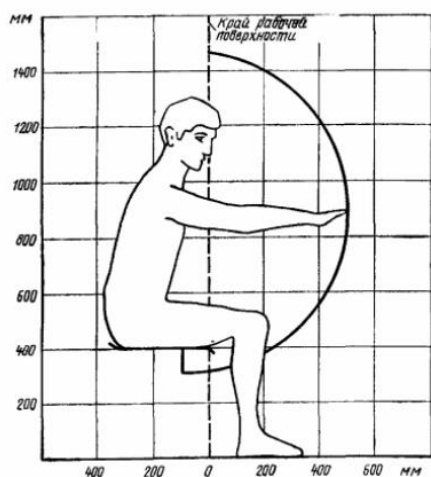


Рисунок 4.1 – Зона досягаемости моторного поля в вертикальной плоскости

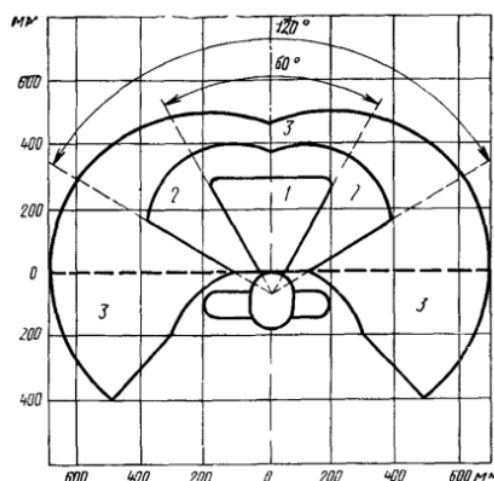


Рисунок 4.2 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления.

При организации рабочего места учитывались антропометрические показатели женщин и мужчин - общие средние показатели. При моем росте 165 см высота рабочего сидения 425 мм, пространство для ног должно быть 600 мм. Высота рабочего стола при печатании на компьютере 650 мм.

При работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук. На рабочей поверхности в горизонтальной плоскости органы управления необходимо размещать с учетом следующих требований (Рисунок 4.2): очень часто используемые и наиболее важные органы управления должны быть расположены в зоне 1; часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2; редко используемые органы управления не допускается располагать за пределами зоны 3.

В сидячем положении, в основном, протекает расчетная работа за ПК. Это требует точного и быстрого считывания информации, следовательно, расположение монитора должно быть в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости [20].

Работа стоя производилась при замере данных, настройке оборудования и другой физической работе средней тяжести. Эргономические требования рабочего места при выполнении работ стоя приводятся из ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на  $15^\circ$ . С ростом 165 см высота расположения средств отображения информации должна быть на высоте от 1000 мм до 1800 мм. Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной и вертикальной плоскостях необходимо размещать с учетом следующих требований (Рисунок 4.3 и 4.4): очень часто используемые и наиболее важные органы управления должны быть расположены в зоне 1; часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2; редко используемые органы управления не допускается располагать за пределами зоны 3 [21].

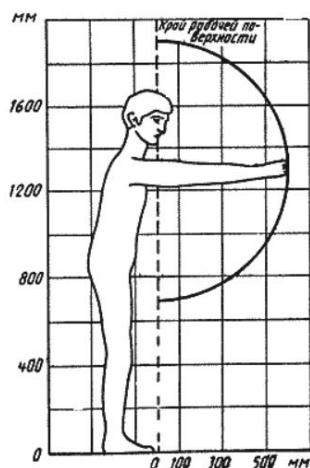


Рисунок 4.3 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в вертикальной плоскости

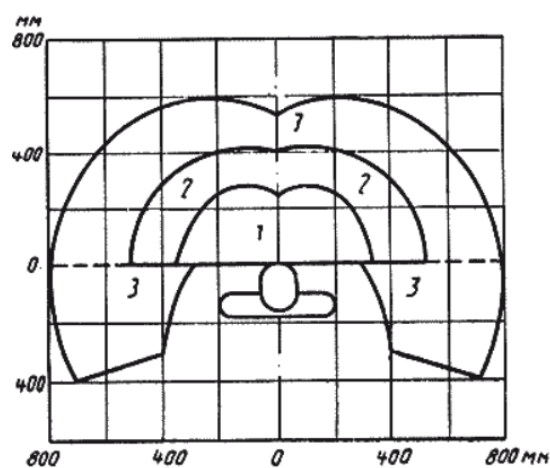


Рисунок 4.4 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в горизонтальной плоскости

Работа с выключателями и переключателями велась при лабораторных исследованиях на различных станках при проведении испытания на определение механических свойств. Эргономические требования рабочего места при работе с выключателями и переключателями клавишных и кнопочных типов приводилась из ГОСТ 22614-77 система «человек-машина». Для надежного фиксирования пальца рабочая поверхность кнопок и клавишей должна иметь небольшую вогнутость. У кнопок прямоугольной формы и кнопок малого диаметра (3-5 мм) рабочую поверхность допускается выполнять плоской, без вогнутости. При необходимости на рабочей поверхности допускается выполнять сферу или небольшой бортик, выступающий над рабочей поверхностью кнопок и клавиш. Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь индикацию положений "включено" или "выключено" [22].

#### **4.2 Производственная безопасность**

В данном разделе анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при механических испытаниях керамического материала. Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблице 4.1 [23].

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте исследователя

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений". Статья 29. Требования к микроклимату помещения
2. Запылённость.	ГОСТ Р 54578-2011. Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия.
3. Повышенный уровень шума.	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
4. Повышенный уровень электромагнитных излучений.	Инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере (ИОТ-1) от 9 июля 2019 года N 32-19-П.
5. Недостаточная освещённость рабочей зоны.	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция
6. Электро-безопасность	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

*Отклонения показателей микроклимата.* Основными критериями, которые характеризуют микроклимат производственной среды, являются: температура, влажность воздуха и подвижность работника.

Высокая температура воздуха повышает утомляемость, может привести к перегреву организма. Низкая температура может стать причиной простудного заболевания, вызвать охлаждение организма. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма. При низкой температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению. Низкая влажность может вызвать неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего. При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ и количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности приведены в таблице 4.2.

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление [24].

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые нормы температуры и относительной влажности в рабочей зоне.

Период года/ категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	
	Оптимальные показатели	Допустимые показатели	Оптимальные показатели	Допустимые показатели
Холодный/легкая	21-23	17-26	40-60	70
Теплый/легкая	22-25	21-30	40-60	70

*Запыленность воздуха* рабочей зоны оказывает прямое влияние на безопасность труда. Разные виды пыли и газов по-разному воздействуют на людей. Все зависит от их токсичности и концентрации, а также от количества времени, на протяжении которого человек находился в такой среде.

Самые мелкие частицы дольше держатся в воздухе и легче оседают в организме человека. Скорость и вредность оседания в организме человека зависит от формы частиц. Например, металлическая пыль имеет острую форму и медленно оседает в дыхательных путях. Это может привести к травмам слизистой оболочки.

Существуют методы очистки воздуха от пыли. Для устранения загрязнений принято использовать специальное оборудование кондиционирования (фильтры для очистки и т.д.), которое повысит качество воздуха в рабочей зоне до наилучшего уровня [25].

*Шум* на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания.

Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки) [26].

*Повышенный уровень электромагнитных излучений.* Увеличение количества и рост мощности различных искусственных источников приводят к созданию дополнительного искусственного электромагнитного поля, которое неблагоприятно влияет на здоровье человека.

Электромагнитное излучение возникает вследствие излучения энергии от любых источников электрических токов, в том числе от ПК. Электромагнитные волны приводят к неблагоприятным изменениям в организме.

Чтобы избежать губительного влияния ЭМИ, достаточно продуманно относиться к тому, какими электроприборами окружать себя и как их располагать:

- не группировать электроприборы в одном месте, распределить их так, чтобы они не усиливали ЭМП друг друга;
- по возможности включать электроприборы по очереди;
- выключать технику сразу после использования [27].

*Недостаточная освещённость рабочей зоны.* Источником этого фактора является искусственное освещение. Недостаток света увеличивает зрительное напряжение и увеличивает зрительную усталость. Также это приводит к развитию глазных болезней. Этот фактор классифицируется как физическая опасность. Хорошее освещение в комнате очень важно для сохранения наилучшего уровня работоспособности инженера, как можно долбше. Лаборатория должна быть хорошо освещена, а закрытое помещение может быть освещено боковым искусственным или частичным освещением с одной стороны [28].

*Электробезопасность.* Мероприятия по снижению воздействия основаны на ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.» Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

Электробезопасность обеспечивается:

- конструкцией электроустановок и архитектурно-планировочными решениями;
- организацией технологических процессов;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями при производстве работ;
- электрозащитными средствами, средствами защиты от электрических и магнитных полей и другими средствами индивидуальной защиты, применяемыми при эксплуатации электроустановок;
- организацией технического обслуживания электроустановок.

Электроустановки и их части должны соответствовать требованиям электробезопасности таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока, электрической дуги и электрических и магнитных полей [29].



### 4.3 Экологическая безопасность

Объектом исследования является керамика на основе оксида циркония с включениями нитрида бора. Исходные материалы синтезируются в лаборатории, как и композит. Одним из вредных факторов, которые могут нанести окружающей среде в процессе производства композитных материалов, является загрязнение окружающей среды пылью.

Защита атмосферы. Ограниченный размер атмосферы делает ее чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнению. Технический контроль на производстве осуществляется с помощью оборудования, предотвращающего попадание дисперсных частиц в воздух рабочей зоны, и оборудования, удаляющего эти частицы из воздуха рабочей зоны. Метод контроля должен иметь диапазон чувствительности ( $\sim 5$  мкм) не ниже нижнего предела. К средствам защиты атмосферы от выбросов относятся: удаление примесей с помощью специального оборудования, такого как циклонный сепаратор, улавливающий частицы размером более 5 микрон с эффективностью до 0,95. Применение системы местной вытяжной вентиляции со встроенным вентилятором в вытяжном шкафу. Кроме того, компьютерная техника, используемая как для обслуживания некоторых испытательных машин, так и для вычислений, связанных с работой выделяет большое количество парниковых газов. Помимо глобального потепления, увеличение различных парниковых газов влечёт другие последствия, включая подкисление океана, загрязнение смогом, истощение озонового слоя, а также изменение уровня роста растений и уровня их питания. Следует включать компьютерную технику на время выполнения поставленной задачи и выключать сразу, недопустим простой техники в запущенном состоянии.

Защита гидросферы. Основная причина загрязнения сточных вод, вследствие данной работы, связана с очисткой экспериментального оборудования. Большинство лабораторных экспериментов проводится с

разрушением спеченных образцов, что приводит к образованию пыли. Запрещается выбрасывать отходы экспериментов в канализацию общего пользования, их следует утилизировать установленными способами.

Защита литосферы. Попадая в литосферу, порошкообразные материалы могут изменять микробную и ферментативную активность почвы и активно взаимодействовать с организмами, живущими в этой среде. Твердые отходы и порошковая система собираются в специальный сборник и вывозятся на переработку.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На рабочем месте вероятно возникновение множества чрезвычайных ситуаций различного характера, например:

- пожар в здании,
- сильные ветры и ураганы,
- другие ЧС

Одна из наиболее возможных аварийных ситуаций в рабочей лаборатории - пожар. Основными причинами возникновения такой аварийной ситуации могут быть: электрические короткие замыкания, неправильное обращение с нагревающимся оборудованием (например, печи) и неправильное хранение легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов. Согласно Стандарту безопасности труда, ГОСТ 12.1.004-91, в лабораториях приняты профилактические меры, чтобы иметь возможность как можно быстрее реагировать на возможные чрезвычайные ситуации.

Одежда и средства индивидуальной защиты. Лаборатория должна иметь достаточное количество чистящей и защитной одежды (например, защитную одежду) в соответствии с уровнем риска для персонала лаборатории и посетителей.

Средства пожаротушения. В лаборатории установлены два порошковых порошковых огнетушителя ОП-5, в здании есть охранная и пожарная сигнализация, ящик с сухим песком и лопата. По ГОСТ 12.1.004-91 область должна быть выделена красным цветом. В каждой мастерской есть план эвакуации из здания. Если пожар невозможно остановить или предотвратить, пожалуйста, покиньте здание как можно скорее [30].

### **Вывод по разделу социальная ответственность**

В разделе ВКР «Социальная ответственность», был произведён анализ рабочего места во время исследовательской работы, а также:

- Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности;
- Обнаружены и проанализированы возможные вредные и опасные факторы на рабочем месте;
- Проведён анализ возможного вредного воздействия исследования на экологию и способы защиты атмосферы, гидросферы и литосферы;
- Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте. Проанализировано поведение работника при наиболее вероятном ЧС на рабочем месте – пожаре.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов при работе сидя и стоя фактически выполняют эргономические требования по ГОСТ 12.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ соответственно. Эргономические требования также выполняются при работе с различными приборами по ГОСТ 22614-77. Работа проводилась в отведенном для этого месте и в соответствующей экипировке. На качество и работоспособность большое влияние оказывает освещенность помещения. При работе в среднем классе

точности с разрядом зрительной работы - IV и подразрядом зрительной работы – г освещённость в лаборатории составляла 200 лк.

С точки зрения условий электробезопасности помещение лаборатории относится к безопасным помещениям, т.к. соблюдаются следующие критерии:

- Сухость (влажность колеблется 35 - 45%);
- Хорошая проветриваемость;
- Хорошая отапливаемость (температура воздуха составляет 20°C);
- Без токопроводящей пыли;
- Коэффициент заполнения площади предметами из металла составляет меньше, чем 0.2;
- Токонепроводящие полы.

Персонал лаборатории по электробезопасности относится к I группе (неэлектротехнический персонал, работающий с электрооборудованием). Работа относится ко второй категории тяжести: выполняется в условиях, когда ПДК и ПДУ вредных и опасных факторов не превышают требований нормативно-технических документов. При этом работоспособность не нарушается, отклонений в состоянии здоровья, связанных с профессиональной деятельностью, не наблюдается. По взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории относится к категории Д — пониженная пожароопасность. Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате был произведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую тематику. Получены композиционные системы ZrC-BN из порошковых смесей карбида циркония ZrC и добавки *h*-BN методом горячего прессования.

Установлены следующие зависимости для полученных композитов:

- Увеличение объемной доли нитрида бора в составе композита от 0 до 15 % об. приводит к снижению твердости с 21,5 ГПа до 8,9 ГПа;
- Наибольшей плотностью обладают образцы с объемным содержанием нитрида бора 1-5% с последующим плавным уменьшением данной характеристики;
- Увеличивается значение коэффициента интенсивности упругих напряжений до  $4,62 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  при содержании гексагонального нитрида бора 10 об.%, что говорит об увеличении вязкости разрушения в результате формирования границы раздела ZrC — *h*-BN.
- Измерения коэффициента трещиностойкости композитов ZrC-BN методом SEVNB демонстрируют повышение  $K_{IC}$  с 3,894 до 5,716  $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  при объемной доле BN 15%.
- Установлено, что увеличение содержания нитрида бора от 5% до 15% привело к незначительному росту ОКР.

Научное исследование направлено на изучение эволюции структурно-фазовых превращений керамических композитов ZrC- *h*-BN. Данное исследование – шаг к пониманию неупругого поведения данных композитов при эксплуатации в экстремальных условиях трения.

Организация оптимального состава композитов на основе ZrC - *h*-BN, обеспечит заданные теплофизические свойства полученных материалов, предназначенных для работы в таких условиях, при этом сохраняющих структурно-фазовое состояние

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Влияние высокоэнергетической обработки на структурнофазовое состояние порошковых систем  $Zr_x(b,c)y$  / Ю. А. Мировой, А. Г. Бурлаченко, А. Н. Грушковская, С. П. Буюкова // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии : Тезисы международной конференции, Томск, 06–10 сентября 2021 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2021. – С. 219-220. – DOI 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-135.

2. Роль низкомолекулярных включений h-нитрида бора матрице ZrC при исследовании механических свойств и микроструктуры / А. Н. Грушковская, Ю. А. Мировой, С. П. Буюкова // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ: XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России (г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.) // Сборник научных трудов в 10 ч. / Под ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – С. 152-155. – ISBN 978-5-7782-4562-4 Часть 3: – 368 с. ISBN 978-5-7782-4565-5