

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Создание композиционных керамических материалов на основе $\text{BaTiO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$

УДК: 666.3:661.882'027'43

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Чэнь Юн		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Мельников А. Г.	к.т.н доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Лямина Г.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2022 г.

**Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно- коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в

	области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	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
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	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
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	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
ДПК (У)-2	Готов реализовывать технологии производства объемных наноматериалов и изделий на их основе, включая технологии получения и предварительной подготовки сырья

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

УТВЕРЖДЮ:
 Руководитель ООП
 Лямина Г.В.
 «22» мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Чэнь Юн

тема работы:

Создание композиционных керамических материалов на основе $\text{BaTiO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №32–49/с от 01.02.2022
--	--------------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022г
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Целью данной работы является изучение влияния добавок Al_2O_3 , ZrO_2 и Fe_2O_3 на улучшение структуры и свойств композиционной керамики на основе титаната бария.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка порошковой смеси на основе титаната бария в соответствии с порошком 2. Перемолоть порошок каждой пропорции через шаровую мельницу в течение 15, 30, 45 минут; 3. Спрессование порошки в диски

	с помощью гидравлического пресса. 4. Спекание порошки при 1300°C в течение 1 часа и 2 часов. 5. Рассчитание изменения плотности образца до и после спекания. 6. Анализ структуры и свойств образцов 7. Анализ социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережению
Перечень графического материала	График, рисунок, таблицы применяемых в работе
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Мельников А. Г.	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Чэнь Юн		

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Чэнь Юн

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, выполнение SWOT-анализа, определение альтернатив выполнения НИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

28.02.22 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Чэнь Юн		28.02.22

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
154Б82		Чэнь Юн	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Создание композиционных керамических материалов на основе $BaTiO_3 - Al_2O_3 - ZrO_2$	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p>	<p>Объект исследования керамика, электрическая прочность керамики Область применения керамический изолятор для импульсного ускорителя заряженных частиц, медицинское оборудование. Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения климатическая зона 8·6 м² Количество и наименование оборудования рабочей зоны шаровая мельница Активатор «2SL», весы CAS MWP-300, сито, вытяжная система; ПЭВМ; Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне взвешивание, перемешивание и размол порошков, измерение характеристик порошков и спрессованной керамики, статистическая обработка данных</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022). – ГОСТ 12.2.007.0–75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности; – ГОСТ Р 50923–96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения; – ГОСТ 10141–91 Мельницы стержневые и шаровые

мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	Вредные производственные факторы: <ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение уровня шума. 2. недостаток необходимого искусственного освещения. 3. факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов 4. Факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Воздействие на литосферу: оседание взвешенных частиц порошков на территории лаборатории; Воздействие на гидросферу: сброс суспензий в канализацию, в сточные воды; Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентрации аэрозолей частиц порошков.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154682	Чэнь Юн		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное
 государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ»**

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

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)
01.04.2022	Литературный обзор	20
21.04.2022	Экспериментальная часть	20
21.05.2022	Обсуждение результатов и оформление работы	35
10.05.2022	Финансовый менеджмент	15
10.05.2022	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Мельников А. Г.	к.т.н доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ, ИШНПТ	Лямина Г.В.	К.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 85 с., 31 рис., 23 табл., 41 источников.

Объектом исследования является композитный керамический образец на основе титаната бария с добавлением оксидов различного содержания.

Цель работы: изучение влияния добавок Al_2O_3 , ZrO_2 и Fe_2O_3 на улучшение структуры и свойств композиционной керамики на основе титаната бария.

В результате исследований были разработаны оптимальные режимы получения керамических материалов с высокими свойствами:

- для смеси с 10-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°C и время спекания 2 часа.
- для смеси с 20-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 15 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°C и время спекания 2 часа.
- для смеси с 30-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 30 минут, давление прессования 2 Мпа, температура спекания 1300°C и время спекания 2 часа.

Область применения: электроника и микроэлектроника (датчики, исполнительные механизмы, конденсаторы), биомедицина (имплантаты).

Ключевые слова: титанат бария, спекание, обработка, прессование, керамика, Al_2O_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , плотность.

Обозначения и сокращения

ВКР – выпускная квалификационная работа

AZF-($ZrO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$)-Комбинация из трех добавок

ПЭВМ-Персональный компьютер

Содержание

Введение	15
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	17
1.1 Структура и свойства титаната бария	17
1.2 Применение титаната бария	18
1.3 Свойства оксида алюминия	18
1.4 Свойства и структура ZrO_2	19
1.5 Свойства Fe_2O_3	20
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	21
2.1. Объекты исследования	21
2.2 Электрофизические испытание образцов керамики	26
ГЛАВА 3. Результаты и обсуждение	28
Вывод	39
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	41
Введение	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	42
4.1.2 SWOT-анализ	45
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	49
4.3 Бюджет научно-технического исследования	53
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	54
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	54
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	56
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	58
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58
4.3.6 Накладные расходы	59
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	60
Выводы по разделу	63
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	65
Введение	65
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
5.2 Производственная безопасность	69
5.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов	69
5.2.3 Расчет освещенности помещения ВКР	72
5.3 Экологическая безопасность	75
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78

Выводы	80
Список использованных источников	82

Введение

Титанат бария (ТБ), обладающий превосходной диэлектрической, сегнетоэлектрической, пьезоэлектрической и нетоксичной природой, является одним из наиболее изученных керамических материалов со структурой перовскита, имеющей общую формулу ABO_3 . Это отличный кандидат для различных приложений, таких как конденсаторы, термисторы, датчики, оптоэлектронные элементы, многослойные конденсаторы, полупроводники и устройства накопления энергии [[1], [2], [3], [4],[5]]. Тем не менее, мировой спрос на производство, распределение и хранение электроэнергии становится критическим вопросом, а это означает, что необходимо приложить гораздо больше усилий для создания более эффективных решений. Поэтому легирование ТБ в последнее время привлекло внимание.

$BaTiO_3$ имеет четыре термодинамически стабильные модификации. При комнатной температуре это тетрагональная фаза, а при температурах выше $120-130^\circ\text{C}$ она переходит в кубическую модификацию[6]. При понижении температуры превращение тетрагонального $BaTiO_3$ в орторомбический происходит при 0°C , а из орторомбического в ромбоэдрический – при -90°C .

Добавление в сырье таких компонентов, как Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , SrO или ZrO_2 [7], [8], [9], [10], [11],[12] может привести к понижению температуры перехода. При кристаллизации эти соединения могут внедряться в кристаллы $BaTiO_3$, что может привести к стабилизации кубической фазы, предотвращению сегнетоэлектрического/параэлектрического перехода даже для более крупных кристаллов $BaTiO_3$ и изменению механизма проводимости. В зависимости от валентности и ионных радиусов легирующих элементов возможны замены либо в позициях Ba^{2+} , либо в позициях Ti^{4+} , которые очень по-разному влияют на физические свойства.

Поэтому имеет смысл добавлять оксиды в керамику на основе титаната бария.

Цель работы:

Основной целью данной работы является изучение влияния добавок Al_2O_3 , ZrO_2 и Fe_2O_3 на улучшение структуры и свойств композиционной керамики на основе титаната бария.

Задачи:

1. Подготовка порошковой смеси на основе титаната бария в соответствии с заданным составом.

2. Перемолоть порошок каждой пропорции через шаровую мельницу в течение 15, 30, 45 минут;

3. Прессование порошков в диски с помощью гидравлического пресса.
4. Спекание порошков при 1300°C в течение 1 часа и 2 часов.
5. Расчёт изменения плотности образца до и после спекания.
6. Анализ структуры и свойств образцов

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Структура и свойства титаната бария

$BaTiO_3$ уже много лет представляет технологический интерес благодаря своим сегнетоэлектрическим свойствам при температуре ниже $125\text{ }^\circ\text{C}$ (энергонезависимая сегнетоэлектрическая память), пьезо- и пироэлектричеству (гидролокатор, детекторы, костные имплантаты), а также высокой диэлектрической проницаемости и низким диэлектрическим потерям (конденсаторы, термисторы)[13].

Главными характеристиками керамики, полученной на основе титаната бария, являются биосовместимость, высокая твёрдость, изолирующие свойства теплоты и электричества, термическая и коррозионная стойкость.

Например, одним из недостатков ограничения использования керамики в медицине является ее хрупкость и ломкость[14].

Титанат бария имеет несколько модификаций. В параэлектрическом состоянии он обладает кубической структурой, элементарная ячейка перовскитной решетки показана на рисунке 1.

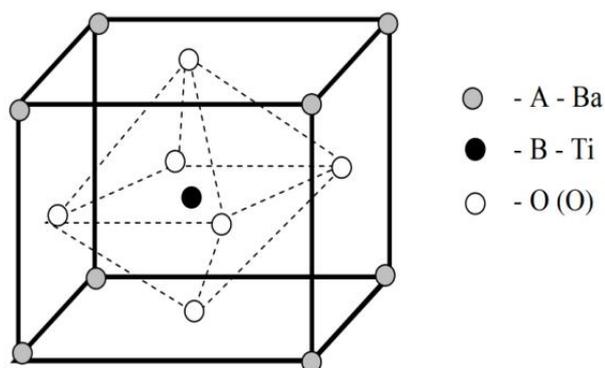


Рисунок 1 - Элементарная кристаллическая ячейка $BaTiO_3$

В центре куба расположен атом Ti , в вершинах – атомы Ba , а в центре каждой грани – атомы O_2 . При таком расположении атомов в элементарной ячейке «центр тяжести» положительных и отрицательных зарядов совпадает, и дипольный момент ячейки равен нулю. Эта фаза является неполярной фазой. В параэлектрической фазе в $BaTiO_3$ нет «готовых» дипольных моментов. При температуре несколько выше $100\text{ }^\circ\text{C}$ в $BaTiO_3$ происходит фазовый переход, и структура становится тетрагональной. Тетрагональная элементарная ячейка получается в результате искажения кубической ячейки: одно ребро куба удлиняется и становится тетрагональной осью; два других ребра сокращаются, но остаются равными друг другу по размерам. Это искажение кубической ячейки схематически показано на рисунке 2

(б).

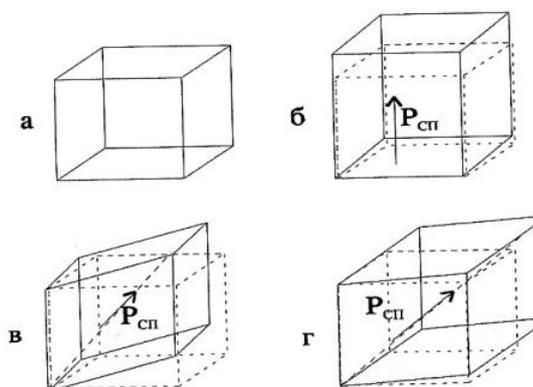


Рисунок 2 - Элементарные ячейки четырех фаз кристалла титаната бария. а) кубическая, б) тетрагональная, в) ромбическая, г) ромбоэдрическая

Атомы титана в этой структуре имеют два положения равновесия вдоль тетрагональной оси, что пределяет появление дипольного момента элементарной ячейки. Таким образом, направление полярности параллельно тем или иным ребрам кубической ячейки. Поэтому в тетрагональной фазе возможны шесть направлений поляризации[15].

1.2 Применение титаната бария

В настоящее время $BaTiO_3$ предлагает широкий спектр применений, таких как конденсаторы, датчики, исполнительные механизмы, устройства передачи энергии, устройства памяти и накопители высокой энергии[16].

Кроме того, титанат бария не цитотоксичен, поэтому является идеальным кандидатом для биомедицинских применений, включая имплантаты *in vivo*, имплантируемые датчики давления и имплантаты слуховых аппаратов [[17],[18]]. Также пьезоэлектрические устройства могут обеспечивать сбор энергии от движения органов, создавая автономные кардиостимуляторы[19], и способствовать регенерации тканей с помощью дистанционной не уклоняющейся стимуляции. Для этих приложений *in vivo* требуются миниатюрные компоненты в виде тонких пленок[20].

1.3 Свойства оксида алюминия

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.

1.4 Свойства и структура ZrO_2

Диоксид циркония характеризуется высокой температурой плавления ($2700\text{ }^\circ\text{C}$). По сравнению с металлами циркониевая керамика обладает хорошей обрабатываемостью, высоким качеством поверхности и низким коэффициентом трения. Особенностью диоксида циркония является наличие обратимых полиморфных превращений. Диоксид циркония существует в трех модификациях - моноклинной, тетрагональной и кубической:

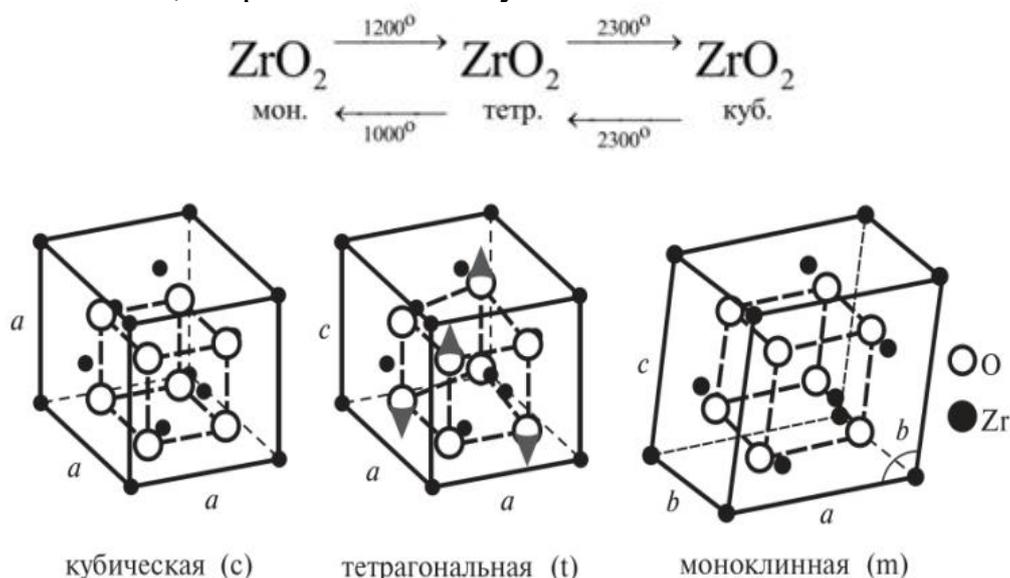


Рисунок 3- Схематические диаграммы трех кристаллических форм ZrO_2 и соответствующих пространственных групп (a) кубическая фаза, (b) тетрагональная фаза (и (c) моноклинная фаза

До $1200\text{ }^\circ\text{C}$ - устойчивая моноклинная модификация. Выше $1200\text{ }^\circ\text{C}$ моноклинная форма ZrO_2 переходит в тетрагональную, при этом происходит объемное сжатие на $7,7\%$. При охлаждении до температуры около $1000\text{ }^\circ\text{C}$ совершается обратный переход из

тетрагональной в моноклинную форму, но уже с объемным расширением на 7,7 %. Кривая термического расширения диоксида циркония, как можно увидеть на рис. 4., представляет собой петлю гистерезиса.

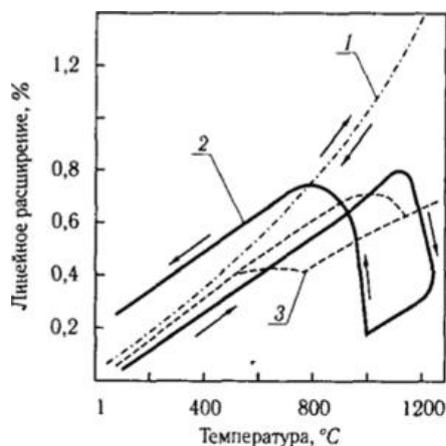


Рис. 4. Термическое расширение диоксида циркония моноклинного нестабилизированного (1), стабилизированного (2) и полностью стабилизированного (3). Стрелками отмечено направление процесса нагрева и охлаждения

1.5 Свойства Fe_2O_3

Оксид железа применяется в качестве сырья при выплавке чугуна в доменном процессе, компонент керамики, цветных цементов и минеральных красок, при термитной сварке стальных конструкций, как носитель аналоговой и цифровой информации (например, звука и изображения) на магнитных лентах, в медицине используется в медицине для лечения легкого зуда.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Объекты исследования

В качестве основных материалов для изготовления керамики использовали коммерческие порошки компании ООО НПП «Химметпродукт»: BaTiO_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 . В роли активирующих добавок были такие промышленные порошки ZrO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 , имеющие субмикронные размеры. Порошки добавляли к BaTiO_3 . В ходе работы определяли состав $\text{BaTiO}_3\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ для дальнейшей работы, также выбирали пропорции добавок в соотношении каждого вещества.

Составы смесей порошков и теоретическая плотность приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы смесей порошков и теоретическая плотность.

№	Содержание, мас. %	Теоретическая плотность ρ , г/см ³
1	40% BaTiO_3 – 20% Al_2O_3 – 20% ZrO_2 – 20% Fe_2O_3	5,25
2	70% BaTiO_3 – 10% Al_2O_3 – 10% ZrO_2 – 10% Fe_2O_3	5,61
3	10% BaTiO_3 – 30% Al_2O_3 – 30% ZrO_2 – 30% Fe_2O_3	4,94

измельчения проб, достижения равномерной плотности и получения высокодисперсного порошка.

Мелющие тела представляют собой диоксидциркониевые шары. Масса шаров составляет 290 граммов с диаметром 6 мм. Весовое соотношение порошка к шарам составляет 1:5.

Таким образом, на данном этапе получили 9 порошков керамики от трёх составов (таблица 1), каждый из которых обрабатывался разное время (15, 30, 45 мин) в планетарной шаровой мельнице.



Рис. 6. Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»

Обработанные композиции $\text{BaTiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ просеивали через сито № 0900 для отделения шаров и частичной грануляции порошков, с целью получения фракции $<0,9$ мм.

Подготовленную таким образом порошковую композицию подвергали прессованию. Формирование образцов керамики для дальнейшего спекания проводили по схеме одноосного прессования на гидравлическом прессе в стальной цилиндрической форме диаметром 23 мм (рисунок 7,8). С целью определения влияния давления прессования на геометрические параметры прессуемых керамик и их плотности образцы прессовали до 2 МПа, 2,5 МПа и 3 МПа.

Масса готовых спрессованных образцов керамики составляла 3 грамма. После обработки в планетарной шаровой мельнице 9 порошков керамики сформировали тремя заданными давлениями прессования. Полученные прессовки представляли собой цилиндры диаметром 23 мм и высотой 3 мм.



Рисунок 7. Пресс-форма



Рисунок 8. Гидравлический пресс

Для свободного атмосферного спекания образцов использовали высокотемпературную лабораторную электропечь ТК-27 (рисунок 9) по режиму. Спекание спрессованных образцов проводили при температурах 1300°C , выдержка составляла соответственно 1 и 2 ч., скорость изменения температуры в печи $200^{\circ}\text{C}/\text{час}$.



Рисунок 9. Высокотемпературная электропечь ТК-27

Расчеты насыпной плотности композиций проводили весовым методом. Метод предполагает использование воронки, цилиндра объема и веса для проведения измерений. Материал засыпается в воронку, из которой он поступает в цилиндр. Когда емкость полностью заполняется, верхний слой выравнивается с помощью специальной пластины. Затем порошок взвешивают и вычисляют отношение массы к объему.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

2.2 Электрофизические испытание образцов керамики

Испытание электрической прочности полученных образцов керамики производились на установке, разработанной в лаборатории согласно ГОСТ 6433.3–71 [ГОСТ 6433.3–71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении]. Установка проектировалась с максимально похожими электрическими характеристиками импульсного ускорителя. Данная установка нужна для получения максимально подходящего по параметрам керамического изолятора (рисунок 10).

Требуемые параметры к испытательной установке:

- Образец помещается в трансформаторное масло.
- Импульсы с фронтом $\tau_1 = 40$ нс
- Частота следования импульсов - $\leq 10^3$ Гц.

- Амплитуда импульсов - ≤ 12 кВ;
- Испытания завершаются в момент пробоя образцов.

Количество подаваемых на образец импульсов определяется по времени;

- Для каждого образца фиксируется осциллограмма приложенного напряжения;



Рис.10 Установка для испытаний керамической изоляции

ГЛАВА 3. Результаты и обсуждение

Электрические свойства титаната бария связаны с плотностью. Добавление других оксидов для увеличения его плотности может улучшить его электрические свойства и уменьшить диэлектрические потери.

Изменения насыпной плотности после различного времени обработки в шаровой мельнице представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Насыпная плотность образцов после обработки в шаровой мельнице с различным временем обработки

Содержание добавки, %	$\rho_0, \text{г/см}^3, 0$ мин	$\rho_1, \text{г/см}^3, 15$ мин	$\rho_2, \text{г/см}^3, 30$ мин	$\rho_3, \text{г/см}^3, 45$ мин
AZF-10%	1.43	1.07	1.002	0.99
AZF-20%	1.36	1.07	1.19	1.21
AZF-30%	1.50	1.19	1.388	1.392

ρ_0 - исходная насыпная плотность композиций

ρ_1 -насыпная плотность после обработки в шаровой мельнице в течение 15 минут

ρ_2 - насыпная плотность после обработки в шаровой мельнице в течение 30 минут

ρ_3 - насыпная плотность после обработки в шаровой мельнице в течение 45 минут

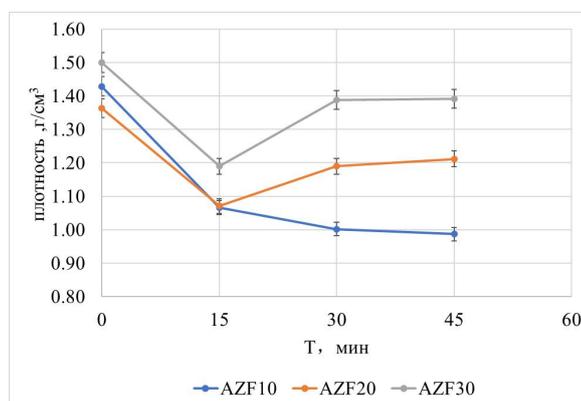


Рис.11. Изменение насыпной плотности порошков при различном времени обработки в шаровой мельнице

На рисунке 11 представлены зависимости изменения насыпной плотности от времени обработки. Из рисунка видно, что увеличение времени обработки приводит к снижению насыпной плотности при обработке в течение 15 минут всех составов порошков. Дальнейшее

повышение времени обработки по-разному влияет на насыпную плотность смесей. Снижение содержания титаната бария в смеси приводит к повышению насыпной плотности при увеличении времени обработки.

Увеличение содержания хрупких частиц оксидов ZrO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 приводит к образованию более мелких частиц, чем у композиции с большим содержанием титаната бария. Более мелкие частицы при увеличении времени обработки начинают коагулировать и объединяться в гранулы, что и вызывает увеличение насыпной плотности.

На рисунке 12,13 и 14 представлены зависимости изменения плотности от давления.

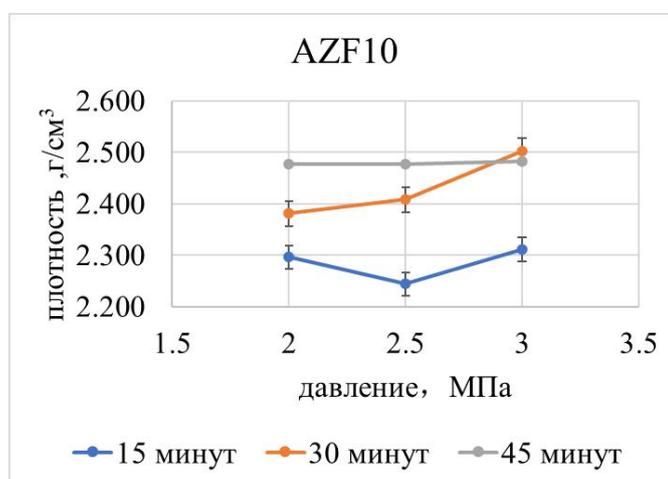


Рис. 12. Изменение плотности образцов, спрессованных при различных давлениях, для 10%-ной добавки

Из рисунка 12 видно, что в смеси с 10%-ной добавкой, обработанной в течение 15 минут, повышение давления прессования с начала приводит к некоторому снижению плотности прессовок, с дальнейшим повышением давления плотность прессовок повышается. Плотность спрессованных образцов из смеси титаната бария, обработанной в течение 30 минут, увеличивается с увеличением давления. Плотность образцов, спрессованных из порошков, обработанных в течение 45 минут, не изменяется при повышении давления прессования.

Зависимости на рисунке 12 показывают, что повышение времени обработки приводит к увеличению плотности прессовок. Причем у образцов спрессованные из порошков, обработанных в течение 45 минут уже при низких давлениях прессования наблюдается более высокая плотность, чем у образцов, полученных из порошков, обработанных при меньшем времени.

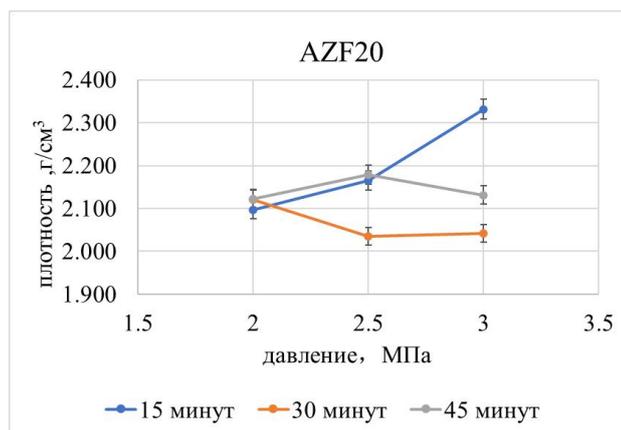


Рис. 13. Изменение плотности образцов, спрессованных при различных давлениях, для 20%-ной добавки

На рисунке 13 представлены зависимости изменения плотности образцов от давления прессования для смеси порошков с 20% добавкой. Из рисунка видно, что плотность образцов изменяется не однозначно. Плотность образцов, полученных из порошков, обработанных при 15 минутах, возрастает с повышением давления прессования. Для порошков, обработанных при 30 и 45 минутах, повышение давления прессования не приводит к повышению плотности прессовок.

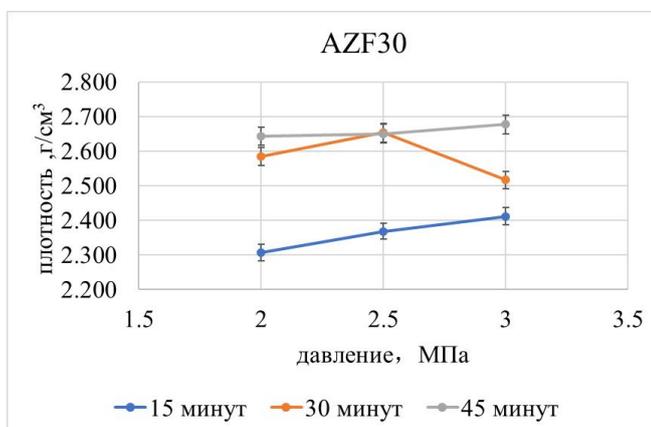


Рис. 14. Изменение плотности образцов, спрессованных при различных давлениях, для 30%-ной добавки

На рисунке 14 представлены зависимости изменения плотности образцов от давления прессования для смеси порошков с 30% добавкой. Из рисунка видно, что плотность образцов, спрессованных из порошков в течение 15 минут, увеличивается с повышением давления прессования. Увеличение времени обработки порошков до 30 минут не привели к повышению плотности спрессованных

образцов.

Плотность образцов, полученных из порошков, обработанных в течение 45 минут, повышается не значительно с увеличением давления прессования, хотя имеет более высокую плотность, чем у образцов, полученных из порошков, обработанных в течение 15 и 30 минут.

На рисунках 15, 16 и 17 показана зависимость изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки смеси.

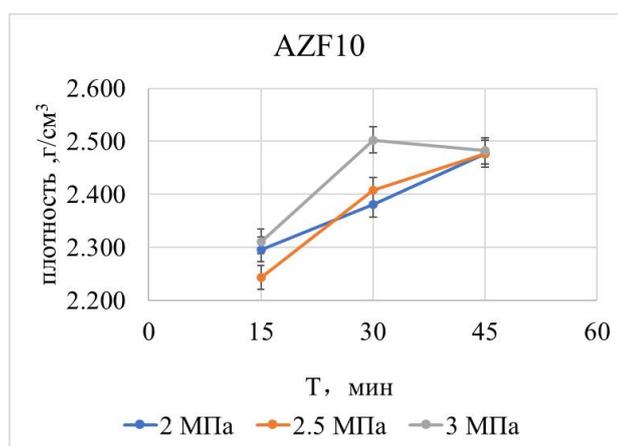


Рис. 15. Зависимость изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки для 10%-ой смеси.

На рисунке 15 приведены зависимости изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки для смеси с 10%-ой добавкой. Из рисунка 14 видно, что плотность образцов с повышением времени обработки порошка в шаровой мельнице повышается. Плотность образцов, спрессованных при давлении 2 МПа, 2.5 МПа и 3 МПа, с увеличением времени обработки до 45 минут отличаются не значительно.

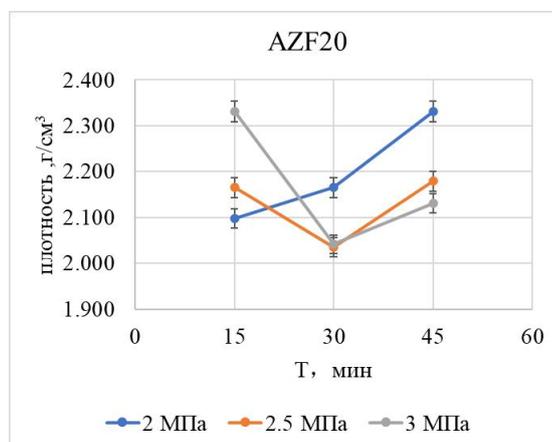


Рис. 16. Зависимость изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки для 20%-ой смеси.

На рисунке 16 приведены зависимости изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки для смеси с 20%-ой добавкой. Из зависимостей видно, что плотность образцов, спрессованных при давлении 2.5 МПа и 3 МПа, с увеличением времени обработки до 30 минут снижается, а затем повышается. Плотность образцов, спрессованных при давлении 2 МПа увеличивается с увеличением времени обработки.

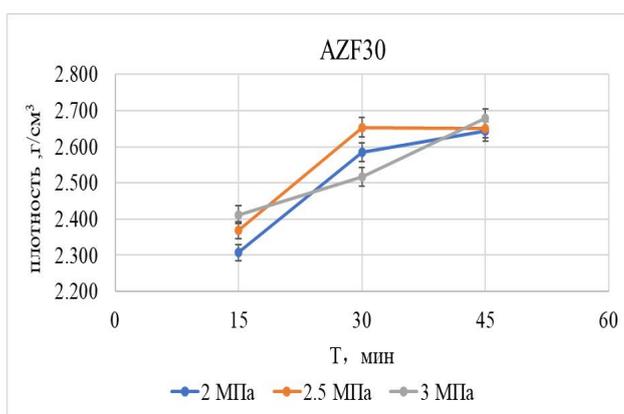


Рис. 17. Зависимость изменений плотности спрессованных образцов от времени обработки для 30%-ой смеси.

Как видно из рисунка 17, по мере увеличения времени обработки плотность образцов, спрессованных при различном давлении прессования, повышается.

На рисунках 18, 19 и 20 представлены зависимости изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от давления прессования.

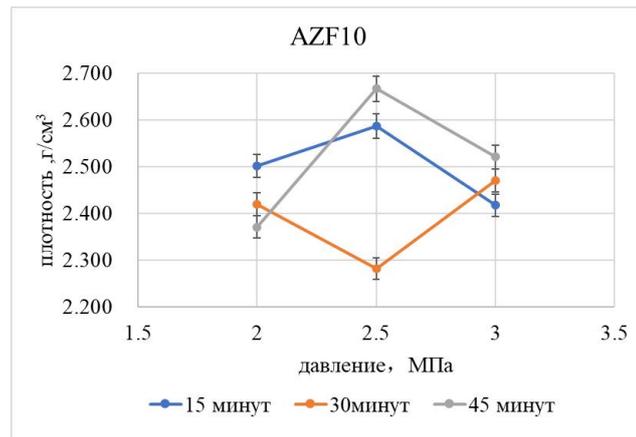


Рис. 18. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 10%-ной добавки

На рисунке 18 приведены зависимости изменений плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 10%-ной добавки. Из рисунка видно, что плотность образцов, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, обработанных в течение 15 и 45 минут, повышение давления прессования с начал приводит к повышению плотности спекания. Дальнейшее повышение давления прессования приводит к снижению плотности. В смеси с 10-ной добавкой, обработанной в течение 30 минут, повышение давления прессования с начала приводит к некоторому снижению плотности, с дальнейшим повышением давления плотность повышается.

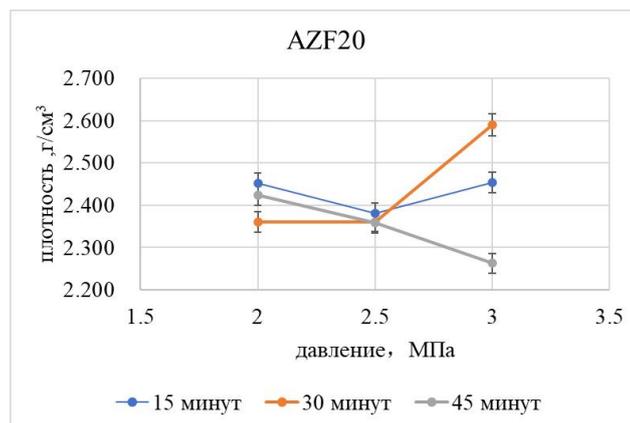


Рис. 19. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 20%-ной добавки

Из рисунка 19 видно, что плотность образцов, обработанных в течение 15 минут, с повышением давления прессования с начала приводит к снижению плотности, с дальнейшим повышением

давления плотность повышается.

Плотность образцов, обработанных в течение 30 минут, с повышением давления прессования до 2,5 МПа не изменяется.

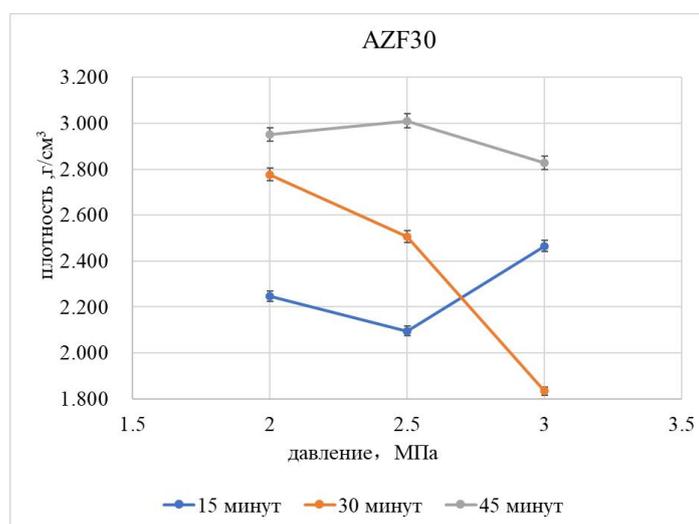


Рис. 20. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 30%-ной добавки

Из приведенных зависимостей видно, что при спекании при температуре 1300°C в течение 1 часа выявить однозначной закономерности изменения плотности образцов от давления прессования не удалось.

На рисунках 21, 22 и 23 представлены зависимости изменений плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от времени обработки.

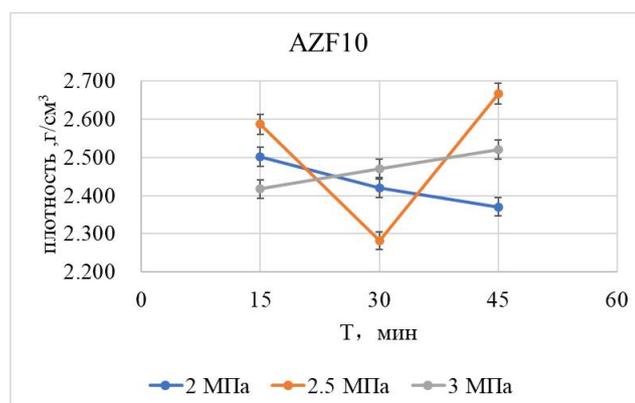


Рис. 21. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 10%-ной добавки

На рисунке 21 приведены зависимости изменений плотности,

спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 10%-ной добавки.

Как видно из рисунка 21, плотность образцов, с увеличением времени обработки, изменяется по-разному.

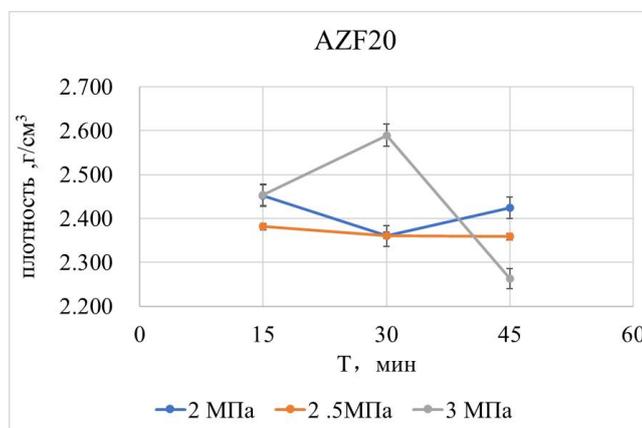


Рис. 22. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 20%-ной добавки

На рисунке 22 видно, что повышение времени обработки не оказывает существенного влияние на плотность образцов для различного давления прессования.

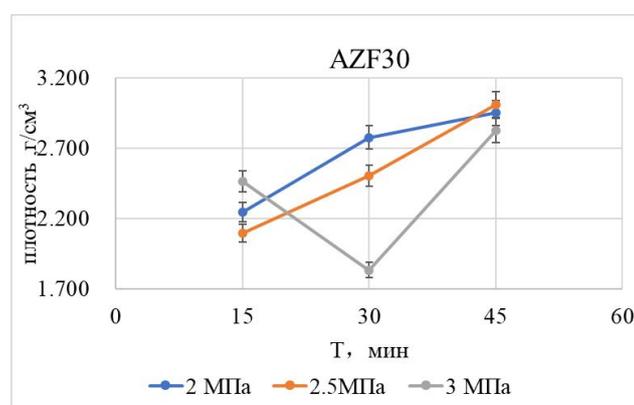


Рис. 23. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 1 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 30%-ной добавки

Из рисунка 23 видно, что по мере увеличения времени обработки плотность образцов увеличиваются.

На рисунках 24, 25 и 26 представлены зависимости изменений плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от давления прессования.

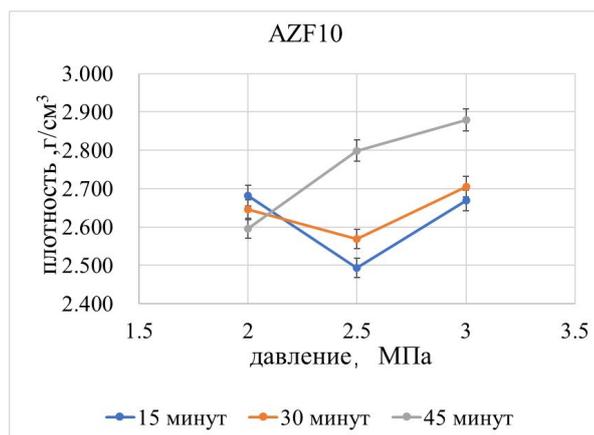


Рис. 24. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 10%-ной добавки

На рисунке 24 приведены зависимости изменений плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2-х часов, от давления прессования для смеси с содержанием 10%-ной добавки. Из рисунка видно, что плотность образцов, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часов, обработанных в течение 15 и 30 минут, с повышением давления прессования с начала приводит к снижению плотности, а далее плотность повышается.

Плотность образцов, полученных из порошков, обработанных в течение 45 минут, с повышением давления прессования плотность повышается.

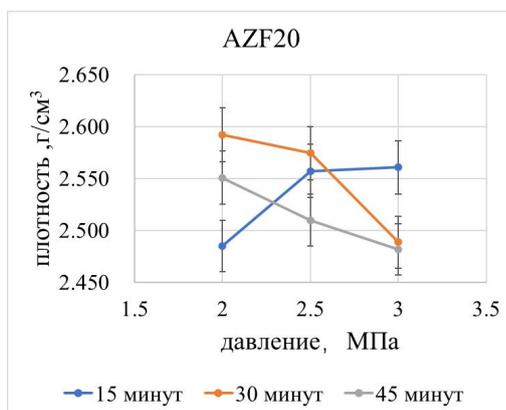


Рис. 25. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 20%-ной добавки

Из рисунка 25 видно, что повышение давления прессования вызывает увеличение плотности образцов, полученных из смеси, обработанной в течении 15 минут. Увеличение времени обработки порошка не приводит к повышению плотности спеченных образцов.

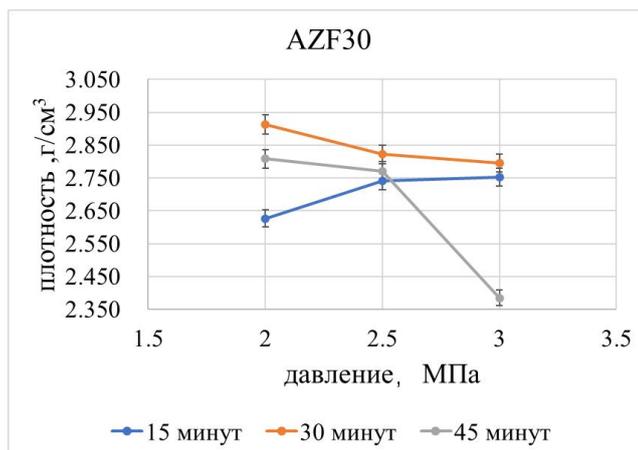


Рис. 26. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от давления прессования для смеси с содержанием 30%-ной добавки

Из рисунка 26 видно, что плотность образцов, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часов повышение давления прессования не приводит к увеличению плотности.

На рисунках 27, 28 и 29 представлены зависимости изменений плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от времени обработки.

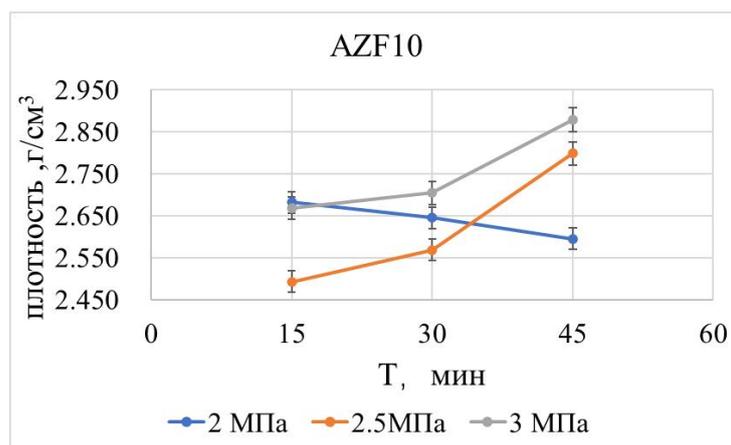


Рис. 27. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 10%-ной добавки

Из рисунка 27 видно, что увеличение времени обработки приводит к снижению плотности образцов, спрессованных при

давлении 2 МПа. Увеличение времени обработки порошковой смеси приводит к увеличению плотности с повышением давления до 2,5 МПа и 3 МПа.

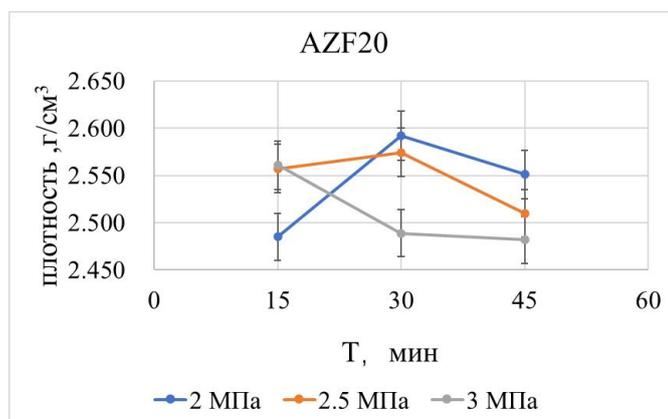


Рис. 28. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 20%-ной добавки

На рисунке 28 показано, что увеличение времени обработки порошковой смеси не приводит к повышению плотности спеченных образцов.

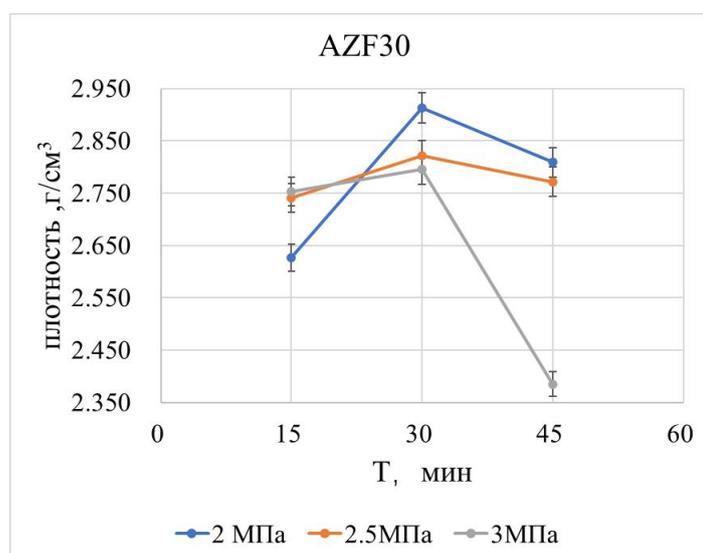


Рис. 29. Зависимость изменения плотности, спеченных при температуре 1300°C в течение 2 часа, от времени обработки для смеси с содержанием 30%-ной добавки

Из рисунка 29 видно, что плотность образцов, спеченных при температуре 1300°C в течении 2 часов, повышается с увеличением времени обработки порошков до 30 минут. Дальнейшее увеличение времени обработки порошковой смеси приводит к снижению плотности.

Результаты электрофизических испытаний

Для проведения электрофизических испытаний были выбраны образцы, полученные по оптимальным технологиям. Испытания проводились на установке, описанной во второй главе.

Методика эксперимента. Образцы помещают в испытательную ячейку с трансформаторным маслом с электродной системой «острие–плоскость». Далее запускаем установку и проводим испытания. Таймера включается, с началом воздействия импульсов на испытуемый образец, а отключается после пробоя. Таймер фиксирует время воздействия.

Полученные данные ресурса керамических образцов сводились в таблицу 3.

Состав	Процентное соотношение, %	Время обработки, мин	Температура спекания, °С	Время испытаний, сек	Количество импульсов
BaTiO ₃ – Al ₂ O ₃ – ZrO ₂ – Fe ₂ O ₃	70-10-10-10	45	1300	6200	5·10 ⁶
	40-20-20-20	15	1300	2520	2·10 ⁵
	10-30-30-30	30	1300	2240	1.8·10 ⁵

Из полученных данных можно сделать вывод, что образец BaTiO₃ – Al₂O₃ – ZrO₂ – Fe₂O₃ состава 70-10-10-10 выдержал максимальное значение импульсов и в итоге не наблюдался электрический пробой. Два других образца получили пробой при меньшем ресурсе работы.

Вывод

1. В работе показано, что увеличение времени обработки порошковых смесей приводит к повышению плотности прессовок.
2. Разработаны оптимальные режимы получения керамических материалов с высокими свойствами:
 - для смеси с 10-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°С и время спекания 2 часа.
 - для смеси с 20-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 15 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°С и время спекания 2 часа.
 - для смеси с 30-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 30 минут, давление прессования 2 Мпа, температура спекания 1300°С и время спекания 2 часа.

3. Разработанная технология получения керамического материала позволила получить материал, обладающий хорошей электрической прочностью.

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основной целью данного раздела является оценка перспектив развития и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, представленного в рамках научно-исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель данной ВКР – изучение влияния добавок $Al_2O_3 - ZrO_2-Fe_2O_3$

на свойства и структуру керамики на основе BaTiO₃

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Используя метод сегментирования, разделим потребителей разработки о порошковых материалах различного состава. Разработки основных критериев для потребительских сегментов различных ингредиентов в сегменте рынка порошковых материалов:

- Отрасль
- Географический
- Размер компании потребителя

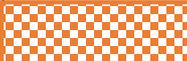
Представим характеристику выбранных компаний потребителей нашей разработки.

Компания «Murata Manufacturing», находится в Японии, специализируется на производстве керамических конденсаторов, а также является первым производителем керамических конденсаторов на основе титаната бария.

Компания «Guangdong Fenghua Hi-tech Co., Ltd» находится в Китае, специализируется на производстве новых компонентов,

электронных материалов, электронной спецтехники и т. д.

На основании представленных критериев построим карту сегментирования рынка разработок порошковых материалов различного состава (таблица 4)

		Виды порошковых материалов			
		Количество продуктов	Интернет-каталог	Интернет-магазин	Информационный портал
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				



-Компания А «Murata Manufacturing»



-Компания Б «Guangdong Fenghua Hi-tech Co., Ltd»

Конкурентные различия между двумя компаниями показаны на таблице 3, а затем в процессе исследования рассматриваются направление и потенциал их развития:

- 1) Исследование влияния добавки Al_2O_3 на структуру и свойства композиционной керамики на основе титаната бария.
- 2) Исследование влияния добавки ZrO_2 на структуру и свойства композиционной керамики на основе титаната бария.
- 3) Исследование влияния добавки Fe_2O_3 на структуру и свойства композиционной керамики на основе титаната бария.

В таблице 4 представлено сравнение разработок-конкурентов и

разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 5 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Высокая твёрдость	0,11	5	5	4	0,55	0,55	0,44
2. Диэлектрические потери	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
3. Безопасность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
4. Эффективность работы	0,03	3	4	3	0,09	0,12	0,09
5. Изолирующие свойства	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
6. Энергоэффективность	0,04	3	4	2	0,12	0,16	0,08
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
2. Реализация продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
3. Цена сырья	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,3
4. Уровень охвата рынка	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
5. Предполагаемая цена	0,06	4	5	3	0,24	0,3	0,18
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
7. Срок выхода на рынок	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
8. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,03	5	2	2	0,15	0,06	0,06
Итого	1	60	57	47	4.39	4.29	3.66

Проведенный анализ конкурентных технических решений

показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

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

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 6-9

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	+	-	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		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 9

Таблица 10 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	Слабые стороны научно-исследовательского проекта
	<p>C1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>C2. Высокий уровень физико и электрических свойств продукции</p> <p>C3. Получение высококачественных продуктов;</p> <p>C4. Экологичность технологии</p> <p>C5. Методика является перспективной.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства;</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл4. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p> <p>Сл5. Эксперименты имеют</p>

		большие погрешности и неопределенности.
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИЯТШ ТПУ.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>Направления развития</p> <p>В2С1.низкая стоимость увеличит инвестиции предприятий в продукт, тем самым повысят спрос на новые разработки.</p> <p>В3С2С4. Высокий уровень физико и электрических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>В5С1С4. Низкая цена исходного сырья и экологичность технологии являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл3Сл5. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок</p> <p>У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У2С1С2С3. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса и повышение качества продукции</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл4. Введение систем Совершенствования производственных процессов для снижения брака</p> <p>У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства</p>

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

Основные направления повышения конкурентоспособности

проекта: проведение дополнительных научных исследований.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Человеческие затраты составляют большую часть научных исследований, поэтому важной частью научного исследования является определение трудоемкости. Для определения трудоемкости необходимо определить содержание и последовательность работы.

Определение трудоемкости для выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ использована следующая формула:

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

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

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

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

После расчета трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), необходимо учитывать координацию работы. Время, затрачиваемое исполнителями на одну задачу, различно, и несколько задач могут выполняться одновременно. Для определения продолжительности одной работы в рабочих днях использована следующая формула:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

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

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

Результаты расчета трудоемкости и продолжительности работы представлены в таблице 12.

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания

выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

$K_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей

формуле:
$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14}, \quad (6)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 12

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	$t_{min i}$, чел.-дни		$t_{max i}$, чел.-дни		$t_{ож i}$, чел.-дни			
	Науч.рук	инженер	Науч.рук	инженер	Науч.рук	инженер		
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	4
3. Обзор научной литературы	-	4	-	10	-	6,4	6,5	10
4. Выбор методов исследования	-	8	-	14	-	10,4	10,4	15
5. Планирование эксперимента	-	10	-	18	-	13,2	13,2	19
6. Проведение эксперимента	-	6	-	14	-	9,2	9,2	14
7. Анализ полученных результатов НИР	-	4	-	8	-	5,6	5,6	8
8. Оценка эффективности результатов	-	4	-	8	-	5,6	5,6	8
9. Составление пояснительной записки	-	6	-	14	-	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
Итого:	2	61	8	120	4,4	84,6	84,7	117

На основе таблицы 12 строится календарный план-график для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исп	T _{кi} 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:

 -научный руководитель

 студент-инженер

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и

сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 14).

Таблица 14– Затраты на получение композиционной керамики на основе ВаTiO₃

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., без НДС, руб.	Сумма без НДС, руб.	НДС %	Сумма НДС, руб.	Всего с НДС, руб.
Порошок оксид железа Fe ₂ O ₃	кг	1	1833,33	1833,33	20	366,67	2200
Оксид алюминия Al ₂ O ₃	кг	3	3650,00	10950,00	20	2190,00	13140
Керамический бисер ZrO ₂ 0.8-1.0 мм	кг	1	11833,33	11833,33	20	2366,67	14200
Итого:							29540

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Затраты на специальное оборудование для экспериментальных

работ связано с определением стоимости приобретенного специального оборудования (таблица 15): планетарно шаровая мельница «Активатор 2SL», весы CAS MWP-300, Гидравлический пресс «Р-20», Муфельная печь UED-16-12D (объем 16 литров, до 1500°C).

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Планетарно шаровая мельница «Активатор 2SL»,	1	450000	450000
2.	весы CAS MWP-300	1	20865	20865
3.	Гидравлический пресс «Р-20»	1	20000	20000
4	Муфельная печь UED-16-12D	1	139990	139990
Итого:				630855

Планетарно шаровая мельница «Активатор 2SL»:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,067$$

весы CAS MWP-300:

$$H_A = \frac{1}{5} = 0,2$$

Гидравлический пресс «Р-20»:

$$H_A = \frac{1}{35} = 0,029$$

Муфельная печь UED-16-12D:

$$H_A = \frac{1}{12} = 0,083$$

Планетарно шаровая мельница «Активатор 2SL»:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,067 \cdot 450000}{12} \cdot 4,3 = 10803,75 \text{руб.}$$

весы CAS MWP-300:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 20865}{12} \cdot 4,3 = 1495,33 \text{руб.}$$

Гидравлический пресс «Р-20»:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,029 \cdot 20000}{12} \cdot 4,3 = 207,83 \text{руб.}$$

Муфельная печь UED-16-12D:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,083 \cdot 139990}{12} \cdot 4,3 = 4163,54 \text{руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где $Z_{дн}$ – средневзвешенная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 12).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (10)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и

надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 16 – 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 17– Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{nc}, руб$	k_{np}	k_o	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{on}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	4,4	9446,8
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	84,6	147466,26
Итого:								156913,06

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (12)$$

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

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бол}})$$

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

4.3.6 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

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

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Создание композиционных керамических материалов на основе $\text{BaTiO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ » по форме, приведенной в таблице 18.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

		Статьи					
1		2	3	4	5	6	7
Сырье, материалы	Оборудование (амортизация)	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
29540	4163,54	156913,06	23536,96	54134,99	268288,55	42926,168	311214,72

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

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

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{311214,72}{482356} = 0,65$$

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{\Phi_{исп.2}}{\Phi_{max}} = \frac{426593}{482356} = 0,88$$

$$I_{финр}^{исп.3} = \frac{\Phi_{исп.3}}{\Phi_{max}} = \frac{482652}{482652} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 19).

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Изолирующие свойства	0,3	5	3	4
2. Стабильность работы	0,15	4	4	5
3. Актуальность рассматриваемого продукта	0,15	4	4	3
4. Безопасность при использовании установки	0,15	5	5	4
5. Безопасность	0,25	5	4	3
ИТОГО	1	4,7	4,1	3,75

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{P1} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,7$$

$$I_{P2} = 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 = 4,1$$

$$I_{P3} = 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 = 3,75$$

4.4.2 Интегральный показатель эффективности вариантов

исполнения разработки

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \cdot \quad (14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,7}{0,86} = 5,47,$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,1}{0,92} = 4,46$$

$$I_{исп.3} = \frac{3,75}{1} = 3,75$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (15)$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,65	0,88	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,1	3,75

3	Интегральный показатель эффективности	5,47	4,46	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп.1/Исп.2=1,2 Исп.1/Исп.3=1,5	Исп.2/Исп.1=0,82 Исп.2/Исп.3=1,2	Исп.3/Исп.1=0,69 Исп.3/Исп.2=0,84

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является Исп.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 анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

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 работ составляет 135 дня; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 117 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал

руководитель, составляет 18 дня;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 311214,72 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,65, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,1 и 3,75;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,47, по сравнению с 4,46 и 3,75, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Научно-исследовательская работа осуществлялась в лаборатории отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий томского политехнического университета (ИШНПТ ТПУ) в корпусе 8,11 Б,16Б.

Бакалаврская диссертация посвящена исследованию влияния добавок на свойства керамики на основе титаната бария. Объекты исследования керамика, электрическая прочность и диэлектрическая проницаемость керамики. Эксперименты включали приготовление порошков на основе BaTiO_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Далее проводилось перемешивание в шаровой мельнице Активатор «2SL». Затем проведён анализ насыпной плотности порошков. Построена зависимость количества порошка от времени смешивания. Данные обрабатывали в Excel.

Области применения – для изготовления конденсаторов, термоэлементов, пьезоэлектриков и т. д.

Потенциальные пользователи – электрическая компания.

Социальная направленность данной работы связана с улучшением электрических свойств керамики из титаната бария. Путем добавления оксидов к титанату бария, а затем анализа влияния добавок на изменение его свойств.

Рабочая зона – лаборатория (8·6 м²), с оборудованием: шаровая мельница Активатор «2SL», весы CAS MWP-300, сито, вытяжная система; ПЭВМ. Рабочие процессы: взвешивание, перемешивание, статистическая обработка данных. Обработка данных осуществлялась на ПЭВМ.

В этом разделе бакалаврской диссертации представлен анализ производственных факторов, а также расчет производственной и оценка экологической безопасности.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения

езопасности

Правовые нормы трудового законодательства, а именно Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [1], регулируют трудовую деятельность сотрудников работников лаборатории, в которой проходила научно-исследовательская работа.

Режим рабочего времени. Начало, окончание или общая продолжительность рабочего дня определяется соглашением работников лаборатории и работодателя. Реализуется в режимах: нормированного рабочего времени (пятидневная с двумя выходными днями (ТК РФ ст. 100)) и гибкого рабочего времени (ТК РФ ст. 102).

Трудовой кодекс Российской Федерации предписывает трудовую деятельность работников лаборатории, связанную с вредными и опасными условиями труда. Для защиты от вредного и опасного воздействия химических веществ работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты (ст.221 ТК РФ).

Оплата труда работников лаборатории, подвергающихся вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере и регулируется работодателем – минимум 4% от оклада (ст.147 ТК РФ).

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, и т.

д. В лаборатории вредные условия труда 2 класса (допустимые условиями труда) согласно[21], отчего: работникам предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый семидневный отпуск (ст.117 ТК РФ), работники должны проходить обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры для пригодности и предупреждения проф. заболеваний (ст.213 ТК РФ).

Согласно **ГОСТ 12.2.007.0–75** (Изделия электротехнические. Общие требования безопасности) [22], для снижения пожарной опасности электроустановок необходимо, чтобы температура их частей в нормальном режиме эксплуатации не превышала допускаемые нормами, а при аномальных и аварийных режимах обеспечивалось их надежное отключение аппаратами защиты.

Согласно **ГОСТ Р 50923–96** (Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения) [23], Основными элементами рабочего места оператора являются: рабочий стол, рабочий стул (кресло), дисплей, клавиатура; вспомогательными - пюпитр, подставка для ног. Рабочее место с дисплеем должно обеспечивать оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы.

Согласно **ГОСТ 10141–91** (Мельницы стержневые и шаровые)[24], мельница должна быть оборудована системой звуковой и световой сигнализациями, информирующей о нормальной работе или неисправностях в системах привода и смазки. Сигнальные лампы должны иметь надписи, указывающие значение сигналов.

Согласно **ГОСТ ISO/IEC 17025–2019** (Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий)[25], весь персонал лаборатории, как постоянный, так и привлекаемый, который может повлиять на деятельность лаборатории, должен действовать беспристрастно, быть компетентным и должен работать в соответствии с системой менеджмента лаборатории. Оборудование, используемое для измерений, должно обеспечивать точность и/или

неопределенность измерений, требуемые для обеспечения достоверного результата.

5.2 Производственная безопасность

Условия труда в лаборатории и электрооборудование провоцируют появление вредных и опасных факторов работающих. Работа в лаборатории, а также за ноутбуком (ПЭВМ), согласно ГОСТ 12.0.003–2015 [26], характеризуются факторами, представленными в таблице 21:

Таблица 21 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте лаборатории

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Нормативные документы
Превышение уровня шума	ГОСТ 12.1.003–83 Шум. Общие требования безопасности.
Недостаток необходимого искусственного освещения.	ГОСТ Р 55710–2013 Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений
факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов	• ГОСТ 12.2.007.0–75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
Факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха.	ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

5.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1) *Превышение уровня шума.* Источник фактора – длительная работа шаровой мельницы Активатор «2SL». Заболевания работников: тугоухость, головные боли. Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах не должны превышать 80 дБ А [27].

В лаборатории уровни звукового давления на рабочих местах составляют от шаровой мельницы Активатор «2SL»– 70-75 дБ А. В лаборатории уровни звукового давления не превышают допустимых. Снижение влияния фактора достигается шумоизоляцией и виброизоляцией шаровой мельницы

3) *Недостаток необходимого искусственного освещения.* Источник фактора – люминесцентные лампы. Работник подвергается напряжению глаз. Согласно ГОСТ Р 55710–2013 (Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений) [28], нормы освещенности приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Нормы освещенности

Наименование помещения	Освещенность $E_{экс}$, ЛК	Равномерность освещенности U_0	Коэф. пульсации K_p , %
Лаборатории	500	>0,60	>10

В лаборатории требования отвечают нормам [28] Рабочий стол находится между рядами светильников ЛПО 2x36-CSVT (люминесцентные лампы, 125 Вт) и боковым оконным проемом.

4) *Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов.* Источник – электрооборудование. Опасность электрических ожогов, электротравмы 1, 2 степени. Снижение влияния фактора достигается изоляцией проводки и приборов, использованием сетевого фильтра с предохранителем в сеть 220 В, 50/60 Вт. Мощности составляют 2,2 кВт у шаровой мельницы Активатор «2Sl» и 2,6..340 Вт у остальных приборов. Настольные приборы имеют малые величины напряжений: <36 В [22], не требующие специального заземления.

б) *Факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха.* Источник фактора – Высокая влажность и запылённость помещения от работы шаровой мельницы Активатор «2SL» Возможны заболевания хроническая бронхиальная астма.

Тяжесть труда в лаборатории характеризуется категорией II а. Согласно ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [22], оптимальные нормы температуры, относительной влажности воздуха в рабочей зоне производственного помещения лаборатории для категории II а представлены в табл. 23

Таблица 23- Оптимальные нормы температуры и влажности в рабочей зоне производственных помещений.

Период года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %
Холодный	Средней тяжести - II а	18-20	40-60
Теплый	Средней тяжести - II а	21-23	40-60

Рабочее помещение должно быть оборудовано общей приточно-вытяжной вентиляцией. При работе с порошками керамики следует применять спецодежду и другие средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха.

Помещение лаборатории соответствует требованиям. Снижение фактора достигается фильтрацией воздуха вентиляционной системой, а также использованием средств индивидуальной защиты (спецодежда) и средствами индивидуальной защиты органов дыхания (респиратор).

5.2.3 Расчет освещенности помещения ВКР

Производственная лаборатория представляет собой помещение с размерами: длина $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 4$ м. Высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,8$ м. Помещение комплектовалось светильниками ЛПО 2x125 размерами

1,245x0,4x0,05 м. В светильнике используются две люминесцентные лампы ОД, 125 Вт, 220 В.

Определим высоту подвеса: $h_n = H - h_{\text{свесы}} = 4 \text{ м} - 0,05 \text{ м} = 3,95 \text{ м}$.

Высота подвеса $h_n = 3,95 \text{ м}$ допустима с учетом наименьшей допустимой h_n сдвоенных светильников с люминесцентными лампами ($2,45 < 4,0 \text{ м}$). Рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью: $h = h_n - h_{\text{рп}} = 3,95 \text{ м} - 0,8 \text{ м} = 3,15 \text{ м}$.

Рассчитаем расстояние между рядами светильников: $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,15 \approx 4,41 \text{ м}$. Учитываем, что критерий оптимальности расположения светильников для люминесцентных ламп ОД без защитной решётки $\lambda = 1,4$. Расстояние от стены до торца светильника: $L/3 = 4,41/3 \approx 1,47 \text{ м}$. Определим количество рядов светильников:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3}L}{L} + 1 = \frac{6 - \frac{2}{3} \cdot 4,41}{4,41} + 1 = 1,7 \approx 2.$$

Определим количество светильников в ряду:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{8 - \frac{2}{3} \cdot 4,41}{1,245 + 0,5} = 2,9 \approx 3.$$

Расстояние между светильниками в ряду: $(A - n_{\text{св}} \cdot l_{\text{св}})/3 = (8 - 3 \cdot 1,245 \text{ м})/4 \approx 1,07 \text{ м}$. Разместим светильники в 2 ряда. В каждом ряду 3 светильника ОД с 2 люминесцентными лампами типа мощностью 125 Вт (с длиной $l_{\text{св}}=1,245 \text{ м}$). Начертим план помещения и размещения светильников с люминесцентными

лампами (рис. 30). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N_{л} = 2(n_{ряд} \cdot n_{св}) = 2 \cdot (2 \cdot 3) = 12$.

Рассчитаем индекс помещения: $i = S / h(A+B) = (A \cdot B) / h(A+B) = (8 \text{ м} \cdot 6 \text{ м}) / 3,15 \text{ м} \cdot (8 \text{ м} + 6 \text{ м}) = 1,1$. Коэффициент использования светового потока η для сочетания коэффициентов отражения (свежепобеленный потолок $\rho_n=70\%$, свежепобеленные стены с окнами без штор $\rho_n=50\%$) и индекса помещения ($i= 1,1$) равен табличному значению $\eta = 51\%$. Коэффициент запаса K_z для помещения со средним выделением пыли равен 1,8. Нормативная освещенность лаборатории $E_n = 500$ лк (Приложение Л [29] и [28])

Определи световой поток Φ :

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N_{л} \cdot \eta} = \frac{500 \text{ лк} \cdot 48 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,51} = 7765 \text{ лм.}$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛХБ 125 Вт с потоком 8000 лм. Проверка:

$$-10\% \leq \frac{8000 \text{ лм} - 7765 \text{ лм}}{8000 \text{ лм}} \cdot 100\% \leq +20\% \Rightarrow -10\% \leq -2,9\% \leq 20\%$$

Тогда электрическая мощность осветительной системы: $P=12 \cdot 125 \text{ Вт} = 1500 \text{ Вт}$. Лаборатория соответствует требованиям освещенности.

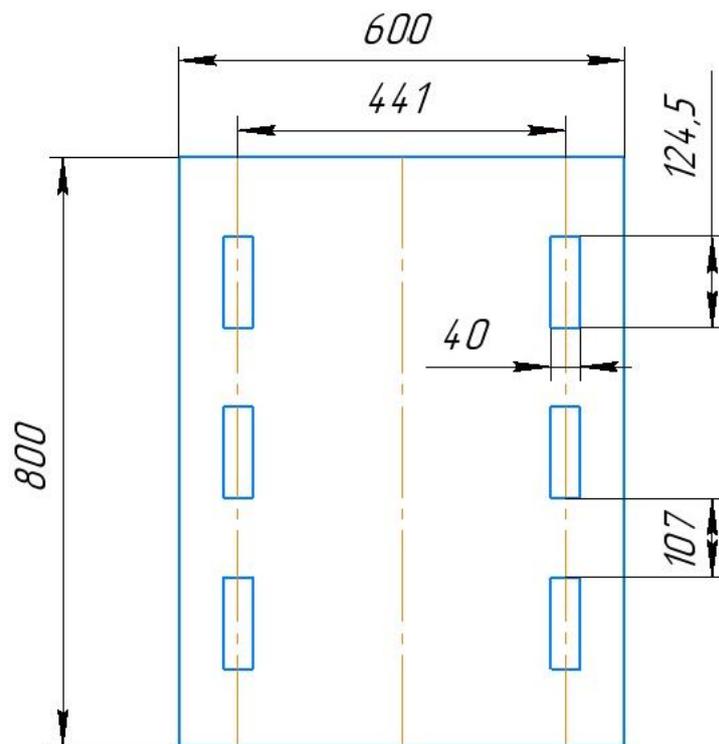


Рисунок 30 – План помещения и размещения светильников

5.3 Экологическая безопасность

Деятельность производственной лаборатории оказывает влияние на экологическую безопасность, так как производит хоть и малые, но разнообразные отходы, требующих особых мер защиты атмо-, гидро-, литосферы и работников.

Воздействие на атмосферу: Выбросы из вентиляционных систем содержащие низкие концентраций аэрозолей частиц порошков. Источники загрязнения – порошки Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 . Загрязнители – взвешенные высвобожденные порошки в рабочей зоне.

Высвобождение порошков приводит выбросы в воздух: при производстве керамики могут выделяться пыль / твердые частицы, сажа, газообразные вещества [30]: отложения в водоемах, эрозию почв. Актуальны риски болезней легких работников от ингаляции веществ.

В лаборатории ПДК частиц Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BaTiO_3 и ZrO_2 не превышают норм. Меры защиты атмосферы осуществляются в рамках требований [31], [32] мероприятиями: проветривание, контроль чистоты помещения, фильтрацией воздуха, влажная уборка помещения.

Воздействие на гидросферу в проектируемом решении: сброс суспензий в канализацию, в сточные воды. В сточных водах по большей части содержат взвешенные частицы и иные неорганические компоненты, небольшое количество различных органических веществ. Источниками загрязнения становятся порошки Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BaTiO_3 и ZrO_2 . Загрязнители – суспензии в сточных водах.

Производственная лаборатория — это источник сброса вредных веществ, ухудшающих качество поверхностных вод, ограничивающих их использование, а также негативно влияющих на состояние дна и берегов водных объектов [33]. Химические вещества, в частности, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BaTiO_3 и ZrO_2 изменяют

свойства воды (рН, жёсткость), приводят к новообразованиям (отложениям Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2) на поверхности трубопроводов и резервуаров очистных сооружений города Томск. Отчего вода поступает низкого качества [33], и уменьшается срок службы канализационных насосных станций. Возникает необходимость в дополнительных методиках фильтрации [34] сточной воды лаборатории.

В п.11 ГОСТа 17.1.3.13-86 [35] сообщается, что если концентраций вредных веществ, подлежащих сбросу в канализационную сеть, не превышают норм, то предварительная очистка воды не требуется.

В лаборатории порошки попадают в сточные воды в незначительном количестве путем очистки оборудования, химической посуды и средств индивидуальной защиты, а также после влажной уборки всего помещения от частиц Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 . Дополнительная очистка воды не требуется.

Воздействие на литосферу в проектируемом решении: оседание взвешенных частиц порошков на территории лаборатории.

Источники – нанопорошки Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 . Загрязнители – частицы Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 , которые прилипают к обуви и диффундируют через вентиляцию, оседают на близлежащей территории.

Попадая в литосферу, порошковые материалы Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 могут менять микробиологическую и ферментативную активность почв, активно вступая во взаимодействие с живыми организмами, обитающими в этой среде. ПДК вредных веществ в почве регламентируется СанПиН 1.2.3685–21 [36]

В лаборатории утилизация отходов, а также одноразовых средств индивидуальной защиты, контактирующие с частицами Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2 , должна осуществляться в специальные герметичные контейнеры, согласно [32]. Проводится периодическая только влажная уборка [31].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории возможны чрезвычайные ситуации (ЧС): пожар; случайное высвобождение порошков керамики (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $BaTiO_3$ и ZrO_2) и превышение ПДК.

Пожар. Причины возгорания в лаборатории: токи короткого замыкания электрооборудования, перегрузка, неисправность шаровой мельницы, весов или электросети. Специфика лаборатории связана с наличием электрооборудования, от чего в помещении вероятнее возникновение пожаров категорий: А (пожары твердых горючих веществ и материалов (дерево, бумага, пластмасса)), В (пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и

материалов), Е (пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением)[37]. Изоляция приборов должна защищать человека от поражения электрическим током [22].

Согласно ГОСТу 12.1.004–91 [38], в лаборатории соблюдаются нормы пожарной безопасности. При ЧС срабатывает пожарная сигнализация, и оповещающая об эвакуации через два возможных выхода, согласно плану эвакуации (рис. 30). Предотвращение возгорания обеспечивается: сетевыми фильтрами, нанесенными на деревянные поверхности красками, наличием металлическими столами, выполнением пола из керамической плитки.

Первичные средства пожаротушения являются: порошковый огнетушитель АВСЕ НЕО Прогресс, пожарный кран, аптечки ФЭСТ. При пожаре в лаборатории, работники обязаны позвонить в пожарную службу, выключить вентиляцию, включить пожарную тревогу, покинуть здание.



Рисунок 31– План эвакуации при пожарах и других ЧС

Выводы

В результате оценки производственной безопасности, вредные и опасные факторы имели физический характер. Расчет освещённости показал соответствие нормам. Вред от порошков керамики на экологию характеризуются малотоннажностью, но неблагоприятным воздействием на атмо-, лито-, гидросферы. Пожарная безопасность обеспечена. Производственная лаборатория соответствует всем заявленным требованиям.

Лаборатория по электробезопасности характеризуется как пыльное помещение [39], а персонал имеет I, II группу по электробезопасности, согласно Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ Минтруд России от 15.12.2020 г. N 903н). Тяжесть труда в лаборатории характеризуется категорией II, а (Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении

стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения) [36]. По взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории приписывается к категории Г (умеренная пожароопасность) [40].

А порошки керамики, имеющие в данном случае значительное негативное воздействие на окружающую среду, указываются 2 категорией – умеренным негативным воздействием на окружающую среду (по обращению с отходами производства и потребления в части отходов III класса (менее 1 тонны в час) [41].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] T.R. Shrout, S.J. Zhang Lead-free piezoelectric ceramics: alternatives for PZT? *J. Electroceram.*, 19 (2007), pp. 113-126, [10.1007/s10832-007-9047-0](https://doi.org/10.1007/s10832-007-9047-0)
- [2] W.S. Cho Structural evolution and characterization of BaTiO₃ nanoparticles synthesized from polymeric precursor *J. Phys. Chem. Solid.*, 59 (1998), pp. 659-666, [10.1016/S0022-3697\(97\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3697(97)00227-8)
- [3] P.A. Jha, A.K. Jha Piezoelectric and pyroelectric properties of zirconium substituted barium titanate ferroelectric ceramics *Indian J. Phys.*, 88 (2014), pp. 489-496, [10.1007/s12648-014-0445-2](https://doi.org/10.1007/s12648-014-0445-2)
- [4] M. Chandrasekhar, P. Kumar Synthesis, and characterizations of BNT-BT and BNT-BT-KNN ceramics for actuator and energy storage applications *Ceram. Int.*, 41 (2015), pp. 5574-5580, [10.1016/j.ceramint.2014.12.136](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.12.136)
- [5] J.G. Fisher, D.G. Lee, J.H. Oh, H.N. Kim, D. Nguyen, J.H. Kim, J.S. Lee, H.Y. Lee Low-temperature sintering of barium calcium zirconium titanate lead-free piezoelectric ceramics *J. Kor. Ceram. Soc.*, 50 (2013), pp. 157-162, [10.4191/kcers.2013.50.2.157](https://doi.org/10.4191/kcers.2013.50.2.157)
- [6] M.B. Smith, K. Page, T. Siegrist, P.L. Redmond, E.C. Walter, R. Seshadri, L.E. Brus, M.L. Steigerwald Crystal Structure and the Paraelectric-to-Ferroelectric Phase Transition of Nanoscale BaTiO₃ *J. Am. Chem. Soc.*, 130 (2008), pp. 6955-6963, [10.1021/ja0758436](https://doi.org/10.1021/ja0758436)
- [7] G.P. Du, Z.J. Hu, Q.F. Han, X.M. Qin, W.J. Shi Effects of niobium donor doping on the phase structures and magnetic properties of Fe-doped BaTiO₃ *J. Alloys & Comp.*, 492 (2010), pp. L79-L81, [10.1016/j.jallcom.2009.12.031](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.12.031)
- [8] Z. Guo, L. Yang, H. Qiu, X. Zhan, J. Yin, L. Cao Structural, Magnetic and Dielectric Properties of Fe-Doped BaTiO₃ *Solids Mod. Phys. Lett. B*, 26 (2012), Article 1250056, [10.1142/S021798491250056X](https://doi.org/10.1142/S021798491250056X)
- [9] J. Lombardi, Long Yang, F.A. Pearsall, N. Farahmand, Zheng Gai, S.J.L. Billing, S.P. O'Brien Stoichiometric Control Over Ferroic Behavior in Ba(Ti_{1-x}Fe_x)O₃ Nanocrystals *Chem. Mater.*, 31 (2019), pp. 1318-1335, [10.1021/acs.chemmater.8b04447](https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b04447)
- [10] N.V. Dang, N.T. Dung, P.T. Phong, In-Ja Lee Effect of Fe³⁺ substitution on structural, optical and magnetic properties of barium titanate ceramics *Physica B*, 457 (2015), pp. 103-107, [10.1016/j.physb.2014.09.046](https://doi.org/10.1016/j.physb.2014.09.046)
- [11] F. Lin, D. Jiang, X. Ma, W. Shi Influence of doping concentration on room temperature ferromagnetism for Fe-doped BaTiO₃ ceramics *J. Magn. Magn. Mater.*, 320 (2008), pp. 691-694, [10.1016/j.jmmm.2007.08.008](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2007.08.008)
- [12] F. Lin, D. Jiang, X. Ma, W. Shi Effect of annealing atmosphere on magnetism for Fe-doped BaTiO₃ ceramic *Physica B*, 403 (2008), pp. 2525-2529, [10.1016/j.physb.2008.01.016](https://doi.org/10.1016/j.physb.2008.01.016)
- [13] Grendal O. G. et al. Facile low temperature hydrothermal synthesis of BaTiO₃ nanoparticles studied by in situ X-ray diffraction // *Crystals*. – 2018. – Т. 8. – №. 6. – С. 253
- [14] Материалы для медицины, клеточной и тканевой инженерии [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Т. Г. Волова, Е. И. Шишацкая, П. В. Миронов. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009
- [15] Свирская С. Н. Пьезокерамическое материаловедение: учебное пособие. - Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, 2009. – 82 с.
- [16] Ismail F. A. et al. Dielectric and microstructural properties of BaTiO₃ and Ba_{0.9925}Er_{0.0075}TiO₃ ceramics // *EPJ Web of Conferences*. – EDP Sciences,

2017. – Т. 162. – С. 01051.
- [17] G.-T. Hwang, M. Byun, C.K. Jeong, K.J. Lee, Flexible piezoelectric thin-film energy harvesters and nanosensors for biomedical applications, *Adv. Healthcare Mater.* 4 (2014) 646–658
- [18] P. Bingger, J. Fiala, A. Seifert, N. Weber, A. Moser, F. Goldschmidtboeing, K. Foerster, C. Heilmann, F. Beyersdorf, P. Woias, H. Zappe, Implantable multi sensor system for in vivo monitoring of cardiovascular parameters, *Transducers 2009-2009 International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Denver, USA, 2009*, pp. 1469–1472.
- [19] C. Dagdeviren, B.D. Yang, Y. Su, P.L. Tran, P. Joe, E. Anderson, J. Xia, V. Doraiswamy, B. Dehdashti, X. Feng, B. Lu, R. Poston, Z. Khalpey, R. Ghaffari, Y. Huang, M.J. Slepian, J.A. Rogers, Conformal piezoelectric energy harvesting 70 and storage from motions of the heart, lung, and diaphragm, *PNAS* 5 (2014) 1927–1932.
- [20] A. Marino, G.G. Genchi, E. Sinibaldi, G. Ciofani, Piezoelectric effects of materials on bio-interfaces, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9 (2017) 17663–17680.
19. Khomyakova E. et al. On the formation mechanism of Ba_{0.85}Ca_{0.15}Zr_{0.1}Ti_{0.9}O₃ thin films by aqueous chemical solution deposition // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2020. – Т. 40. – №. 15. – С. 5376-5383.
- [21] Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020): [принят Государственной думой 23 декабря 2013 года]. – Москва, 2013. – 28 с.
- [22] ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности: дата введения 1978-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
- [23] ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения: дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> – Текст: электронный.
- [24] ГОСТ 10141–91. Мельницы стержневые и шаровые. Общие технические требования от 24 июля 1991 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021254> – Текст: электронный.
- [25] ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. Общие технические требования от 1 сентября 2019 г – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732> – Текст: электронный.

- [26]ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- [27]ГОСТ 12.1.003–83 Шум. Общие требования безопасности: дата введения 1984-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200291?marker=7D20K3> (дата обращения: 1.05.2022). – Текст: электронный.
- [28]ГОСТ Р 55710–2013. Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- [29]Естественное и искусственное освещение: (СП 52.13330.2016): свод правил: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2016 г. N 777/пр: введен в действие 08.05.2017. – Москва: Минстрой России, 2017. – 102 с
- [30]Гарин В. М., Клёнова И.А., Колесников В.И. Экология для технических вузов Серия «Высшее образование». Под ред. В.М. Гарина. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 384 с.
- [31]ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): утверждены ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» 04.09.2003. – Москва: Министерство природных ресурсов РФ, 2003. – 30 с.
- [32]ГОСТ Р 56748.1-2015. Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения: дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- [33]Соловьёв Н.А., Широкова И.Г. Источники химического загрязнения и их влияние на гидросферу и здоровье человека // Царскосельские чтения. – 2011. – №XV. – Р. 402–409.

- [34]Вертинский А.П. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования // Инновации и инвестиции. – 2019. – №11. – Р. 257–261.
- [35]ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения: дата введения 1986-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003200> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст : электронный.
- [36]Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: (СанПин 1.2.3685-21): санитарные правила и нормы: утвержден постанов. глав. гос. санитар. врача РФ от 28.01.2021 N 2. – Москва: Минюст, 2008. – 1143 с.
- [37]Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021): [принят Государственной думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2008. – 117 с.
- [38]ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования: дата введения 1992-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 1.05.2022). – Текст : электронный.
- [39]Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 500 с.
- [40]Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: (СП 12.13130.2009): свод правил: утвержден Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. N 182. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 35 с.
- [41]Российская Федерация. Постановление. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление от 31 декабря 2020 г. N 2398: [принят правительством РФ от 31.12.2020]. – Москва: Правительство РФ, 2020. – 11 с.