

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 (НОЦ) – Отделение материаловедения  
**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Влияние добавки метастабильного Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на структуру и свойства композитной керамики на основе ZrO<sub>2</sub>, упроченной альфа-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>

УДК: 666.3-419.8:666.368

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Янь Кэюй	<i>Янь Кэюй</i>	

Руководитель ВКР

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

Нормоконтроль

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Былкова Т. В.	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент (ОКД, ИШ НКБ)	Сечин А. А.	Д.Т.Н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	К.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

## Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<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 языке Российской Федерации 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>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 общеинженерные 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>Профессиональные компетенции университета</b>
<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
<b>ДПК (У)-2</b>	Готов реализовывать технологии производства объемных наноматериалов и изделий на их основе, включая технологии получения и предварительной подготовки сырья

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 О.Ю.Ваулина  
 (Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)                      (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Янь Кэюй

тема работы:

Влияние добавки метастабильного $Al_2O_3$ на структуру и свойства композитной керамики на основе $ZrO_2$ , упроченной альфа- $Al_2O_3$	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 57-53/с от 26.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08 июня 2021 года
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования являются корундоциркониевая керамика. Марка порошка TZ-3YS20AB. Предметом исследования являются процессы консолидации, структура, влияние добавки нановолокон метастабильного $Al_2O_3$ и содержание моноклинной фазы в керамике после гидротермальных испытаний.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести литературный обзор по теме исследований</li> <li>2. Подготовить порошок смеси на основе порошка ATZ и 1 мас. % нановолокон <math>Al_2O_3</math>;</li> <li>3. Провести оптимизация режима изготовления керамики на основе ATZ;</li> <li>4. Изучить структурк подготовленных образцов;</li> <li>5. Провести испытаний по ускоренному старению.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	СЭМ изображения керамики
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Т.В. Доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Сечин А.А. Доцент ООД ШБИП

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Янь Кэюй	<i>Янь Кэюй</i>	

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-  
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
154Б72	Янь Кэюй

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 Материаловедение и технология материалов

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

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

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений SWOT- анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. Планирование работ 2. Разработка графика Гания 3. Формирование бюджета затрат
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Описание потенциального эффекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т. В.	Конд. экон. наук		01.02.2021г

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б72	Янь Кэюй	Янь Кэюй	01.02.2021г

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
154Б72	Янь Кэюй

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01. Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

<b>Влияние добавки метастабильного <math>Al_2O_3</math> на структуру и свойства композитной керамики на основе <math>ZrO_2</math>, упроченной альфа-<math>Al_2O_3</math></b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: изделий композиционной керамики из $(ZrO_2 + 3\% Y_2O_3) + 20$ масс. % $Al_2O_3$ Область применения: медицина, медицина, технологии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29; – Статья 147 ТК РФ; – ГОСТ 12.2.033-78;
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– Пожар в лаборатории

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>

Доцент ООД ШБИП	Сечин А.А.	д.т.н.		
-----------------	------------	--------	--	--

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б72	Янь Кэюй	<i>Янь Кэюй</i>	

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения  
 Уровень образования – Бакалавриат  
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2021	Литературный обзор	20
15.04.2021	Экспериментальная часть	20
30.05.2021	Обсуждение результатов и оформление работы	35
06.06.2021	Финансовый менеджмент	15
06.06.2021	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Ваулина О.Ю.	К.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 78 с., 9 рис., 33 табл., 47 источников.

Выпускная работа посвящена комплексному изучению влияния 1 масс. % добавки нановолокон метастабильного  $Al_2O_3$  на структуру и свойства композитной корундоциркониевой керамики. Объектом исследования являются порошковые материалы на основе  $ZrO_2$  и нановолокна  $Al_2O_3$ , а также керамика изготовленная на их основе.

**Цель работы** заключается в изучении влияния добавки метастабильного  $Al_2O_3$  на структуру и свойства композитной керамики на основе  $ZrO_2$ , упроченной альфа- $Al_2O_3$

Результаты исследований показывают, что добавление нановолокон  $Al_2O_3$  не влияет на степень тетрагональности с/а фаз  $t_1$  и  $t_2$  и способствует уменьшению среднего размера зерна  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$ .

**Область применения:** медицина, технологии.

**Ключевые слова:** керамика, тетрагональная циркониевая керамика, упроченная оксидом алюминия, стабилизированная оксидом иттрия (ATZ), LTD (низкотемпературная деградация), нановолокно  $Al_2O_3$ , структура, свойства.

## Список сокращений

LTD-низкотемпературная деградация;

СЭМ-сканирующий электронный микроскоп;

РФА-рентгенофазовый анализ;

ATZ-( $ZrO_2 + 3 \text{ mol } \% Y_2O_3$ ) + 20 масс. %  $Al_2O_3$  – Alumina Toughened Zirconia –

Диоксид циркония упрочнённый оксидом алюминия;

Y-TZP- иттрий-стабилизированный поликристаллический тетрагональный

диоксид циркония.

## Содержание

Введение.....	14
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	16
1.1. Нановолокно метастабильного $Al_2O_3$ .....	16
1.2. Свойства циркониевой керамики .....	19
1.3. Гидротермальное старение циркониевой керамики .....	21
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	23
2.1. Материал исследований .....	23
2.2. Сканирующая электронная микроскопия .....	25
2.3. Подготовка смесей на основе ATZ .....	26
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	30
3.1. Кинетика спекания подготовленных образцов.....	30
3.2. Микроструктура и размер зерна керамики ATZ.....	31
3.3. Анализ пористости и гидротермального старения образцов .....	36
Выводы по разделу .....	37
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	38
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	38
4.2. SWOT-анализ .....	40
4.3. Планирование научно-исследовательских работ .....	43
4.4. Разработка графика проведения научного исследования.....	44
4.5. Бюджет научно-технического исследования .....	47
4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	48
4.5.2 Расчет амортизации специального оборудования .....	49
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	51
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	53
4.5.5 Накладные расходы .....	53
4.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	54
Выводы по разделу .....	56
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	58
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	58
5.2 Производственная безопасность .....	60
5.2.1 Анализ показателей микроклимата .....	60
5.2.2 Анализ чрезмерного загрязнения воздушной среды в зоне дыхания .....	61
5.2.3 Анализ показателей шума и вибрации.....	62
5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны .....	64
5.2.5 Анализ электробезопасности .....	68
5.3 Экологическая безопасность .....	69
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	70
5.5. Пожарная безопасность.....	71
Выводы по разделу .....	72

6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА .....	74
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	75

## Введение

Керамика из  $ZrO_2$  используется для изготовления различных изделий широкого назначения. Предел прочности на изгиб данной керамики достигает 1,2 ГПа. Благодаря высокой износостойкости и твердости из  $ZrO_2$  изготавливаются керамические подшипники и режущий инструмент. Низкая теплопроводность  $ZrO_2$  и огнеупорность позволяет использовать его в качестве материала для теплобарьерных покрытий в реактивных двигателях. Благодаря биосовместимости  $ZrO_2$  используется в качестве материала для дентальных имплантатов и эндопротезов [1,2].

Высокие механические характеристики обусловлены эффектом трансформационного упрочнения, которым обладает стабилизированный оксидом иттрия тетрагональный поликристаллический диоксид циркония (Y-TZP, yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline). Однако, Y-TZP присуща самопроизвольная трансформация тетрагональной фазы в моноклинную, наиболее интенсивно протекающая во влажной среде и при повышенной температуре. Этот эффект приводит к деградации и охрупчиванию керамики [2]. В меньшей мере этот недостаток наблюдается при добавлении в данную керамику  $Al_2O_3$ . Добавка 20 масс. % оксида алюминия приводит к упрочнению керамики на 60 % - предел прочности на изгиб достигает 2 ГПа (ATZ, Alumina Toughened Zirconia).

Следует отметить, что если  $Al_2O_3$  вводится в матрицу в виде волокон или вискеров, то упрочнение и повышение трещиностойкости композита будет реализовываться намного эффективнее, чем если  $Al_2O_3$  будет представлен в виде частиц [3], волокна из оксида алюминия могут быть потенциальной альтернативой армированию циркониевых композитов. В армированных волокнистыми наполнителями композитах  $ZrO_2$  будет реализовываться не только присущий диоксиду циркония механизм трансформационного упрочнения, но и механизмы упрочнения.

Цель работы:

Целью настоящей работы является изучение влияния добавки метастабильного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на структуру и свойства композитной керамики на основе  $\text{ZrO}_2$ , упроченной альфа- $\text{Al}_2\text{O}_3$

Задачи:

1. Подготовить порошковой смеси на основе порошка ATZ и 1 мас. % нановолокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
2. Провести оптимизацию режима изготовления керамики на основе ATZ;
3. Изучить структуру изготовленной керамики и оценить влияние добавки нановолокон;
4. Провести гидротермальные испытания керамики и оценить содержание моноклинной фазы.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1. Нановолокно метастабильного $Al_2O_3$

Как все мы знаем, керамика  $Al_2O_3$  является превосходной керамикой в передовой керамической промышленности и краеугольным камнем разностороннего развития керамики. Она обладает не только преимуществами высокой температуры плавления, высокой твердости, стойкости к кислотной и щелочной коррозии, но и отличной электроизоляции. Процесс производства керамики из  $Al_2O_3$  является зрелым, может производиться серийно, с низкими производственными затратами и может использоваться в суровых условиях, поэтому постепенно он стал очень важным основным материалом в области новых материалов. Кроме того, керамические материалы  $Al_2O_3$  могут также использоваться в качестве конструкций, режущих инструментов и износостойких деталей после обработки; в то же время их также можно использовать в биологических, химических, аэрокосмических и оборонных областях, таких как изготовление зубных протезов, резервуары взрывозащищенная броня и др. По мере того, как исследования керамики  $Al_2O_3$  становились все шире и совершеннее, она постепенно превратилась в материал, который очень быстро развивается в последние годы.

Сегодня спрос на инновационные и высокоэффективные керамические материалы неуклонно растет. Хотя керамика по своей природе является хрупкой и поэтому имеет низкую стойкость к повреждениям, армирование керамической матрицы волокнами приводит к получению конструкционных материалов с превосходными характеристиками. Армирующее волокно рассеивает энергию нагрузки, прилагаемой во время растрескивания, отслаивания и растяжения керамической матрицы во время процесса разрушения, тем самым улучшая прочность и вязкость разрушения керамического композиционного материала. Сочетание преимуществ высокой твердости, стойкости к высоким температурам и коррозионной стойкости керамики с дополнительными улучшениями, такими

как высокая вязкость разрушения и вязкость разрушения, значительно расширило область применения высокоэффективной керамики.

Нановолокна  $Al_2O_3$  - это разновидность поликристаллического неорганического волокна, основным компонентом которого является оксид алюминия. Основной кристаллической формой может быть  $\gamma$ -,  $\delta$ -,  $\theta$ -,  $\alpha$ -оксид алюминия. Обычно он также содержит около 5% кремнезема. Стабилизирует кристаллическую фазу и препятствует росту кристаллических зерен при высоких температурах. Поскольку волокно из оксида алюминия имеет хорошую смачиваемость металлической матрицей и реакция на границе раздела мала, механические свойства, износостойкость и твердость композитного материала улучшаются, а коэффициент теплового расширения снижается. Армированные алюминиевым волокном композитные материалы с металлической матрицей используются в деталях автомобильных поршневых канавок и лопатках роторных газовых компрессоров. Исследования показывают, что если  $Al_2O_3$  вводится в матрицу в виде волокон или вискеров, то упрочнение и повышение трещиностойкости композита будет реализовываться намного эффективнее, чем если  $Al_2O_3$  будет представлен в виде частиц [3]. В работе [4] исследовали композиты на основе стабилизированного иттрием (3 мол. %)  $ZrO_2$ , в которых армирующая добавка (10 об. %)  $Al_2O_3$  была в виде микрочастиц, нано частиц и микроволокна. Относительная плотность всех композитов независимо от вида  $Al_2O_3$  была ниже ( $> 98\%$ ), чем керамики  $ZrO_2$  ( $\approx 99,5\%$ ). Микротвердость композитов при добавке микрочастиц и наночастиц увеличилась на 4,7%, а при добавке микроволокон – на 8,6%. Трещиностойкость композитов увеличивалась по схожей с микротвердостью зависимости: добавки микрочастиц, наночастиц и микроволокон привели к повышению трещиностойкости на 4,2, 6,7 и 9,2% соответственно. Таким образом, добавка микроволокон  $Al_2O_3$  является более предпочтительной с точки зрения повышения физико-механических свойств композитов на основе  $ZrO_2$ . В работе [5] исследовали композиты из частично стабилизированного иттрием диоксида циркония, армированные

нановолокнами  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , на поверхность которых был инкапсулирован графен. Было установлено, что увеличение содержания гибридных нановолокон до 5 об. % приводит к незначительному снижению микротвердости – от 14,0 до 13,4 ГПа. Однако композит, содержащий 3 об. % нановолокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , имел повышенную на 20% трещиностойкость.

Существует ряд независимых гипотез, описывающих причины возникновения и природу метастабильных полиморфных модификаций  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , существующих в диапазоне температур до 1200 °С. Согласно Refs. [6,7], основной причиной образования метастабильных фаз является наличие в структуре материала примесных ионов:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и др., Удаление которых при термообработке дестабилизирует метастабильное состояние.

В работах [8,9,10,11] было предложено влияние на процесс возникновения и существования метастабильных фаз размера частиц (размерного фактора). Это предположение подтверждается фактом получения метастабильных фаз при измельчении крупногабаритных порошковых материалов, а также наличием метастабильных фаз в тонких пленках [11].

Однако энергетическая теория [8,9] недостаточно описывает условия образования метастабильных фаз. В частности [12], предполагается преобладающая роль в механизме возникновения метастабильных фаз мартенситного перехода и микродоменов. Схема фазового превращения в системе алюминий-кислород  $\text{Al}_2\text{O}_3$  представлена на рис. 1. Система оксида алюминия имеет два стабильных кристаллических состояния:  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1), а также образуется ряд метастабильных промежуточных состояний. во время термической эволюции. Переход кристаллического гиббсита, нордстрандита и байерита в оксид алюминия можно осуществить двумя способами: 1. Метастабильными состояниями являются:  $\chi$ - и  $\varepsilon$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\eta$  +  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . 2. Промежуточный продукт - бемит ( $\gamma$ - $\text{AlO}(\text{OH})$ , орторомбическая модификация) и его метастабильные состояния:  $\gamma$ -,  $\delta$ - и  $\theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Структурная вода играет важную роль как структурообразующий фактор. Достаточно

большие размеры кристаллов гидроксида алюминия объясняются наличием в структуре воды в виде координированных гидрогрупп  $\text{OH}^-$ . Термическая обработка приводит к дигидроксилированию  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , уменьшению размера кристаллов и образованию промежуточных метастабильных фаз оксида алюминия.

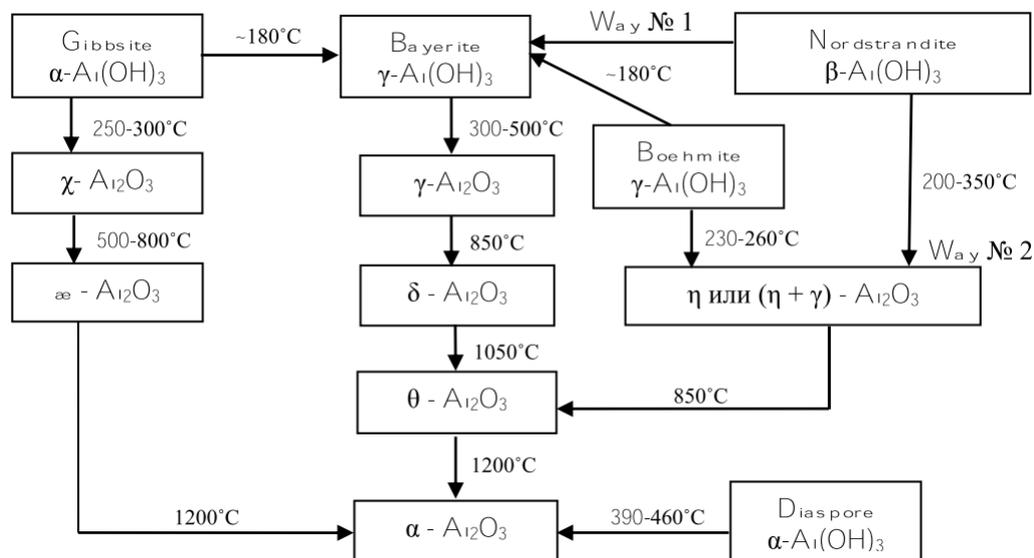


Рисунок 1- Схема фазового превращения в системе алюминий-кислород  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## 1.2. Свойства циркониевой керамики

$\text{ZrO}_2$  высокой чистоты представляет собой белый порошок с высокой температурой плавления, высокой твердостью и другими физическими и химическими свойствами.  $\text{ZrO}_2$  не проводит электричество при комнатной температуре и является изолятором, но имеет определенную проводимость при высоких температурах. В 1975 году RCGarvie из Австралии [13] опубликовал статью в журнале Nature «Керамическая сталь» и впервые сообщил о частично стабилизированной циркониевой керамике (Ca-PSZ), в которой CaO использовался в качестве стабилизатора, а  $\text{ZrO}_2$  - мартенситное фазовое превращение. Метод закалки, этот метод не только улучшает вязкость разрушения, но и в значительной степени способствует развитию  $\text{ZrO}_2$  в области конструкционной керамики. Существует три кристаллических состояния

чистого  $ZrO_2$  при нормальном давлении, как показано на рис. 2 [14]: моноклинный диоксид циркония (моноклинный,  $m-ZrO_2$ ), тетрагональный диоксид циркония (тетрагональный,  $t-ZrO_2$ ) и кубический диоксид циркония (Cubic,  $c-ZrO_2$ ), при определенных условиях конверсионное соотношение между ними равно [15]:

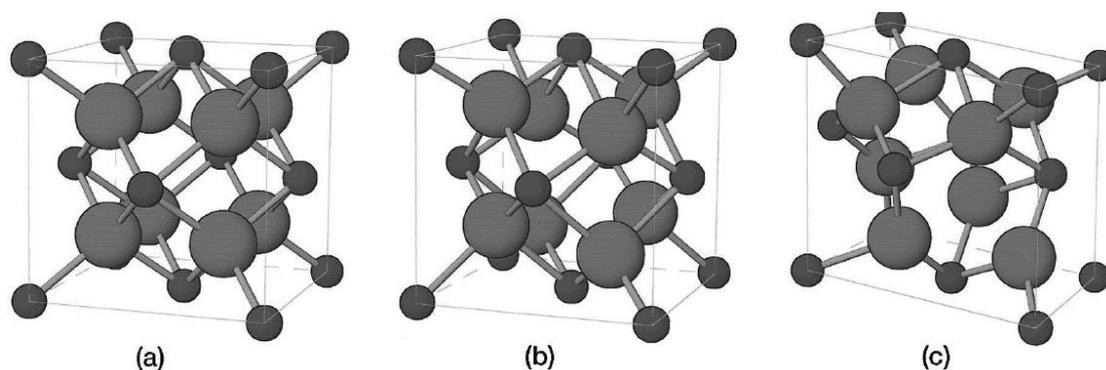
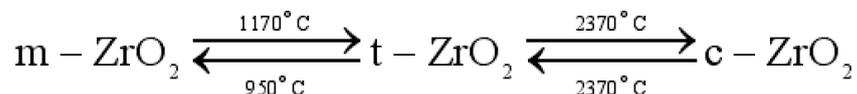


Рисунок 2- Схематические диаграммы трех кристаллических форм  $ZrO_2$  и соответствующих пространственных групп (а) кубическая фаза ( $Fm\bar{3}m$ ), (b) тетрагональная фаза ( $P4_2/nmc$ ) и (c) моноклинная фаза ( $P2_1/c$ )

Среди них мартенситное превращение происходит между тетрагональным  $ZrO_2$  и моноклинным  $ZrO_2$ . Когда тетрагональный  $ZrO_2$  превращается в моноклинный  $ZrO_2$ , это часто сопровождается объемным расширением на 3-5% и сдвигом на 7-8% [14]. В нормальных условиях продукты из чистого  $ZrO_2$  часто претерпевают фазовый переход от  $t-ZrO_2 \rightarrow m-ZrO_2$  во время процесса охлаждения, что приводит к изменениям объема и трещинам, поэтому техническая ценность очень низкая. Однако при добавлении соответствующих стабилизаторов (таких как  $Y_2O_3$ ,  $MgO_2$ ,  $CaO$ ,  $SeO_2$  и т. Д.) Температура фазового перехода  $t-ZrO_2 \rightarrow m-ZrO_2$  может быть снижена, так что  $t-ZrO_2$  может быть стабильным при высоких температурах. стабильным при

комнатной температуре. Кроме того, когда  $ZrO_2$  подвергается мартенситному превращению, он также может поглощать энергию, снижать концентрацию напряжений в вершине трещины, эффективно предотвращать распространение трещины и улучшать ударную вязкость керамики, так что теория упрочнения однофазного превращения быстро расширяется до Введена теория ужесточения фазового перехода. В настоящее время существует три  $ZrO_2$  закаленной керамики с фазовым переходом: частично стабилизированный диоксид циркония (PSZ), тетрагональный поликристалл диоксида циркония (TZP) и керамика, упрочненная диоксидом циркония (ZTC) [16], из которых наиболее широко изучена TZP.

### **1.3. Гидротермальное старение циркониевой керамики**

Циркониевая керамика - это новый тип керамического материала с высокой прочностью и разработанный в 1970-х годах. Благодаря хорошей биосовместимости, он используется в качестве стоматологического реставрационного материала в медицине. Эта область получила широкое распространение. Диоксид циркония имеет три кристаллические структуры: моноклинную фазу, тетрагональную фазу и кубическую фазу, и эти три фазы могут переходить друг в друга при определенной температуре. Добавляя стабилизаторы (такие как  $Y_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  и т. Д.) в керамику, можно сохранить больше тетрагональных фаз с хорошей прочностью и ударной вязкостью, что также является основным принципом упрочнения диоксида циркония. В 1981 году Кобаяши и др. [17] обнаружили, что в присутствии водяного пара механические свойства циркониевой керамики могут значительно ухудшиться. Это явление называется низкотемпературным гидротермальным старением керамики из диоксида циркония. Это явление происходит потому, что в среде водяного пара тетрагональная фаза на поверхности тетрагональной циркониевой керамики со стабилизаторами медленно превращается в моноклинную фазу при комнатной температуре. Среди обычных стабилизаторов,

стабилизированных керамикой из диоксида циркония, механические свойства керамики из тетрагонального диоксида циркония (Y-TZP), стабилизированного  $Y_2O_3$ , обычно лучше, но низкотемпературное гидротермическое старение керамики из Y-TZP является наиболее серьезным [18]. Существуют три основные теоретические модели низкотемпературного гидротермального механизма старения циркониевой керамики, а именно модель химического коррозионного старения, модель коррозионного старения под напряжением и модель восстановления кислородных вакансий в тетрагональном поликристаллическом диоксиде циркония (TZP). Чтобы предотвратить низкотемпературное гидротермальное старение циркониевой керамики при сохранении хороших механических свойств, для приготовления композитной стабилизированной циркониевой керамики можно использовать различные стабилизаторы. В данной статье в основном исследуются механические свойства керамики, поэтому в качестве объекта исследования выбрана керамика из оксида циркония, стабилизированная оксидом иттрия, проводятся эксперименты по старению в гидротермальных условиях, а также изучаются характеристики и микроструктура керамики ATZ после гидротермальной обработки.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наноструктура кристаллических зерен и добавление армирующих материалов стали одним из механизмов упрочнения диоксида циркония. Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) является одним из широко используемых армирующих компонентов матричного композита из диоксида циркония. Когда диоксид циркония используется в качестве основной фазы, а оксид алюминия является легирующей добавкой, в этом случае композит называется оксидом циркония, упрочненным оксидом алюминия (ATZ). Нановолокна  $\text{Al}_2\text{O}_3$  могут быть потенциальной альтернативой армированию циркониевых композитов из-за их хорошей химической и термической стабильности, а также низкого теплового расширения, несовместимого с матрицами [19]. Кроме того, более прочные волокна, обладающие очень высокой степенью жесткости и, следовательно, превосходной прочностью и ударной вязкостью. Улучшение механических свойств циркониевой керамики за счет ее армирования волокнами  $\text{Al}_2\text{O}_3$  достигается за счет ряда факторов.

### **Объект исследований**

Порошковые материалы и керамика на основе ATZ и 1 масс. % нановолокна  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### **Предмет исследований**

Структура объекта исследований, влияния добавки 1 масс. % нановолокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на кинетику последующего изотермического уплотнения ATZ, стойкость к LTD керамики на основе ATZ и 1 масс. % нановолокна  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### **2.1 Материал исследований**

В качестве исходного материала для изготовления керамической матрицы использовали порошок стабилизированного иттрием диоксида циркония ( $\text{ZrO}_2 + 3 \text{ моль. \% Y}_2\text{O}_3$ ) + 20 масс. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (порошок марки TZ-3YS20AB, Tosoh, Япония):

TZ-3Y-S-20A B-E  
I II III IV V

где:

I: мол.% Оксида иттрия, где «3Y» будет 3 мол.%  $Y_2O_3$ .

II: «S» для классов легкой формуемости

III: марки ATZ, где "20A" будет 20 мас.% Глинозема.

IV: марки связующего, где «B» - это 3% -ные степени связующего, а «BC» - 5% -ные степени связующего.

V: «E» для марок легкого спекания.

Марки «A» содержат 3 мол.% однородно диспергированного оксида иттрия, 20 мас.% оксида алюминия и демонстрируют чрезвычайно высокую механическую прочность после ГИП. Этот материал чаще всего используется для производства промышленных деталей с высокой прочностью и водостойкостью. В таблицах 1 и 2 показаны свойства различных марок керамики ATZ.

Таблица 1- Характеристики порошка TZ-3YS20AB

Характеристики порошка	TZ-3YS20AB
$Y_2O_3$ (mol%)	3
Удельная поверхность( $m^2/g$ )	$7 \pm 2$
Связующее(Приблизительно. wt%)	3
Появление	Гранулы

Таблица 2- Типичные характеристики спеченных тел TZ-3YS20AB

Типичные свойства спеченного тела	TZ-3YS20AB
Плотность( $g/cm^3$ )	5,50
Прочность на изгиб R.T. (MPa)* <sup>1</sup>	2,000
Твердость(Hv 10)* <sup>2</sup>	1,400

Наполнителем являлся нановолокнистый  $Al_2O_3$  (нановолокна марки Fibrall, OCSiAl, Россия), полученный методом жидкофазного каталитического окисления алюминия молекулярным кислородом при температуре 820 °С. Нановолокна состоят из  $\gamma$ ,  $\delta$  и  $\chi$  модификаций оксида алюминия. Для расчета относительной плотности в прессовках использовали значение плотности  $Al_2O_3$ , соответствующее  $\gamma$  модификации. Средний диаметр волокон по результатам ПЭМ составляет  $11\pm 1$  нм, а их длина достигает 1 мкм. Удельная поверхность волокон составляет  $96\pm 6,5$  м<sup>2</sup>/г.

## **2.2. Сканирующая электронная микроскопия**

Анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа-СЭМ: растровый электронный микроскоп (растровый электронный микроскоп), называемый сканирующим электронным микроскопом (СЭМ). Это электронный микроскоп, который использует пучки электронов для бомбардировки поверхности образца с целью генерации различных электронов (таких как вторичные электроны, электроны, рассеянные обратно и т. Д.) Для получения результатов анализа. Он может генерировать изображения с высоким разрешением поверхности образца, различать различные фазы и их распределение посредством очистки цвета, а изображение может создавать трехмерный эффект. Для многофазной керамики можно использовать сканирующую электронную микроскопию, чтобы увидеть степень уплотнения, дефекты, размер зерна, форму зерна образца, а также распределение двухфазных зерен и рост трещин; форма поверхности излома может Также необходимо наблюдать. Определить режим разрушения по внешнему виду, чтобы изучить и проанализировать механизм упрочнения и ударной вязкости частиц второй фазы.



Рисунок 3- Сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM-7500FA

### **2.3. Подготовка смесей на основе ATZ**

Процесс спекания керамики - самый важный и сложный процесс во всем процессе приготовления. Также очень важно, какой метод спекания используется в процессе. Поскольку разные режимы спекания соответствуют разным скоростям нагрева и охлаждения, это серьезно повлияет на ряд проблем, таких как перенос материалов, рост кристаллических зерен, миграция границ зерен и диффузия атомов во время процесса спекания, что будет влиять на качество процесса спекания. В этом эксперименте используется традиционный метод атмосферного спекания. Однако традиционное спекание при атмосферном давлении имеет некоторые неизбежные недостатки: например, для получения превосходной керамики температура спекания не должна быть низкой, а аномальный рост кристаллических зерен при высоких температурах приведет к низкому качеству спекания.

Смешивание исходного порошка ATZ и нановолокон проводили в шаровой мельнице в течении 24 ч. В качестве мелющих тел использовали шарики из Y-TZP, диаметром 5 мм. Соотношение массы порошкового материала к массе мелющих тел составляло 1 к 4. Смешивание проводили в полиэтиленовой банке цилиндрической формы с диаметром 8 см. Скорость вращения составляла 50

оборотов в минуту. В аналогичных условиях обрабатывали исходный порошок ATZ.

По схеме одноосного одностороннего прессования были изготовлены образцы в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 14 мм при давлении 75 и 200 МПа. Масса навески составляла 2 г. Свободное спекание на воздухе всех образцов проводили при 1500 °С с выдержкой 0, 2 и 6 ч. Скорость нагревания до 1100 °С составляла 200 °С/ч, от 1100 °С до 1500 °С – 100 °С/ч. Для того, чтобы получить наиболее достоверные значения плотности образца в заданный момент изотермической выдержки и минимизировать уплотнение при охлаждении печи нагреватели отключали.

Плотность прессовок и предварительно спеченных образцов определяли на основании измерений микрометром и аналитическими весами. За теоретическое значение плотности ATZ принимали 5,5 г/см<sup>3</sup>. При расчете относительной плотности прессовок была проведена коррекция массы на величину содержания в порошке органической связки (5,5 %). Для расчета плотности образцов после спекания при 1400 °С использовали результаты гидростатического взвешивания в дистиллированной воде.

Для расчёта длительности изотермического спекания при заданных температурах использовали уравнение, предложенное В.А. Ивенсеном [20]:

$$V = V_H(qm\tau + 1)^{-1/m} \quad (1)$$

где  $V$  – относительный объем пор в текущий момент времени,  $V_H$  – относительный объем пор в начале изотермической выдержки,  $\tau$  – продолжительность изотермической выдержки,  $q$  и  $m$  – постоянные, зависящие от температуры спекания и свойств порошка. Коэффициент  $m$  в уравнении отражает интенсивность снижения скорости сокращения объёма пор, а коэффициент  $q$  соответствует значению скорости относительного сокращения объёма пор в момент начала изотермической выдержки [20].

Для нахождения константы  $m$  определяли отношение объемов пор до ( $V_n$ ) и после ( $V_c$ ) спекания при изотермической выдержке 0 ч,  $\tau_1$ -2 ч и  $\tau_2$ -6 ч.

Приняв  $V_c/V_n = V_n$  для начала изотермической выдержки,  $V_1$  – для  $\tau_1$ ,  $V_2$  – для  $\tau_2$ , значение константы  $m$  рассчитывали по формуле:

$$\frac{(V_n/V_2)^{m-1}}{(V_n/V_1)^{m-1}} = \tau_2/\tau_1 \quad (2)$$

Значение константы  $q$  рассчитывали по уравнению:

$$q = \frac{(V_n/V_1)^{m-1}}{m(\tau_2 - \tau_1)} \quad (3)$$

Изучение структуры проводилось на свободной поверхности образца, механическая обработка проводилась с использованием шлифовально-полировальный станок Buehler®AutoMet™250. Изображения микроструктуры получали помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-7500FA. СЭМ-изображения использовали для измерения размера зерен спеченной керамики с использованием программного обеспечения JMicroVision. Для распределения измеряли площадь отдельных зерен  $S$ , с за значение диаметра зерна принимали  $D=S^{1/2}$ . Приведенные размеры зерна являются измеренными значениями, полученными по меньшей мере из 300 зерен.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu, Япония) на отполированной поверхности в диапазоне углов (от 23 до 97 ° по  $2\theta$ ) с использованием метода Ритвельда в свободно распространяемом программном обеспечении "PowderCell".

Испытание керамики на стойкость к гидротермальному воздействию проводили с использованием автоклава в парах воды при условиях, соответствующих требованиям стандарта: температура 134°C и давление 0,2 МПа; Продолжительность испытаний по стандарту (при 134°C) составляла 10 и 54 ч. Согласно сведениям, 1 час ускоренного гидротермального старения при 134°C и давлении 0,2 МПа условно соответствует 3–4 годам *in vivo* (при использовании данного материала в качестве имплантата).

Оценку относительного объемного содержания моноклинной фазы ( $V_m$ ) в образцах определяли по общепринятой формуле [21]:

$$V_m = \frac{1.311X_m}{1+0.311X_m} \quad (4)$$

Значение интегрального отношения интенсивностей  $X_m$  определяли непосредственно из дифракционной диаграммы с использованием уравнения Гарви и Николсона:

$$X_m = \frac{I_m^{-111} + I_m^{111}}{I_m^{-111} + I_m^{111} + I_t^{101}} \quad (5)$$

где  $I$  – это интегральная интенсивность, а индексы  $m$  и  $t$  указывают на моноклинную и тетрагональную фазы.

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Кинетика спекания подготовленных образцов

В качестве исходного материала исследований использовали гранулированный порошок ATZ, смесь порошка ATZ с 1 масс. %  $Al_2O_3$ , а также порошок ATZ, обработанный в режиме подготовки смеси. Из описанных выше материалов, методом одноосного одностороннего прессования в стальной цилиндрической пресс-форме изготовили образцы при давлении 75 МПа. Относительная плотность образцов ATZ после одноосного одностороннего прессования равна  $0,47 \pm 0,005$ . Разрушение гранул при обработке ATZ (обозначен как ATZ\*) и смеси AZT с 1 масс. %  $Al_2O_3$  в шаровой мельнице способствует увеличению плотности до 0,49 и 0,48, соответственно.

В таблице 3 представлены результаты кинетики изотермического спекания при 1500 °С. Скорость сокращения скорости сокращения объёма пор в момент начала изотермической выдержки  $q$  максимальна у исходного образца ATZ. Обработка порошков в шаровой мельнице приводит к уменьшению коэффициента  $m$ , характеризующего интенсивность снижения скорости сокращения объёма пор. Уменьшение коэффициента  $m$  приводит к интенсификации уплотнения при 1500 °С. Значение выдержки  $\tau$  до  $\rho = 0,99$  при  $T = 1500$  °С для ATZ составляет 110 ч, для обработанного порошка ATZ\* в шаровой мельнице – 10 ч., а для смеси ATZ + 1 масс. %  $Al_2O_3$  – 7 ч.

Таблица 3- Относительная плотность  $\rho$  после прессования; относительная плотность  $\rho_0$  в момент начала изотермической выдержки,  $\rho_2$  – после 2 часов спекания,  $\rho_6$  – после 6 часов спекания; значения констант  $q$  и  $m$ ; значение выдержки  $\tau$  до  $\rho = 0,99$  при температуре спекания  $T = 1500$  °С

Материал	$\rho$	$\rho_0$	$\rho_2$	$\rho_6$	$q$	$m$	$\tau$ , ч
ATZ	$0,47 \pm 0,005$	$0,944 \pm 0,003$	$0,984 \pm 0,003$	$0,986 \pm 0,003$	14396	9,609	110
ATZ*	$0,49 \pm 0,005$	$0,942 \pm 0,003$	$0,982 \pm 0,003$	$0,989 \pm 0,003$	2,53	1,99	10
ATZ + 1 масс. % $Al_2O_3$	$0,48 \pm 0,005$	$0,940 \pm 0,003$	$0,981 \pm 0,003$	$0,989 \pm 0,003$	2,50	1,96	7

Спрессованные при 75 МПа образцы из исследуемых материалов спекали при 1550 и 1600 °С в течении 2 ч. Результаты представлены в таблице 4. Увеличение температуры спекания до 1550 и 1600 °С не приводит к существенному уплотнению керамики. Значение относительной плотности всех образцов находится в диапазоне 98-99 %.

Таблица 4- Относительная плотность образцов при температуре спекания 1550 и 1600 °С

Материал	1550 °С	1600 °С
ATZ	0,981±0,003	0,982±0,003
ATZ*	0,987±0,003	0,98±0,003
ATZ + 1 масс. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,989±0,003	0,992±0,003

Напротив, увеличение давления прессования до 200 МПа, позволило гарантированно получить образцы с плотностью более 99 % после 2 часов спекания при 1500 °С. Результаты представлены в таблице 5. Использование давления прессования свыше 200 МПа приводит к растрескиванию образцов.

Таблица 5– Значение относительной плотности образцов после спекания при 1500 °С в течении 0, 2 и 6 ч.

Материал	0 ч.	2 ч.	6 ч.
ATZ	0,966±0,003	0,991±0,003	0,992±0,003
ATZ*	0,962±0,003	0,998±0,003	0,995±0,003
ATZ + 1 масс. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,966±0,003	0,997±0,003	0,992±0,003

Таким образом, обработка порошков в шаровой мельнице приводит к уменьшению выдержки при спекании при 1500 °С. Увеличение температуры спекания до 1550 и 1600 °С не приводит к существенному уплотнению керамики. Напротив, увеличение давления прессования до 200 МПа, позволило гарантированно получить образцы с плотностью более 99 % после 2 часов спекания при 1500 °С.

### 3.2. Микроструктура и размер зерна керамики ATZ

Для анализа структуры были отобраны 3 образца, спеченные при 1500 °С с выдержкой 2 ч. Составы, давление прессования и относительная плотность приведены в таблице ниже.

Таблица 6- Объекты исследования

№	Материал	Давление прессования	Относительная плотность
1	ATZ	75 МПа	0,984±0,003
2	ATZ	200 МПа	0,991±0,003
3	ATZ + 1 масс. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200 МПа	0,997±0,003

Изучение исходного фазового состава керамических образцов, показало, что наиболее достоверные (с минимальным параметром ошибки  $R_{wp}$ ) результаты обработки дифрактограмм достигаются в предположении о наличии в этих материалах двух типов тетрагональных фаз ( $t_1$  и  $t_2$ ), отдельно учитываемых по условному критерию: фаза  $t_1$  — с низкой степенью тетрагональности ( $c/a < 1.0141$ ) и фаза  $t_2$  — с высокой степенью тетрагональности ( $c/a > 1.0141$ ) [20]. Отличия в исследуемых образцах минимальны, степени тергональности  $c/a$  фаз  $t_1$  и  $t_2$  равны 1,016 и 1,009, соответственно. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> находится в диапазоне 31-34 об. %.

Таблица 7- Результаты уточнения структуры исследуемых образцов методом Ритвельда: об. % - содержание фазы; с и а – параметры кристаллической решетки,  $c/a$  – степень тетрагональности;  $R_{wp}$  – коэффициент достоверности.

№	Фаза $t_1$				Фаза $t_2$				Фаза Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $\alpha$ , корунд)			
	%	с	а	c/a	%	а	с	c/a	%	а	с	$R_{wp}$
1	46	5,181	5,099	1,016	23	5,121	5,169	1,009	31	4,756	12,989	15,170
2	41	5,182	5,100	1,016	26	5,122	5,170	1,009	34	4,757	12,991	14,370
3	45	5,181	5,099	1,016	24	5,121	5,170	1,009	32	4,756	12,986	14,790

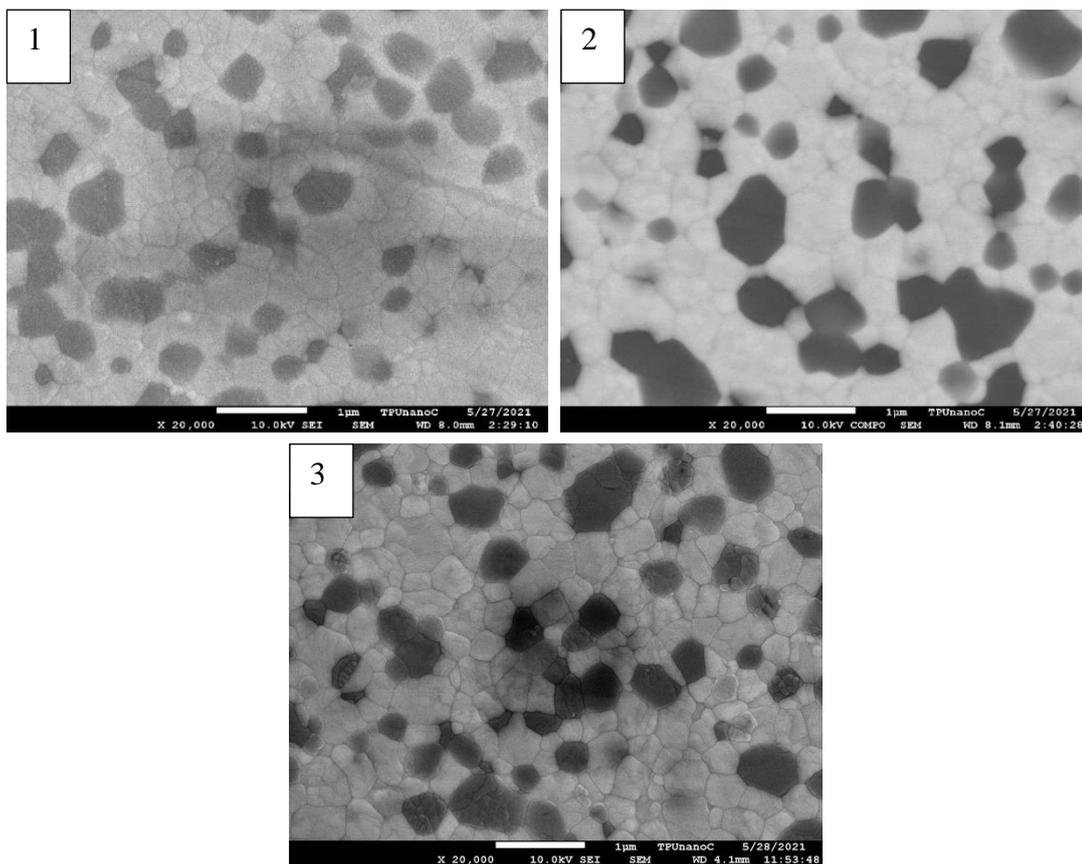


Рисунок 4 - Микрофотографии композитной керамики, спеченной при 1500 °C в течении 2 ч, темная фаза - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , светлая фаза – Y-TZP. СЭМ.

1 – ATZ, давление прессования 75 МПа,

2 – ATZ, давление прессования 200 МПа

3 – ATZ + 1 масс. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , давление прессования 200 МПа

На рисунке 4 представлены микрофотографии образцов, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа. На рисунке темная фаза представляет собой зерна оксида алюминия, а светлая фаза представляет собой зерна диоксида циркония. Измерения проводили планиметрированием площади отдельных зерен, а размер зерна рассчитывали, как корень квадратный из его площади. Общее количество измерений отдельных зерен составляло не менее 300 шт для  $\text{ZrO}_2$ . В таблице 8 приведены средние значения измеренных зерен  $\text{ZrO}_2$ .

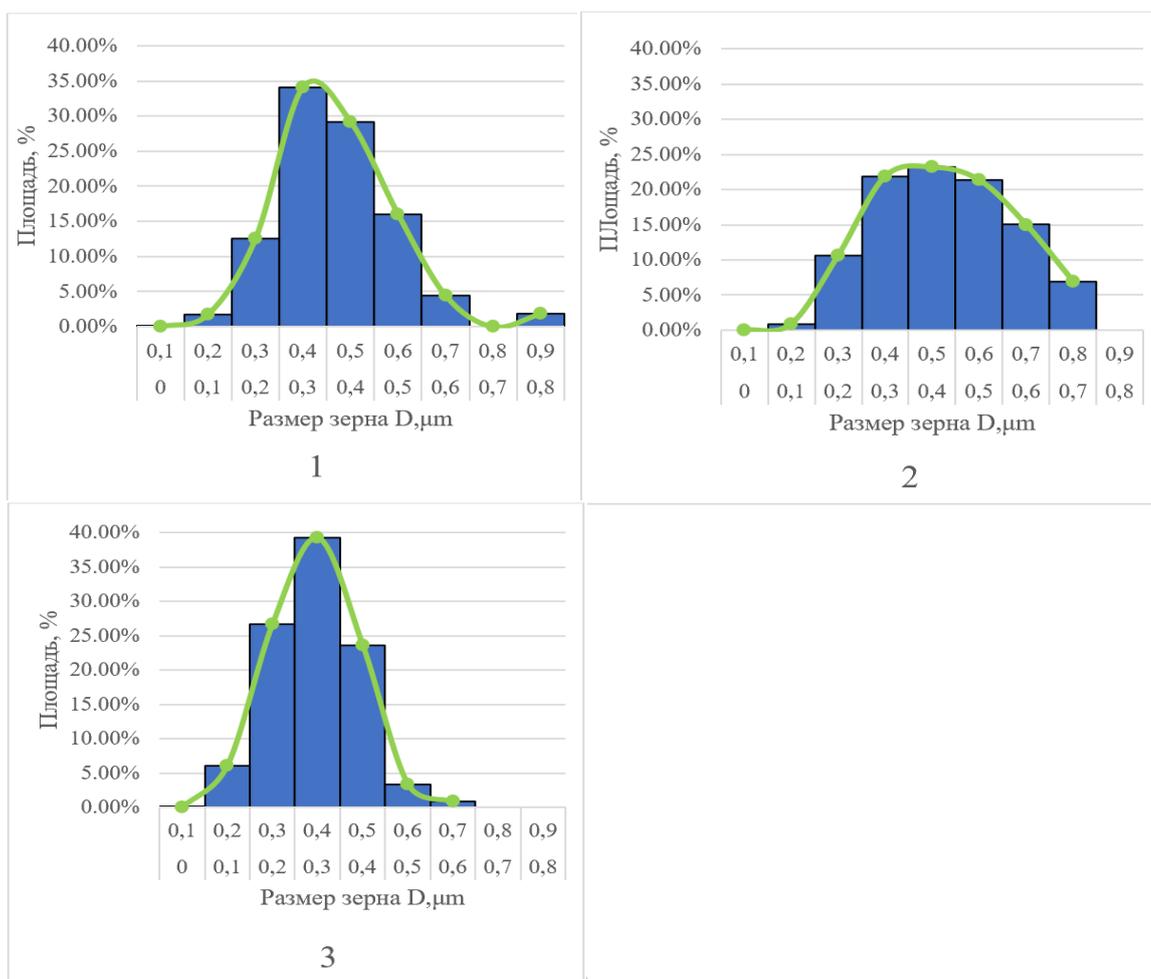


Рисунок 5- Распределение зерен  $ZrO_2$  в исследуемых образцах.  
 1 – ATZ, давление прессования 75 МПа,  
 2 – ATZ, давление прессования 200 МПа  
 3 – ATZ + 1 масс. %  $Al_2O_3$ , давление прессования 200 МПа

Таблица 8- Средний размер зерна  $ZrO_2$  в исследуемой керамике

№	Материал	Давление прессования	$d_{cp}$ , нм
1	ATZ	75 МПа	$347 \pm 113$ нм
2	ATZ	200 МПа	$376 \pm 137$ нм
3	ATZ + 1 масс. % $Al_2O_3$	200 МПа	$284 \pm 96$ нм

В таблице 8 показан средний размер зерен  $ZrO_2$  при различных режимах приготовления, а на рисунке 5 представлены распределения размера зерен  $ZrO_2$  в исследуемых образцах. Добавление 1 масс. %  $Al_2O_3$  способствует уменьшению среднего размера зерна с  $376 \pm 137$  нм до  $284 \pm 96$  нм. Добавка 1 масс. %

метастабильных нановолокон также способствует уменьшению среднего размера зерна  $Al_2O_3$  с  $406 \pm 174$  нм до  $284 \pm 96$  нм.

Таблица 9- Средний размер зерна  $Al_2O_3$  в исследуемой керамике

№	Материал	Давление прессования	$d_{cp}$ , нм
1	ATZ	75 МПа	$347 \pm 113$ нм
2	ATZ	200 МПа	$406 \pm 174$ нм
3	ATZ + 1 масс. % $Al_2O_3$	200 МПа	$284 \pm 96$ нм

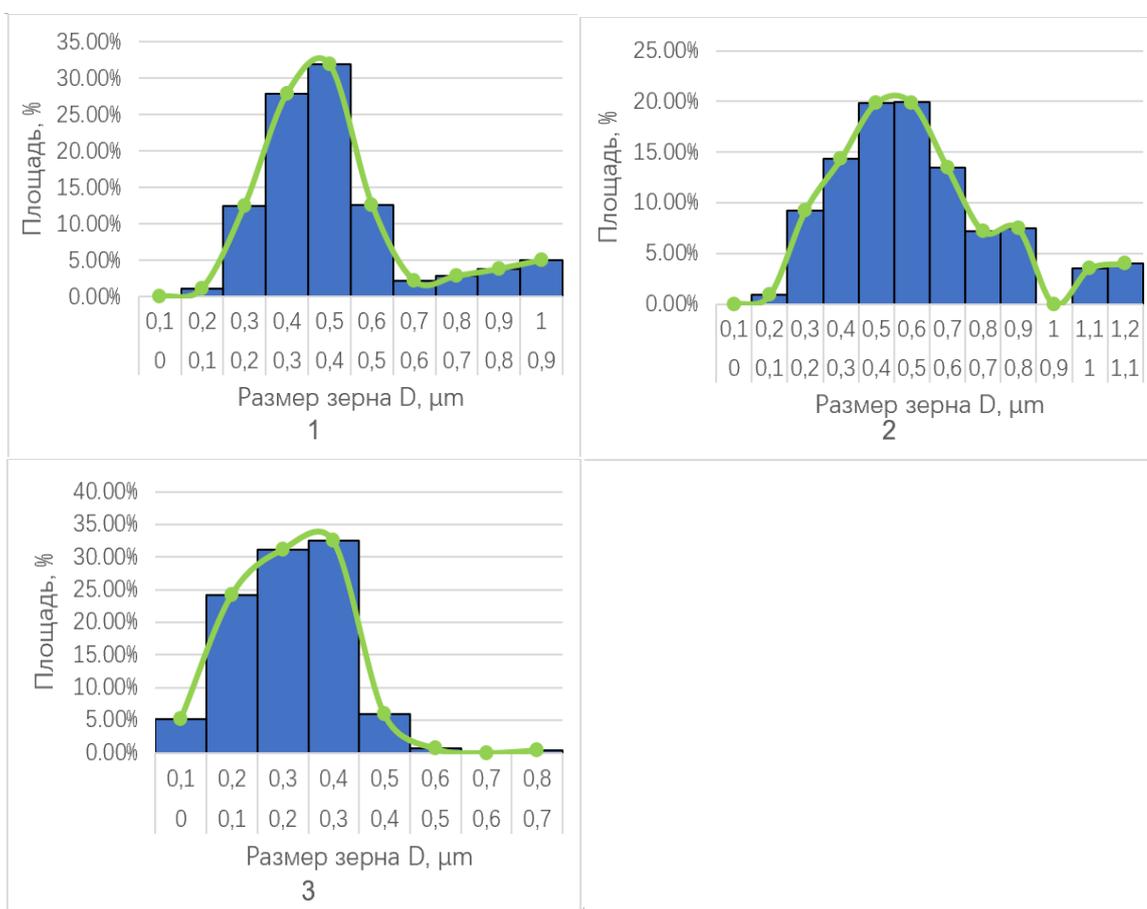


Рисунок 6- Распределение зерен  $Al_2O_3$  в исследуемых образцах.

1 – ATZ, давление прессования 75 МПа,

2 – ATZ, давление прессования 200 МПа

3 – ATZ + 1 масс. %  $Al_2O_3$ , давление прессования 200 МПа

Таким образом, по данным РФА, отличия в исследуемых образцах минимальны, степени тетрагональности с/а фаз  $t_1$  и  $t_2$  равны 1,016 и 1,009,

соответственно. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится в диапазоне 31-34 об. %. Добавка нановолокон способствует уменьшению среднего размера зерна  $\text{ZrO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### 3.3. Анализ пористости и гидротермального старения образцов

Испытание керамики на стойкость к LTD проводили с использованием автоклава в парах воды при условиях, соответствующих требованиям стандарта: температура  $134^\circ\text{C}$  и давление 0.2 МПа [20]. Испытания проводили в течении 10 и 54 ч.

На рисунке 7 представлены изображения поверхности исследуемых материалов. Поверхность образца, спрессованного при 75 МПа более пористая, относительно образцов, спрессованных при 200 МПа. В образце с добавкой нановолокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$  также присутствуют поры, но в меньшем количестве. Наиболее плотным выглядит образец без добавки нановолокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , спрессованный при 200 МПа.

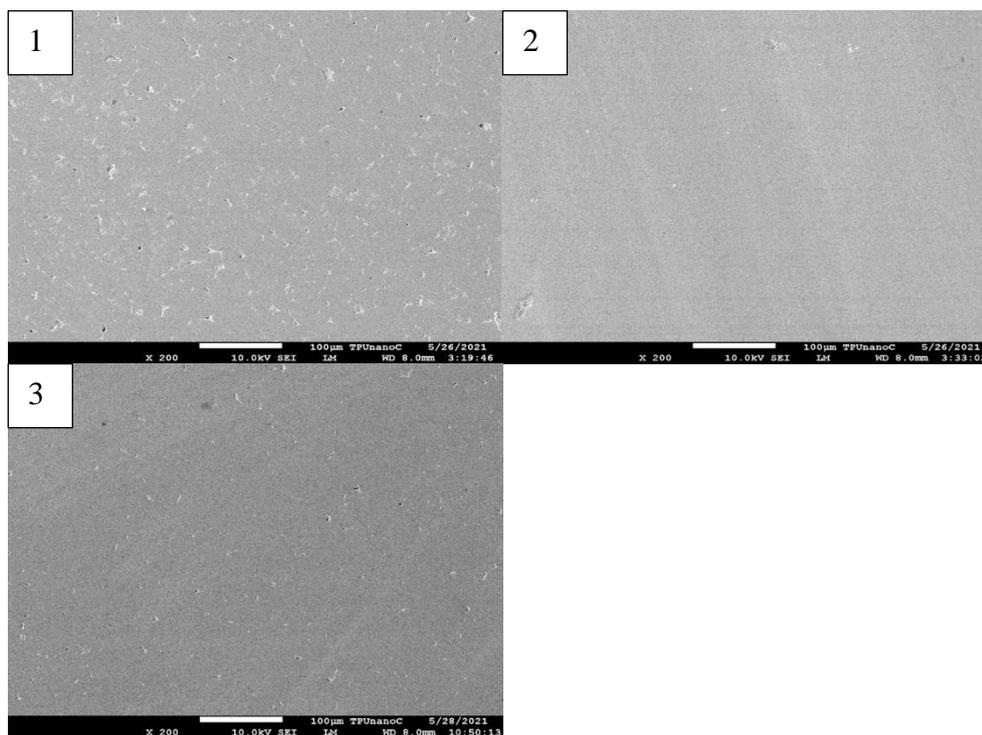


Рисунок 7- Поверхность исследуемых образцов перед испытаниями на гидротермальную стойкость. СЭМ. 1 – ATZ, давление прессования 75 МПа,  
2 – ATZ, давление прессования 200 МПа  
3 – ATZ + 1 масс. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , давление прессования 200 МПа

Содержание моноклинной фазы после 10 часов испытаний в соответствии со стандартом находится в диапазоне 7-9 об. % относительно фаз  $ZrO_2$ . При увеличении времени испытаний максимальное содержание моноклинной фазы в образце, спрессованном при 75 и добавкой нановолокон  $Al_2O_3$ .

Таблица 10- Содержание моноклинной фазы об. % в исследуемых образцах после 10 и 54 ч. выдержки в парах воды при температуре 134 °С и давлении 0,2 МПа.

	Материал	10 ч.	54 ч.
1	ATZ	9	35
2	ATZ	7	23
3	ATZ + 1 масс. % $Al_2O_3$	9	35

Из полученных результатов следует, что пористая поверхность способствует гидротермальной деградации материала и что добавка нановолокон  $Al_2O_3$  не влияет на гидротермальную стойкость керамики ATZ.

### **Выводы по разделу**

Таким образом, обработка порошков в шаровой мельнице приводит к уменьшению выдержки при спекании при 1500 °С. Увеличение температуры спекания до 1550 и 1600 °С не приводит к существенному уплотнению керамики. Напротив, увеличение давления прессования до 200 МПа, позволило гарантированно получить образцы с плотностью более 99 % после 2 часов спекания при 1500 °С.

По данным РФА, отличия в исследуемых образцах минимальны, степени тетрагональности с/а фаз  $t_1$  и  $t_2$  равны 1,016 и 1,009, соответственно. Содержание  $Al_2O_3$  находится в диапазоне 31-34 об. %. Добавка нановолокон способствует уменьшению среднего размера зерна  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$ .

Из полученных результатов следует, что пористая поверхность способствует гидротермальной деградации материала и что добавка нановолокон  $Al_2O_3$  не влияет на гидротермальную стойкость керамики ATZ.

## ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### Общая информация

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. 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.

Цель данной ВКР – изучение влияния добавки нановолокон метастабильного  $Al_2O_3$  на структуру и свойства композитной корундоциркониевой керамики.

#### 4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Используя метод сегментирования, разделим потребителей разработки о порошковых материалах различного состава. Основные критерии сегментирования потребителей на рынке разработок порошковых материалов различного состава:

- 1) географический
- 2) отрасль

### 3) размер компании потребителя

Представим характеристику выбранных компаний потребителей нашей разработки.

Компания «KPCHEMICAL» находится в КНР, специализируется на отрасли редкоземельных элементов и наноматериалов

Компания «DKKK», находится в Японии, специализируется на отрасли соединений циркония и других материалов на основе неорганических соединений.

На основании представленных критериев построим карту сегментирования рынка разработок порошковых материалов различного состава (таблица 11).

Карта сегментирования рынка разработок порошковых материалов различного состава

		Виды порошковых материалов			
		Материалы состава	Интернет - каталог	Интернет-магазин	Информационный портал
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

 -Фирма А «KPCHEMICAL»

 -Фирма В «DKKK»

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) Изучение влияния добавки нановолокон метастабильного CuO на структуру и свойства композитной корундоциркониевой керамики.

2) Изучение влияния добавки нановолокон метастабильного MgO на структуру и свойства композитной корундоциркониевой керамики.

В таблице 12 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 12- Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

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. устойчивость к старению	0.15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
2. Высокая прочность	0.05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
3. вязкость разрушения	0.1	4	1	3	0,4	0,1	0,3
4. Коррозионная стойкость	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Безопасность	0.02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
6. Эффективность работы	0,06	5	2	2	0,3	0,12	0,12
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Реализация продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень охвата рынка	0.14	4	5	3	0,56	0,7	0,42
3. Предполагаемая цена	0.09	5	5	3	0,45	0,45	0,27
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>63</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>4,76</b>	<b>3,43</b>	<b>3,45</b>

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что предложенная нами разработка является наиболее актуальной и перспективной, имеет конкурентоспособность.

## 4.2. 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.

На первом 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 13– 16.

Таблица 13- Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 14- Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 15- Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 16- Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Второй 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 17.

Таблица 17- Результаты SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья</p> <p>С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции</p> <p>С3. Получение высококачественных продуктов;</p> <p>С4. Экологичность технологии;</p> <p>С5. Методика является перспективной.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Внедрение технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p> <p>В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах</p> <p>В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака</p>

	хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	
<b>Угрозы</b> У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	<b>Угрозы развития</b> У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	<b>Уязвимости:</b> У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

SWOT-анализа позволил определить факторы отрицательно влияющие на продвижение разработки на рынок. К таким факторам относятся:

- 1) Невысокие объемы производства.
- 2) Вероятность получения брака
- 3) Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования

Отрицательное влияние факторов возможно устранить с помощью внедрения ии уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

#### **4.3. Планирование научно-исследовательских работ**

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ по проведению научного исследования;
- определение участников каждого вида работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения 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 18.

Таблица 18- 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 ВКР	Студент-инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Студент-инженер
	4	Выбор методов исследования	Студент-инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	Студент-инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер, научный руководитель
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер
	10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер
	11	Социальная ответственность	Студент-инженер

#### 4.4. Разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для оценки трудоемкости проводимых работ представим расчет показателей: трудоемкость, продолжительность одной работы, календарный коэффициент

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.4.1)$$

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.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.4.2)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 19.

Таблица 19- 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		$t_{ожг}$ , 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	1		4		2.2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2.2	2.2	2.2	3
3. Обзор научной литературы		4		10	0	6.4	6.4	10
4. Выбор методов исследования		8		14	0	10.4	10.4	15
5. Планирование эксперимента		10		18	0	13.2	13.2	19
6. Проведение эксперимента		6		14	0	9.2	9.2	14
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8	0	5.6	5.6	8
8. Оценка эффективности результатов		4		8	0	5.6	5,6	8
9. Составление пояснительной записки		6		14	0	9.2	9.2	14
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		4		10		6.4	6.4	9
11. Социальная ответственность		8		10		9	9	13
<b>Итог</b>	2	61	8	120	2.2	84.6	84,6	116

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 20).

Таблица 20- Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T <sub>Ki</sub> 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	Научный руководитель	3													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель	3													
3	Обзор научной литературы	Студент-инженер	10													
4	Выбор методов исследования	Студент-инженер	15													
5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель	19													
6	Проведение эксперимента	Студент-инженер	14													
7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер	8													
8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель	8													
9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер	14													
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер	9													
11	Социальная ответственность	Студент-инженер	13													

Примечание:

||||| – Исп 1 (научный руководитель)

||||| – Исп 2 (студент-инженер)

#### 4.5. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением:

- 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.

#### 4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 21).

Таблица 21- Затраты на получение образца порошковой системы  $ZrO_2 + 3 \text{ мол. \% } Y_2O_3 + 20 \text{ масс. \% } Al_2O_3$

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Порошок оксида циркония ГОСТ 21907 - 76, кг	0,06	8000	480
Нановолокна $Al_2O_3$ , кг	0,012	81767,5	981.21
Порошок Оксида иттрия с cas по 1314-36-9 ,кг	0,0018	7000	12.6
Рукавицы специальные, термостойкие – 6 мес.	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546- 2002 ГОСТ 790-89	1	35	35
Очки защитные ГОСТ Р 12.4.013-97, шт.	1	58	58
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			1593.81

#### 4.5.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 22).

Таблица 22- Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Аналитические весы DA-124	1	3	86	86
2	Ультразвуковая ванна ОДА Сервис 1.3л ODA-M13	1	5	6	6
3	Электронный микроскоп FEG SEM: JEOL JSM 2100F	1	15	16000	16000
4	Гидравлическая машина прессования (ИП-500-пресс ЗИПО	1	35	1119	1119
5	Высокотемпературная вакуумная печь (Nabertherm VHT 8/22-GR	1	15	1750	1750
6	Шлифованный станок (Eco Met 300 Pro Buehler)	1	10	1290	1290
7	Микротвердомера ПМТ - ЗМЛОМО	1	10	1500	1500
8	ТвердомерТП-7Р-1 ЗИП	1	10	895	895
9	Рентгеновский Дифрактометра XRD – 7000	1	20	3700	3700
Итого		26346			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5.2.1)$$

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

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.5.2.2)$$

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Аналитические весы:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,33 * 86}{12} * 4.3 = 10,17 \text{ тыс. руб}$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,2 * 6}{12} * 4.3 = 0,43 \text{ тыс. руб}$$

Электронный микроскоп:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,07 * 16000}{12} * 4.3 = 401,33 \text{ тыс. руб}$$

Гидравлическая машина прессования:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,029 * 1119}{12} * 4.3 = 11,63 \text{ тыс. руб}$$

Высокотемпературная вакуумная печь:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,07 * 1750}{12} * 4.3 = 44,90 \text{ тыс. руб}$$

Шлифованный станок:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 1290}{12} * 4.3 = 46,23 \text{ тыс. руб}$$

Микротвердомера:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 1500}{12} * 4.3 = 53,75 \text{ тыс. руб}$$

Твердомер:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 895}{12} * 4.3 = 32,07 \text{ тыс. руб}$$

Рентгеновская дифрактометра:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} * m = \frac{0,05 * 3700}{12} * 4.3 = 66,29 \text{ тыс. руб}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 10,17 + 0,43 + 401,33 + 11,63 + 44,90 + 46,23 + 53,75 + 32,07 + 66,29 = 666,8 \text{ тыс. Руб}$$

### 4.5.3 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:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.5.2.3)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.5.2.4)$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_0$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;  $M$  – 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):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}. \quad (4.5.2.5)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_0) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.5.2.6)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.5.2.7)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 23- Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 24- Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}$ , руб	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{осн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10	21473
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	116	202199,6
Итого:								223672,6

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 21473 = 3220,95 \text{ руб.} \quad (4.5.2.8)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 202199,6 = 30329,94 \text{ руб.} \quad (4.5.2.9)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внед}} = K_{\text{внед}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (21473 + 3220,95) = 7408,2 \text{руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{внед}} = K_{\text{внед}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (202199,6 + 30329,94) =$$

69758,86руб.

где  $k_{\text{внеб}}$  – 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).

#### 4.5.5 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма}/6) \cdot k_{\text{нр}} = (666800 + 1593,81 + 223672,6 + 7408,2 + 69758,86 + 3220,95 + 30329,94) \cdot 0,2 = 668393,8 \cdot 0,2 = 133678,8 \text{руб. (4.5.5.1)}$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «**Керамические композиционные материалы на основе диоксида циркония и оксида алюминия**» по форме, приведенной в таблице 25.

Таблица 25- Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
666800	1593.81	223672,6	77167,06	33550,89	668393.8	133678.8	802072.6

#### 4.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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.

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.6.1)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{802072.6}{900000} = 0,89 \quad (4.6.2)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{885937.5}{900000} = 0,98 \quad (4.6.3)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{900000}{900000} = 1 \quad (4.6.4)$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 26).

Таблица 26- Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. устойчивость к старению	0,3	5/1.5	3/0.9	3/0.9
2. Высокая прочность	0,1	4/0,4	5/0,5	4/0,4
3. вязкость разрушения	0.2	3/0,6	5/1	4/0,6
4. Коррозионная стойкость	0,1	5/0.5	2/0.2	2/0.2
5. Безопасность	0.2	4/0.8	3/0.6	2/0.6
6. Эффективность работы	0,1	3/0.3	2/0.2	2/0.2
ИТОГО	1	27/4.1	20/3.4	17/2.9

$$I_{p-вар1} = 4,1;$$

$$I_{p-вар2} = 3,4;$$

$$I_{p-вар3} = 2,9.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{вари}$ ) по формуле:

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{финр}} \quad (4.6.5)$$

$$I_{вар1} = \frac{4,1}{0,91} = 4,5 \quad (4.6.6)$$

$$I_{вар2} = \frac{3,4}{0,955} = 3,56 \quad (4.6.7)$$

$$I_{вар3} = \frac{2,9}{1} = 2,9 \quad (4.6.8)$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 27).

Таблица 27- Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,955	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,4	2,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	3,56	2,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 1,2 Вар. 1/Вар. 3= 1,4	Вар. 2/Вар. 1 = 0,83 Вар. 2/Вар. 3 = 1,16	Вар. 3/Вар. 1 = 0,71 Вар. 3/Вар. 2 = 0,86

Вариант 1:  $0,91 + 4,1 + 4,5 = 9,51$ .

Вариант 2:  $0,955 + 3,4 + 3,56 = 7,915$ .

Вариант 3:  $1 + 2,9 + 2,9 = 6,8$ .

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

### Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее

количество календарных дней для выполнения работы – 129 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 105; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 33;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 802072.6 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,89, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,1, по сравнению с 3,4 и 2,9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 3,56 и 2,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данной исследовании рассматриваются влияние добавки нановолокон метастабильного  $Al_2O_3$  на структуру и свойства композитной корундоциркониевой керамики

Цель данной главы – выявление вреда и опасностей, возникающих при выполнении экспериментальной части работы, а также разработка мер по их устранению.

Объект исследования –  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ . Область применения данного вида керамики - медицина и металлообрабатывающая промышленность, нефтеперерабатывающая промышленность.

Экспериментальная часть работы осуществлялась с применением такого оборудования, как: высокотемпературные печи, плазменная печь для спекания, гидравлический пресс, микроскоп, ПЭМ, рентгеновский дифрактометр.

Место работы: лаборатория Томского политехнического университета (ауд. 109 10 корпуса)

### 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На предприятии следует руководствоваться Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 но.197-ФЗ [25].

Каждый работник лаборатории должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты и моющими средствами.

Для поддержания здоровья и предотвращения заболеваний работники, подвергающиеся воздействию химических веществ, должны повышаться два раза в год.

Перед началом работы каждый сотрудник должен получить вводную и вводную лекцию о мерах безопасности, а затем подписать вступительное введение в дневнике. Чтобы исключить возможность несчастных случаев, все студенты и студенты высших и средних профессиональных учебных заведений

должны провести серьезные исследования по вопросам безопасности и другим видам деятельности в соответствии с утвержденными курсами и планами.

В этом параграфе приведены эргономические требования для обеспечения правильного расположения и расположения рабочей зоны исследователя и рабочей зоны, разработанных в производственной среде для создания комфортной рабочей среды.

Основным объектом в производственной среде является рабочее место, которое обычно является местом, где люди могут жить во время работы.

Рабочее место расположено на первом этаже лаборатории. Комната длиной 8 м, шириной 5 м, высотой 3.2 м, общей площадью 40 м<sup>2</sup>, общим объемом 128 м<sup>3</sup>. Поэтому там, где рабочее место инженера организовано, должны соблюдаться требования ГОСТ 12.2.032-78 [26] и ГОСТ 12.2.033-78 [27].

Персонал может работать только в рабочей одежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должен быть запас сырья, не превышающий сменный спрос. Вы должны знать конкретные характеристики используемых веществ и соблюдать установленные правила, связанные с ними. Производственный процесс должен быть организован таким образом, чтобы предотвратить попадание пыли и вредных веществ в воздух в рабочей зоне. Все работающее электрооборудование должно соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электрооборудования потребителя» и других нормативных документов. Не используйте электрооборудование без заземления. Согласно действующим стандартам помещения опытно-производственной лаборатории оснащены основным оборудованием пожаротушения. Все сотрудники должны иметь возможность использовать противопожарное оборудование и оказывать первую медицинскую помощь в случае аварии. Запрещено портить рабочие места, тротуары, выходы из помещений и зданий, а также противопожарное оборудование.

## 5.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [28]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 28.

Таблица 28 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [38] ГОСТ 12.1.005-88 [39]
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [40] ГОСТ 12.1.029-80 [41] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [42]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [43] СП 52.13330.2016 [44]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [45] ГОСТ 12.1.038-82 [46]
5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания		+		ГОСТ 12.1.005-88 [39] ГН 2.2.5.3532-18 [47] СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4 [38]

### 5.2.1 Анализ показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 29.

Таблица 29- Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая на рабочих	оптимальная, не	допустимая на рабочих

		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		посто- - янные х	не- посто- - янные х	пос- тоян- -ных	не- посто- - янные х				
Холод- ный	22 - 24	25	26	21	18	40 - 60	75	0, 1	Не боле е 0,1
Теплы й	23 - 25	28	30	22	20	40 - 60	55 (при 28°C )	0, 1	0,1- 0,2

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека - не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточный, постоянный и равномерный нагрев воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистому воздуху следует использовать горячую воду. Параметры микроклимата в используемой комнате управления регулируются системой центрального отопления и имеют следующие значения: влажность -40%, скорость воздуха -0,1, температура летом -20 ... 25 °С, зима -13 ... 15 °С. В лаборатории искусственная вентиляция.

### **5.2.2 Анализ чрезмерного загрязнения воздушной среды в зоне дыхания**

В лабораторий по изготовлению прессованных заготовок используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Содержа-

ние вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Величина ПДК и другие нормативы представлены в таблице 30.

Таблица 30- Гигиенические нормативы

Наименование вещества	Величина ПДК, (мг/м <sup>3</sup> ) *	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Оксид иттрия	6	а	4	Ф
Диоксид циркония	6	а	4	Ф
Оксид алюминия	6	а	4	Ф

а - аэрозоль,

4 - вещества мало опасные, в соответствии с классификацией [29].

Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

\*Предельно допустимая концентрация аэрозолей в воздухе рабочей зоны (в том числе и для аэрозолей в сумме) не должна превышать 10 мг/м<sup>3</sup>

Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия – производственная пыль способная вызывать пылевые заболевания легких, основными из которых являются силикозы, пылевые бронхиты, пневмокониозы. Самым действенным способом защиты организма от воздействия АПФД являются средства индивидуальной защиты и профилактическое питание. При аттестации рабочих мест определяется концентрация АПФД в воздухе рабочей зоны, а также обеспеченность работника СИЗ и профилактическим питанием (молоком).

Средствам индивидуальной защиты относят респираторы (противогазы), перчатки, очки, специальная противопылевая одежда, защитные пасты и мази.

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория. Рабочая зона снабжена вытяжной вентиляцией.

### 5.2.3 Анализ показателей шума и вибрации

Нормативы по шуму установлены в ГОСТ-12.1.003-2014 [31] в СН2.2.4/2.1.8.562-96 [32] (таблица 31).

Таблица 31- Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Одним из инструментов, который генерирует шум в лаборатории, является ультразвуковая очистка.

ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливает уровень звукового давления и эквивалентные уровни звука на рабочем месте компаний-производителей в диапазоне частот 31,5-8000 зависит от тяжести и интенсивности труда уровень звука герц и эквивалентный уровень звука на рабочем месте производственное оборудование -70дБА. Непрерывный шум > 85дБА. Согласно нормативным документам СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-2014, вызывая непрерывный рост порога слуха, профессиональные заболевания (глухота, потеря слуха) для увеличения крови стресс, чтобы уменьшить скорость реакции и внимание.

Если уровень шума превышает нормальный уровень, необходимо принять меры в соответствии с [33], чтобы уменьшить уровень шума, чтобы избежать вреда для людей от шума: 1. Звукоизоляционные и звукопоглощающие элементы 2. Личные средства защиты.

## 5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

Работая в плохом качестве или в условиях низкой освещенности, люди будут чувствовать усталость глаз и усталость, что приведет к снижению трудоспособности. В некоторых случаях это может вызвать головную боль. Во многих случаях причина заключается в том, что уровень освещения слишком низкий, слепящий эффект источника света и неравномерный баланс яркости на рабочем месте. Импульсы освещения также могут вызывать головные боли, в основном из-за использования электромагнитных балластов для газоразрядных ламп с рабочей частотой 50 Гц.

Освещение на рабочем месте должно соответствовать характеру визуальной работы: равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней, количество освещения постоянно во времени (без пульсации луча), лучшая направленность и большая часть луча. Хороший спектральный состав, все элементы осветительной установки должны быть долговечными, безопасными от взрыва, пожара и электричества.

В таблице 32 перечислены стандарты освещения для научно-технических лабораторий в соответствии с [34], в том числе физические, ступенчатые и спектральные.

Таблица 32- Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение КЕО ед, %		Совмещенное освещение КЕО ед, %		Искусственное освещение				
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации и освещенности, КЕО ед, %, не более	
					при комбинированном освещении	при общем освещении			всего
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	40	10

Изучение керамических характеристик и структуры требует освещения низкой точности. В таблице 33 перечислены различные типы спецификаций освещения для промышленных объектов с визуальной работой пятой категории [35].

Таблица 33- Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории IVг)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	UGR, не более	Кп, %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

Лаборатория расположена на цокольном этаже – нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами.

По нормам освещения и отраслевым нормам освещения в помещении при работе с ПК рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении.

Определим количество светильников, необходимое для освещения лаборатории при  $E = 300$  лк. Общее освещение осуществляется светильниками ARS/R. Оптическая часть светильника ARS/R включает в себя экранирующую решетку, которая выполнена из зеркального алюминия и монтируются к корпусу посредством скрытых пружин. В одном светильнике 4 ЛЛ мощностью по 18 Вт.

- Световой поток лампы – 1150 лм.
- Коэффициент отражения потолка – 70%, стен – 50%, пола – 10%.

Помещение имеет размеры:

- 1) Длина  $A = 8$  м;
- 2) Ширина  $B = 5$  м;

3) Высота  $H = 3.2$  м.

Площадь помещения таким образом составит:

$$S = 5 \times 8 = 40m^2$$

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны:  $q_{п} = 70 \%$ ,  $q_{с} = 50 \%$ ,  $q_{з} = 10 \%$ . Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$H = h - h_{п} - h_{с},$$

$$H = 3.2 - 0.73 - 0 = 2.47 \text{ м},$$

где  $h$  – высота потолков, м;

$h_{с}$  – расстояние от светильника до потолка, м (при высоте помещения менее пяти метров принимается равной 0 м);

$h_{п}$  – высота рабочей поверхности над уровнем пола, м (принимается равной 0,73 м).

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет  $\lambda = 1,4$ . Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3.2 = 4,48 \text{ м}.$$

Число рядов светильников:

$$n = B/L = 5/4,48 = 1,12,$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

Выбираем  $n = 1$  ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{40}{1 \cdot (5 + 8)} = 1.25$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = \frac{q_{п} + q_{с} + q_{з}}{3} = 43\%$

Их количество рассчитывается по следующей формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_l},$$

где  $E$  – требуемая горизонтальная освещенность, лк;

-  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;

-  $K_3$  – коэффициент запаса;

-  $U$  – коэффициент использования;

-  $\Phi_l$  – световой поток одной лампы, лм;

Коэффициент запаса зависит от степени загрязнения помещения, частоты технического обслуживания светильника, интенсивности эксплуатации светильников и принимает значения от 1, до 2. Для чистых помещений с трехгодичным циклом обслуживания равен 1,5.

Для  $r_p = 70\%$ ,  $r_c = 50\%$ ,  $U = 0,54$ .

Подставим результаты в формулу:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_l},$$

для количества светильников получим:

$$N = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1,5}{0,54 \cdot 4 \cdot 1150} \approx 8$$

Таким образом, количество светильников ARS/R, необходимое для освещения лаборатории при  $E = 300$  лк равно 8.

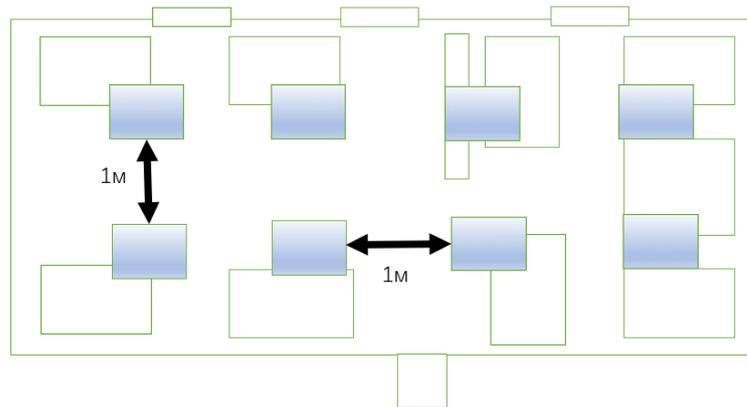


Рисунок 8- План размещения светильников

### 5.2.5 Анализ электробезопасности

Наибольшую опасность при эксплуатации электрооборудования и проведении ремонтных и профилактических работ представляет собой поражение электрическим током, вызванное токоведущими частями и соединениями с токоведущими частями оборудования.

В соответствии с условиями поражения электрическим током опасности поражения электрическим током нет, и лабораторная комната относится к первой категории, в этом случае нет условий, которые увеличивали бы опасность или особую опасность.

Причину поражения электрическим током необходимо устранить.

Меры, принятые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) Под руководством всего персонала, который начинает использовать электрооборудование на рабочем месте, они могут работать самостоятельно только после проверки знаний техники безопасности;

б) постоянно контролировать качество и ремонтпригодность защитных устройств и заземления и использовать только защитные устройства для ремонта и регулировки существующих электрических устройств;

с) Эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимых технических документов, обеспечение невозможности прикосновения к токоведущим частям, заземление корпусов оборудования и электрооборудования.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В этом разделе рассматривается характер воздействия предлагаемого решения на окружающую среду. Вы всегда должны учитывать проектируемое решение и то, как вещества и материалы, используемые для его создания, влияют на атмосферу, гидросферу и литосферу, и предлагать решения для обеспечения экологической безопасности.

Поскольку для изготовления керамики из диоксида циркония требуется прессование, шлифование, полировка, спекание и ряд механических операций, серьезной проблемой является энергопотребление оборудования. Это неизбежно приведет к общему увеличению энергопотребления. Чтобы удовлетворить спрос на электроэнергию, необходимо увеличить мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушениям условий окружающей среды, поскольку электростанции используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных веществ в атмосферу.

Эта проблема является глобальной. Сегодня многие страны ввели альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Другим способом решения этой проблемы является использование энергосберегающих систем. Установите аппарат в автоматический режим ожидания, когда он не используется, для экономии энергии.

Для эксперимента по исследованию керамики из диоксида циркония при приготовлении порошка диоксида циркония, легированного иттрием, будут образовываться вредные газы, которые должны быть собраны и переданы специалистам для надлежащей утилизации.

На этапе исследования образуются твердые отходы: образцы, бумага для взвешивания, использованные перчатки и салфетки. Порошковые материалы,

попадающие в почву, могут вызвать изменения в их составе, что может оказать негативное влияние на местные организмы. Утилизация опасных твердых отходов должна осуществляться в соответствии с действующим законодательством.

Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета, и указываются следующие этапы:

Правильное завершение поведения списания указывает на то, что невозможно выполнить дальнейшие операции, перечисленные в поведении измерительного оборудования, и для этого существует акт технического осмотра;

Поскольку предприятие может быть утилизировано только после окончательного аннулирования, измерительное оборудование, указанное в счете, списывается с баланса предприятия, а инструкции приводятся в бухгалтерском отчете.

Откажитесь от измерительного оборудования напрямую, полностью разберите оборудование на части, а затем классифицируйте его по типу материала и передайте его на перерабатывающий завод.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация - это сочетание опасных событий или явлений, которые угрожают безопасности.

Основными причинами чрезвычайных ситуаций являются:

1) Внешние технические продукты, вода, стихийные бедствия, неожиданные отключения электроэнергии и т.д. ;

2) Внутренне-техническая сложность, недостаточная квалификация персонала, конструктивные дефекты, физическое и моральное износ оборудования, снижение трудовой и технической дисциплины и т. Д.

Наиболее вероятной технической аварийной ситуацией в лаборатории является пожар

В лаборатории наиболее вероятно возникновение технической аварийной ситуации (ЧС). Если в лаборатории возникает чрезвычайная ситуация, необходимо принять следующие меры:

- 1) Необходимо эвакуировать персонал или персонал приюта с защитными средствами;
- 2) обеспечить людей средствами индивидуальной защиты;
- 3) Организовать медицинскую помощь пострадавшим.

### **5.5. Пожарная безопасность**

Под огнем понимается неконтролируемое горение за пределами специального центра, приводящее к материальным потерям. Согласно [36], понятие пожарной безопасности относится к состоянию объекта, где выявленная возможность исключает возможность пожара и пожара и подвергает персонал воздействию опасных факторов пожара, а также защищает материальные ценности.

В зависимости от степени пожара лабораторное помещение относится к категории П-2, поскольку в его суспензии содержатся пыль и волокна [37].

При использовании электронного оборудования возможен пожар из-за электрических и неэлектрических свойств.

Причины неэлектрических пожаров:

- а) Неосторожная пожарная обработка (курение, автоматическое отопление, использование открытого огня);
- б) Самовозгорание и самовозгорание вещества.

Причины электрических пожаров: короткие замыкания, перегрузки по току, искры и дуги, статическое электричество и т. Д.

Чтобы устранить причину пожара в лаборатории, необходимо принять следующие меры:

- а) персонал лаборатории должен принять пожарную инструкцию;

б)Требовать от работников знать местонахождение устройств пожаротушения и уметь их использовать;

в)необходимо обеспечить правильную термическую и электрическую работу оборудования;

г)Противопожарное оборудование и основное противопожарное оборудование должны содержаться в хорошем состоянии и в видимом и легкодоступном месте.

В лаборатории имеется 2 огнетушителя ОУ-2, предназначенных для тушения различных веществ и материалов, кроме щелочноземельных металлов и электроустановок напряжением до 1000 В. При тушении электрооборудования под напряжением колпак не должен быть близко к электрооборудованию и к пламени, а расстояние не должно превышать 1 метра.

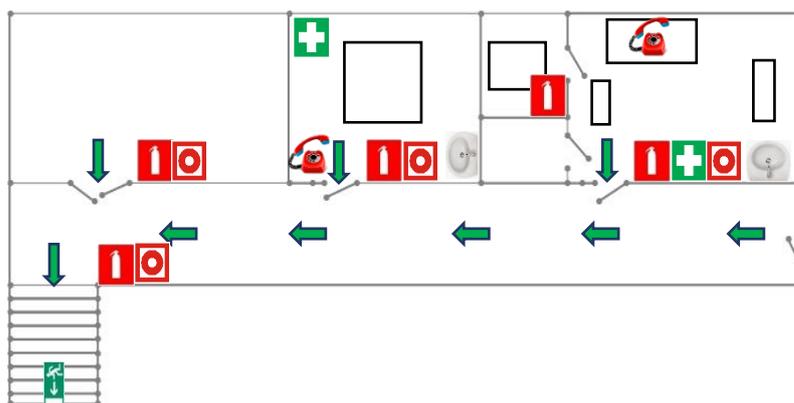


Рисунок 9- План эвакуации

### Выводы по разделу

После проведения научной деятельности нам следует обратить внимание на неблагоприятные факторы, которые могут нанести вред физическому и психическому здоровью людей, загрязнить окружающую среду и даже вызвать серьезные потери имущества, такие как шум, вредные вещества, пожары и так далее. Мы должны быть полностью готовы к тому, чтобы предотвратить эти вещи:

1. Для микроклимата мы должны контролировать влажность в помещении, температуру и скорость воздуха.
2. Для шума, мы должны заранее подготовить звукоизоляционные инструменты.
3. При недостаточном освещении необходимо подготовить достаточное количество света для соответствия стандартной яркости.
4. В случае пожара должно быть подготовлено противопожарное оборудование, не должно быть препятствий для эвакуации, и персонал должен регулярно обучаться знаниям, связанным с пожаром.
5. В целях экологической безопасности с опасными веществами следует обращаться надлежащим образом, чтобы предотвратить загрязнение, а также экономить потребление электроэнергии.

## **6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА**

1. К. Янь, Х. Си, А.Н. Мусаев. Изотермическое уплотнение предварительно спеченных образцов ATZ // Сборник докладов: XVIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» 2021 г. - В печати

## 7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sequeira S. и др. Development and characterization of zirconia–alumina composites for orthopedic implants // *Ceram. Int.* Elsevier – 2017. – Vol. 43. – P. 693 – 703.
2. Ramesh S., Sara Lee K.Y., Tan C.Y. A review on the hydrothermal age – behaviour of Y-TZP ceramics // *Ceram. Int.* Elsevier Ltd and Techna Group S.r.l – 2018. – Vol. 44. – P. 20620 – 20634.
3. Podzorova, L.I., Ilyicheva, A.A., Penkova, O.I., Aladyev, N.A., Baikin, A.S., Konovalov, A.A., Morokov, E.S. Disperse hardening of composites of the aluminum oxide system and tetragonal zirconia stabilized by cerium cations // *Steklo i keramika* – 2017. – Vol. 6. – P. 16 – 20.
4. Seo, J., Oh, D., Kim, D., Kim, K., Kwon, J. Enhanced mechanical properties of ZrO<sub>2</sub>– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dental ceramic composites by altering Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> form // *Dental Materials* – 2020. – Vol. 36. – P. 117 – 125.
5. Hussainova, I., Drozdova, M., Perez -Coll, D., Rubio -Marcos, F., Jasiuk, I., Soares, J. A. N. T., Rodriguez, M.A. Electroconductive composite of zirconia and hybrid graphene/ alumina nanofibers // *Journal of the European Ceramic Society* – 2017. – Vol. 37. – P. 3713 – 3719.
6. N.T. Mc Devitt, D.L. Braun. Metastable zirconia (tetragonal and cubic) // *J. Am. Ceram. Soc* – 1964. – Vol. 47. – P. 622 – 624.
7. J.E. Bailey, P.M. Bills, D.A. Lewis. Phase stability in hafnium oxide powder // *J. Br. Ceram. Soc* – 1975. – Vol. 74. – P. 25.
8. R.C. Garvie. The occurrence of metastable tetragonal zirconia as a crystallite size effect // *J. Phys. Chem* – 1965. – Vol. 69. – P. 1238.
9. Yu M. Polezhaev. Low temperature cubic and tetragonal form of zirconium dioxide // *Physical chemistry journal* – 1976. – Vol. 41. – P. 2958 – 2959.
10. V.P. Chalyi. Hydroxides of Metals // *SA УССР. Интобщей и неорган. Химии* – 1976. – P. 154.

11. A.V. Maletsky. Structure formation and properties of corundum ceramics based on metastable aluminium oxide doped with stabilized zirconium dioxide // *Ceramics International* – 2021. – Vol. 41. – P. 1 – 2.
12. T. Mitsuhashi, M. Ichihara, U. Tatsuke, Characterization and stabilization of metastable tetragonal  $ZrO_2$  // *J. Am. Ceram. Soc* – 1971. – Vol. 57. – P. 97.
13. Garvie R C, Hannink R H, Pascoe R T. Ceramic steel. // *Nature* – 1975. – Vol. 258. – P. 703 – 704.
14. Kisi E H, Howard C J. Crystal Structures of Zirconia Phases and their Inter-Relation. *Key Eng. Mater* – 1975. – Vol. 153. – P. 1 – 36.
15. Wolton G M. Diffusionless Phase Transformations in Zirconia and Hafnia // *J. Am. Ceram. Soc* – 1963. – Vol. 46. – P. 418-422
16. Claussen N. Transformation-Toughened Ceramics // *Ceramics in Advanced Energy Technologies* – 1984. – P. 51-86.
17. Kobayashi K, Kumajima H, Masaki T. Phase change and mechanical properties of  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  solid electrolyte after ageing // *Solid State Ionics* – 1981. – Vol. 3. – P. 489-493.
18. Nogiwa-Valdez A A, Rainforth W M. Wear and degradation on retrieved zirconia femoral heads // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*– 2014. – Vol. 31. – P. 145-151.
19. D.M. Wilson, L.R. Visser. High performance oxide fibers for metal and ceramic composites // *Composites: Part A* – 2001. –Vol. 32. – P.1143 – 1153.
20. Ивенсен В.А. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. Москва: *Металлургия*, 1985. 247 с.
21. ISO standard 13356:2008. Implants for surgery: ceramic materials based on yttria-stabilized tetragonal zirconia (Y-TZP). Geneva, Switzerland: ISO. Available at: <http://www.iso.ch/iso/en/prods-services/ISOstore/store.html> (Last accessed September 22, 2014).
22. Tolkachev O.S. et al. Assessment of the hydrothermal resistance of y-tzp ceramics by the degree of tetragonality of major phases // *Lett. Mater.* 2020. Vol. 10, № 4.

23. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
24. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
25. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
26. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
27. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
28. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
29. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).
31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).
32. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (дата введения: 08.05.2017).
33. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).
34. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
35. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (дата введения: 13.02.2018).

36. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения (дата введения: 01.07.1982)
37. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 10.07.2012 N 117-ФЗ (последняя редакция)
38. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
39. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
40. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
41. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
42. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).
43. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).
44. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (дата введения: 08.05.2017).
45. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).
46. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
47. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (дата введения: 13.02.2018)