

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Создание композиционных керамических материалов на основе $BaTiO_3 - Fe_2O_3 - SiO_2$ |

УДК 666.3:661.882'027'43

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 154Б82 | Фу Цяньчэнь | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОМ ИНШПТ | Мельников А.Г. | К.Т.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Кашук И.В. | К.Т.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|--------------|------------------------|---------|------|
| 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов | Лямина. Г.В. | К.Х.Н. | | |

Планируемые результаты обучения по ООП

| Код компетенции | Наименование компетенции |
|---|---|
| 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 |
| УК(У)-9 | Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи |
| 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 общепрофессиональные 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 |

| | |
|--|---|
| | б) Измерить насыпную плотность, плотность прессовани и иплотность спеченного образца, построить графики. 7) Измерить электрическую прочность образца. 8) Оценить влияния добавок и факторов обработки на свойства керамики. |
| Перечень графического материала | График, схемы применяемых в работе |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент | Кашук И.В., к.т.н., доцент ОСГН ШБИП |
| Социальная ответственность | Сечин А.И., д.т.н., профессор ООД ШБИП |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке: | |
| введение, литературный обзор, методика эксперимента, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность и заключение должны быть написаны на русском языке. | |

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

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОМ ИНШПТ | Мельников А.Г. | К.Т.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 154Б82 | Фу Цяньчэнь | | |

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

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

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|-----------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 14 июня 2022 г. |
|--|-----------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 30.03.2022 | Литературный обзор | 20 |
| 15.04.2022 | Экспериментальная часть | 20 |
| 20.05.2022 | Социальная ответственность | 10 |
| 20.05.2022 | Финансовый менеджмент | 15 |
| 30.05.2022 | Обсуждение результатов и оформление работы | 35 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОМ ИНШПТ | Мельников А.Г. | К.Т.Н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Руководитель ООП | Лямина. Г.В. | К.Х.Н. | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|-------------|
| Группа | ФИО |
| 154Б82 | Фу Цяньчэнь |

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

| |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ |
|--|

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН ШБИП | Кашук Ирина Вадимовна | к.т.н доцент | | 28.02.22 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 154Б82 | Фу Цяньчэнь | | 28.02.22 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| Группа | | ФИО | |
| 154Б82 | | Фу Цяньчэнь | |
| Школа | ИШНПТ | Отделение (НОЦ) | ОМ |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов |

Тема ВКР:

| | |
|--|--|
| Создание композиционных керамических материалов на основе $BaTiO_3 - Fe_2O_3 - SiO_2$ | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| <p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации | <p><i>Объект исследования:</i> керамика на основе $BaTiO_3 - Fe_2O_3 - SiO_2$, диэлектрические свойства</p> <p><i>Область применения:</i> сырье для изготовления оптических и электрических приборов.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 8·6 м².</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> шаровая мельница Активатор «2SL», весы CAS MWP-300, сито, вытяжная система; ПЭВМ.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> 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/при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ</p> |
| <p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ показателей шума. 2. Анализ показателей микроклимата. 3. Анализ электробезопасности. 4. Анализ освещенности рабочей зоны. 5. Анализ пожарной безопасности. |
| <p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при</p> | <p>Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).</p> |

| | |
|--|--|
| эксплуатации | Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы). |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации | Возможные ЧС: пожар; случайное высвобождение частиц порошков и превышение ПДК; Наиболее типичная ЧС: пожар. |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|------|
| Профессор (ОКД, ИШНКБ) | Сечин Александр Иванович | Доктор технических наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 154Б82 | Фу Цяньчэнь | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 80 страниц, 21 рисунок, 29 таблицы, 44 источников.

Ключевые слова: керамика, титанат бария, композитная керамика, порошковая керамика, насыпная плотность, плотность прессования, плотность спеченного материала, электрическая прочность.

Объект исследования: керамика на основе BaTiO_3 .

Цель работы: синтез керамики BaTiO_3 , легированной Fe_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , и изучение влияния легирующих добавок, времени измельчения, приложенного давления и спекания на свойства керамики BaTiO_3 .

В процессе исследования в качестве сырья использовались порошки BaTiO_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 . После измельчения, прессования и спекания получили образцы композитной керамики, и измерили их плотность. Определен оптимальный режим спекания и измерена диэлектрическая прочность композитной керамики при этих режимах.

В результате исследования показали, что плотность композитной керамики уменьшается при добавлении добавок. Плотность композитной керамики увеличивается с увеличением времени измельчения и приложенного давления. Определен оптимальный режим спекания композиционной керамики: для керамики BaTiO_3 с 10 % и 30 % добавками – время обработки порошка 45 минут, давление прессования 3 МПа, температура спекания 1300°C в течение 1 часа для получения максимальной плотности. Для керамики BaTiO_3 с 20 % добавкой – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 МПа, температура спекания 1300°C в течение 2 часов. Среди них композитная керамика с 10 % и 30 % добавками имеет самую высокую диэлектрическую прочность $5 \cdot 10^6$ В/м.

Область применения: изоляторы для высокочастотной техники.

Обозначения и сокращения

BT-Титанат бария

SEM- Сканирующий электронный микроскоп

FSZ-Керамические добавки $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$

Содержание

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 14 |
| ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР..... | 15 |
| 1.1 Керамика на основе титаната бария | 15 |
| 1.2 Диэлектрические свойства керамики из титаната бария..... | 16 |
| 1.3 Влияние легирующих добавок Fe_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 в отдельности на диэлектрические свойства $BaTiO_3$ | 18 |
| 1.3.1. Влияние введения Fe_2O_3 на свойства $BaTiO_3$ | 18 |
| 1.3.2. Влияние введения SiO_2 на диэлектрические свойства $BaTiO_3$ | 20 |
| 1.3.3. Влияние введения ZrO_2 на диэлектрические свойства $BaTiO_3$ | 21 |
| 1.4 Другие факторы, влияющие на свойства керамики $BaTiO_3$ | 22 |
| 1.4.1 Влияние приложенного давления на свойства $BaTiO_3$ | 22 |
| 1.4.2 Влияние исходного размера частиц на свойства керамики $BaTiO_3$ | 22 |
| 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 24 |
| 2.1. Материал исследований..... | 24 |
| 2.2. Изготовление образцов | 24 |
| 2.3 Электрофизические испытание образцов керамики | 28 |
| 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ | 30 |
| 3.1 Плотность образца..... | 30 |
| 3.2 Результаты электрофизических испытаний..... | 38 |
| Выводы по раздеру | 40 |
| 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... | 41 |
| Введение | 41 |
| 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 41 |
| 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений | 41 |
| 4.1.2 SWOT-анализ..... | 42 |
| 4.2 Планирование научно-исследовательских работ | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования | 46 |
| 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования | 46 |
| 4.3 Бюджет научно-технического исследования | 49 |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .. | 55 |
| Выводы по разделу | 57 |
| 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 59 |
| 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 59 |
| 5.2 Производственная безопасность | 60 |
| 5.3 Экологическая безопасность | 69 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 70 |
| Выводы по разделу | 72 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 74 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 76 |

ВВЕДЕНИЕ

BaTiO_3 (ВТ) с типичной структурой перовскита является одной из наиболее широко используемых электронных керамик. Керамика ВТ может использоваться в качестве пьезоэлектрических материалов, термисторов или оптических и электрических устройств. Среди различных титанатных материалов, о которых сообщалось на сегодняшний день, ВТ представляет собой ферроэлектрический материал с минимальными диэлектрическими потерями и высокой диэлектрической проницаемостью. Диэлектрические свойства керамики быстро улучшаются из-за большого спроса на нее. В то же время исследователи пытаются минимизировать общий размер устройств, чтобы они были как можно более легкими и компактными, также имеют высокую диэлектрическую проницаемость. Для удовлетворения требований этих приложений контроль микроструктуры ВТ является обязательным для оптимизации его свойств. Хорошо известно, что микроструктура зависит от нескольких факторов обработки, включая температуру спекания и наличие легирующих примесей, добавок или примесей. Из-за присущей структуре перовскита способности вмещать ионы разных размеров, в матрицу ВТ может быть введено большое количество различных примесей или добавок. Многие добавки использовались для изменения температурных характеристик ВТ.

Целью исследования является синтез керамики BaTiO_3 , легированной Fe_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , и изучение влияния легирующих добавок, времени измельчения, приложенного давления и спекания на свойства керамики BaTiO_3 .

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Изучить влияния легирующей добавки на керамики BaTiO_3 и написать литературный обзор.
2. Приготовить композитную керамику и измерить насыпную плотность керамических порошков, плотность прессования и плотность спеченного образца.
3. Оценить влияния добавок и факторов обработки на свойства керамики.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Керамика на основе титаната бария

Титанат бария представляет собой типичный кристалл типа перовскита (тип ABO_3) с высокой диэлектрической проницаемостью, низкими диэлектрическими потерями, большим удельным сопротивлением, высокой прочностью на сжатие и превосходными изоляционными свойствами. Керамика титаната бария является основным сырьем электронных функциональных керамических устройств. Они используются в качестве диэлектрических материалов конденсаторов и делают различные пьезоэлектрические устройства, а так же являются хорошо известными сегнетоэлектрическими и пьезоэлектрическими материалами.

Кристаллы титаната бария имеют гексагональную, кубическую, тетрагональную, орторомбическую и тригональную фазы. Тип кристаллической фазы изменяется при изменении температуры. Процесс фазового перехода показан в таблице 1[1].

Таблица 1.1. Изменение структуры $BaTiO_3$ при понижении температуры

| Диапазон температур, °C | Кристаллическая система | Кристаллическая структура и свойства |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| выше 1460 | Шестиугольная система | Стабильный, неферроэлектрический |
| 1460~120 | кубическая кристаллическая система | Структура перовскита с кубической фазой, как показано на рисунке 1, обладает высокой симметрией, отсутствием дипольного момента, отсутствием сегнетоэлектричества и пьезоэлектричества. |
| 120~5 | Тетрагональная система | Значительное сегнетоэлектричество вдоль с |
| 5~-90 | Орторомбическая система | Аксиальное направление вызывает спонтанную поляризацию, то есть направление [001]. |
| менее -90 | Тригональная | Сегнетоэлектричество, |

| | | |
|--|-------------------------|--|
| | кристаллическая система | спонтанная поляризация вдоль диагонального направления [011] исходной кубической элементарной ячейки |
|--|-------------------------|--|

1.2 Диэлектрические свойства керамики из титаната бария

Диэлектрические свойства материалов в основном относятся к их диэлектрической проницаемости (ϵ') и диэлектрической прочности.

Диэлектрическая проницаемость представляет собой степень поляризации диэлектрика, то есть способность связывать заряд. Диэлектрическая проницаемость представляет собой степень поляризации диэлектрика, то есть способность связывания заряда. Чем сильнее диэлектрическая проницаемость, тем сильнее способность связывания диэлектрика с зарядом. Диэлектрическая проницаемость чистого титаната бария составляет около 1400 при комнатной температуре и может достигать 7000.

На рисунке 1 показана зависимость диэлектрической проницаемости чистого BaTiO_3 от частоты при повышении температуры испытания от 25 до 250 °C [2]. Из этого рисунка видно, что ϵ' уменьшается с увеличением частоты, демонстрируя аномальную дисперсию. Интенсивность этого пика несколько увеличивалась, а его максимум смещался в сторону более низких частот с повышением температуры, а затем исчезал при температуре выше 125°C. При этой температуре, температуре Кюри (T_C), может произойти резкое изменение диэлектрических свойств. Выше T_C ϵ' заметно уменьшается, что приводит к фазовому переходу сегнетоэлектрик-параэлектрик. Титанат бария при температуре выше T_C имеет кубическую структуру, действующую как изотропная; кроме того, все атомы титана находятся в равновесных положениях в центре своих октаэдров [3]. В результате BaTiO_3 не имеет дипольного момента, способствующего поляризации, и, следовательно, ведет себя как диэлектрик. Смещение атома Ti из-за приложенных электрических полей может привести к изменению структуры, создавая электрические диполи. С другой стороны, когда BaTiO_3 наблюдается при температуре ниже T_C ,

октаэдрическая структура меняется с кубической на тетрагональную симметрию, а положение иона титана становится нецентральный, что соответствует постоянному электрическому диполю. При изменении температуры кристаллографическая структура BaTiO_3 изменяется из-за искажения октаэдров TiO_6 [4], в результате чего тетрагональная фаза имеет очень большую спонтанную поляризацию, что приводит к большой диэлектрической проницаемости.

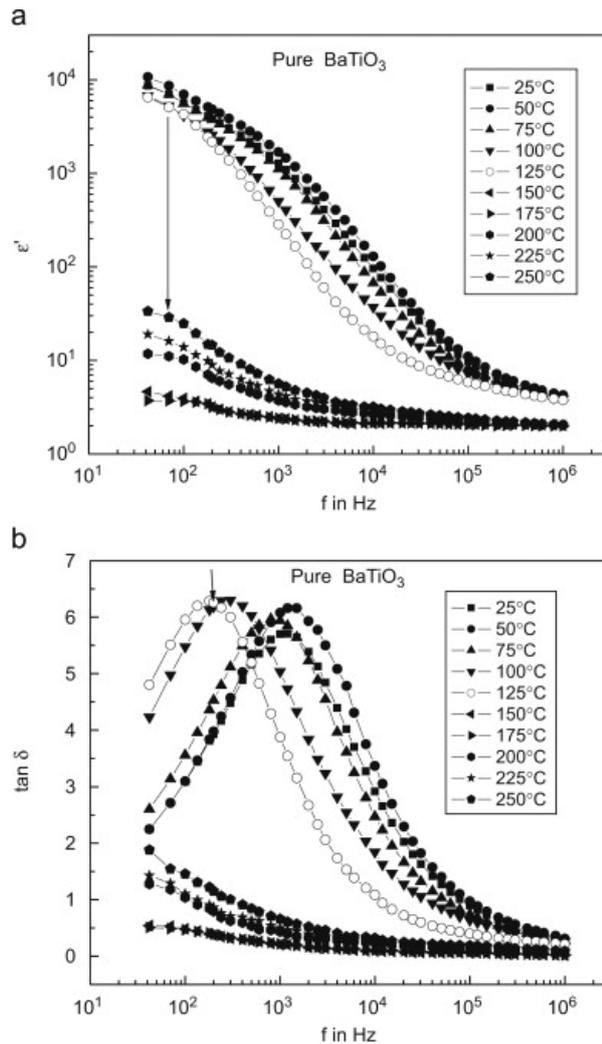


Рисунок 1.1. Частотная зависимость ϵ' (а) и тангенса δ (б) чистого BaTiO_3 от частоты при разных температурах.

Диэлектрическая прочность относится к мере электрической прочности материала, когда он действует как изолятор. Она определяется как максимальное напряжение, которое образец может выдержать на единицу толщины при его разрушении. Чем больше электрическая прочность вещества, тем лучше его качество как изолятора.

1.3 Влияние легирующих добавок Fe_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 в отдельности на диэлектрические свойства BaTiO_3

1.3.1. Влияние введения Fe_2O_3 на свойства BaTiO_3

Легирующие примеси могут существенно изменить свойства керамики BaTiO_3 . Среди них многие ученые изучали роль добавок Fe_2O_3 (ион Fe). Легирующие добавки могут существенно изменить свойства керамики BaTiO_3 . На рисунке 1.2 даны SEM-фото образцов керамики на основе BaTiO_3 с различными добавками Fe_2O_3 [5]. Можно видеть, что на микроструктуру, рост зерен и размер зерен всех образцов $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ решающее влияние оказывает состав, а также процент структурного превращения из тетрагональной в гексагональную фазу. Для каждого образца видно увеличение размера зерна с составом Fe. Ожидается, что увеличение размера зерна при легировании Fe будет связано с улучшением условий спекания ВТ с легированием Fe. При легировании Fe в ВТ температура спекания может быть снижена, и, следовательно, в ВТ, легированном Fe, наблюдается относительно большой размер зерна .

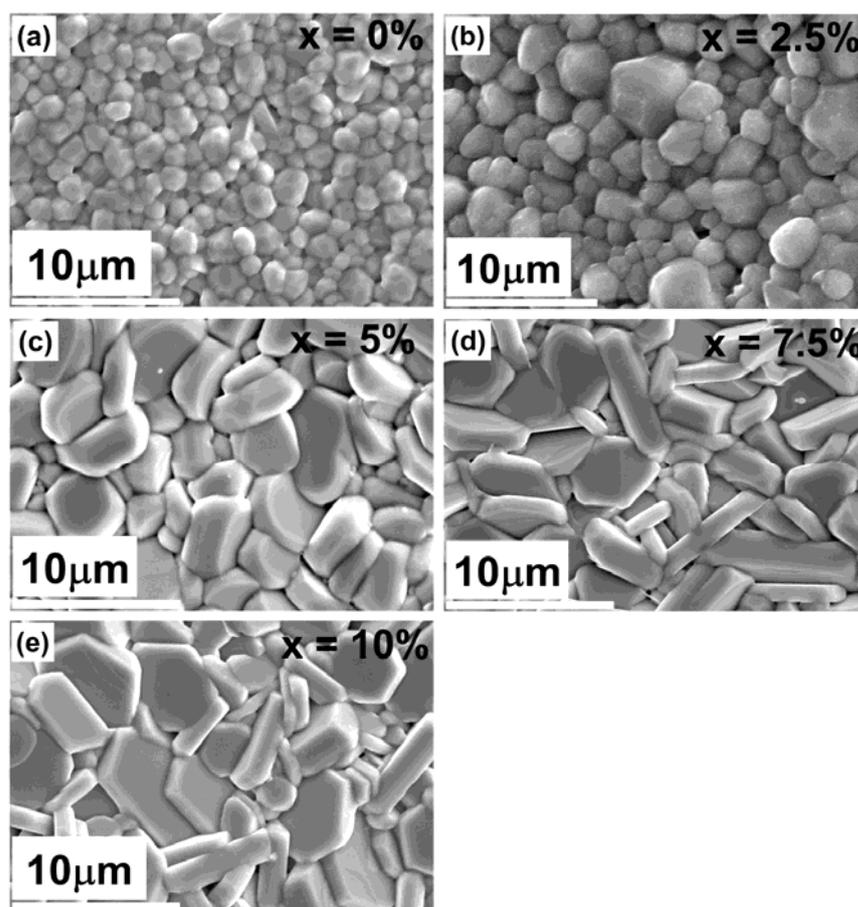


Рисунок 1.2. SEM-фото керамики $\text{BaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$, (a) $x = 0\%$ (b) $x = 2,5\%$ (c) $x = 5\%$ (d) $x = 7,5\%$ (e) 10% .

Чистый BaTiO_3 является тетрагональным при комнатной температуре, а при добавлении Fe_2O_3 более 2,5%, композиции демонстрируют смесь как тетрагональной, так и гексагональной фаз. Гексагональная фаза преобладает с увеличением концентрации легирования Fe [5].

Многие исследования показали, что Fe_2O_3 (ионы Fe) уменьшают диэлектрическую проницаемость керамики BaTiO_3 [5], причина может быть присутствие менее поляризуемых ионов Fe^{3+} , замещающих более поляризуемые ионы Ti^{4+} [6,7], а также высокий уровень кислородных вакансий за счет образования гексагональной фазы. Также обнаружено, что диэлектрическая проницаемость быстро уменьшается при более низких частотах переменного электрического поля, что связано с поляризацией пространственного заряда или межфазной поляризацией, вызванной структурным дефектом [6].

1.3.2. Влияние введения SiO_2 на диэлектрические свойства BaTiO_3

На рисунке 1.2 представлены SEM-фото образцов керамики на основе BaTiO_3 с различными добавками SiO_2 . Видно, что образец BaTiO_3 без добавки SiO_2 имеет больше пор, а с увеличением добавки SiO_2 происходит значительное уплотнение и рост зерен [8].

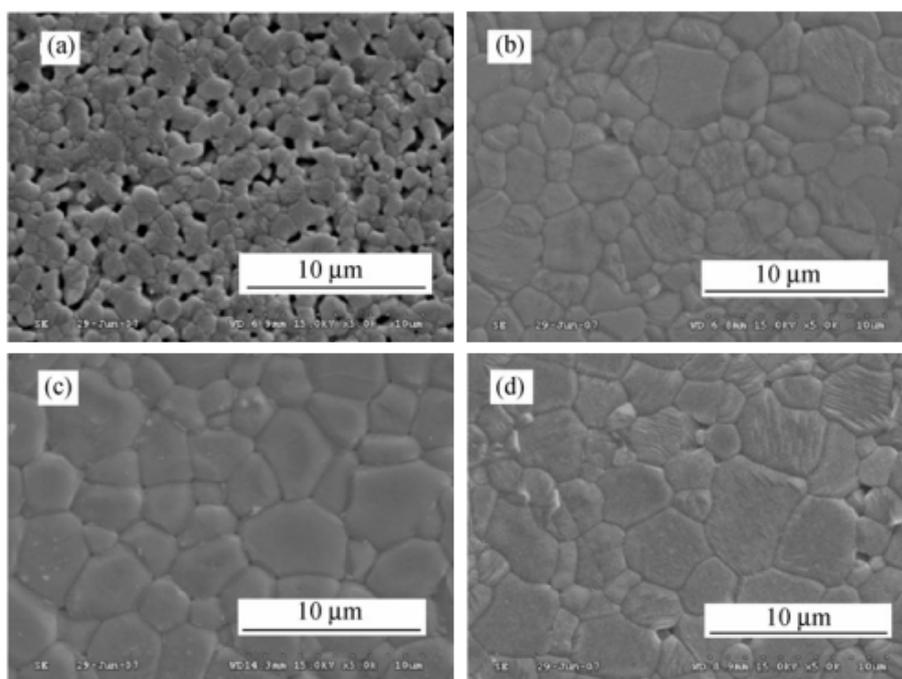


Рисунок 1.3. SEM-фото образцов керамики на основе BaTiO_3 , спеченных при 1220°C с различными добавками SiO_2 : (a) 0; (b) 0,075 моль %; (c) 0,15 моль %; (d) 0,3 моль %.

Большое количество исследований показало, что влияние SiO_2 на диэлектрическую проницаемость керамики BaTiO_3 имеет пиковый эффект: когда количество добавляемого SiO_2 достигает определенного значения, диэлектрическая проницаемость керамики BaTiO_3 достигает максимального значения, что может быть связано с максимальной плотностью образца [9]. Когда количество добавки ниже или выше этого значения, диэлектрическая проницаемость уменьшается, что связано с двумя факторами: размером зерна и второй фазой ($\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_8$), образующейся при спекании [10]. По мере уменьшения размера зерна объемная доля границы зерна увеличивается, а ядро зерна с высокой диэлектрической проницаемостью затухает. Чем мельче зерна, тем больше диэлектрическая проницаемость определяется вкладом 90-

градусных доменных границ и имеет тенденцию к уменьшению [11]. Кроме того, присутствие $\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_8$ в зерне привело к снижению диэлектрической проницаемости. В то же время из-за уменьшения относительной плотности керамики увеличились дефекты между зёрнами, что повлияло на поляризацию керамики, что привело к снижению диэлектрической проницаемости [10].

1.3.3. Влияние введения ZrO_2 на диэлектрические свойства BaTiO_3 .

На рисунке 1.4 представлены SEM-фото образцов керамики на основе BaTiO_3 с различными добавками ZrO_2 [12]. Видно, что с увеличением легирования ZrO_2 увеличивается пористость образцов и уменьшается размер частиц. Из SEM-фото можно показаться, что керамика BaTiO_3 , модифицированная ZrO_2 , демонстрирует мелкий размер зерна и тетрагональную структуру в кубическую структурную трансформацию.

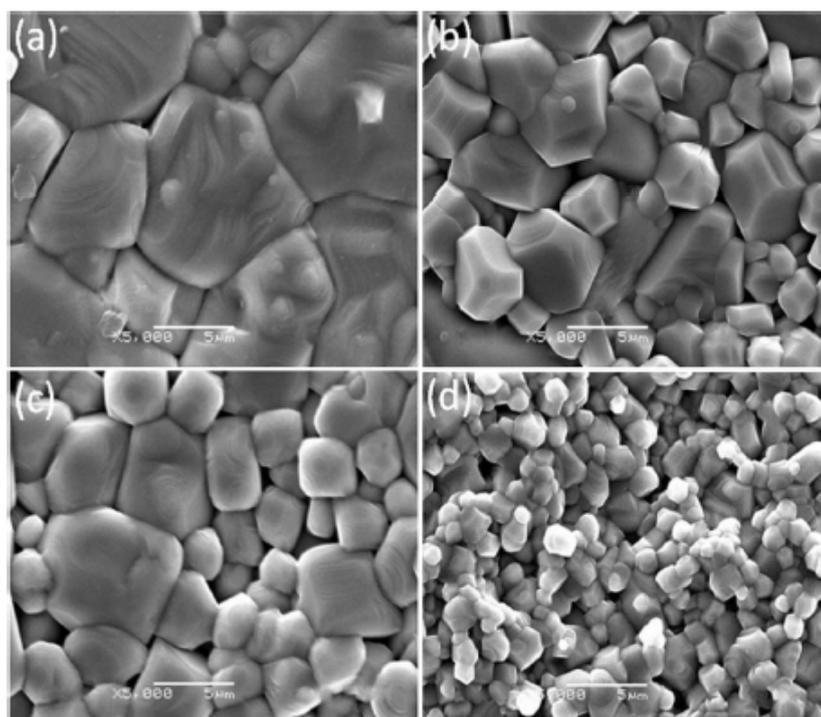


Рисунок 1.4. SEM-фото керамики $\text{Ba}(\text{Ti}_{1-x}\text{Zr}_x)\text{O}_3$, спеченной при 1450°C в течение 4 ч:

(а) $x = 0$, (б) $x = 0,1$, (в) $x = 0,2$, (г) $x = 0,3$.

Влияние ZrO_2 на керамику BaTiO_3 также имеет пиковое значение: с увеличением добавки ZrO_2 диэлектрическая проницаемость керамики BaTiO_3 сначала увеличивается, а затем уменьшается [11,13]. Причиной может быть то,

что диэлектрическая проницаемость BaTiO_3 сильно зависит от размера зерна или размера частиц [14]. Кроме того, происхождение снижения диэлектрической проницаемости было связано с уменьшением тетрагональности с уменьшением размера частиц [15].

1.4 Другие факторы, влияющие на свойства керамики BaTiO_3

1.4.1 Влияние приложенного давления на свойства BaTiO_3

По мере увеличения приложенного давления, пористость керамического образца уменьшается, поэтому плотность увеличивается. С увеличением приложенного давления, в дополнение к увеличению плотности, также увеличивается средний размер зерна образцов [16]. Возможные причины заключаются в том, что рост зерен происходит за счет диффузии атомов через границы зерен и интерфейсы. В случае более плотной керамики (достигаемой благодаря более высокому давлению) доступен больший объем интерфейса, что приводит к к большему росту зерна.

Кроме того, Park обнаружили, что при увеличении внешнего давления в монокристалле BaTiO_3 и BaTiO_3 с легированным Zr, наблюдается линейный сдвиг T_c в низкотемпературную сторону и уширение максимумов на кривых диэлектрической проницаемости [17].

1.4.2 Влияние исходного размера частиц на свойства керамики BaTiO_3

Более крупные частицы уменьшают площадь контакта между частицами из-за их неправильной формы, и объем роста зерен не может заполнить эти поры [18]. Рисунок 1.5 представляет собой SEM-фото композитной керамики BaTiO_3 , легированной с $\text{Ni}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$, после измельчения в течение 0 часов, 12 часов, 24 часов и 48 часов соответственно. Можно наблюдать, что средний размер зерна уменьшается в течение при уменьшении измельчения. Морфология поверхности, воспринимаемая по SEM-фото, не указывает на высокую плотность образца. Однако из измерений плотности этих образцов, это подтвердили, что плотность всех образцов одного порядка [19].

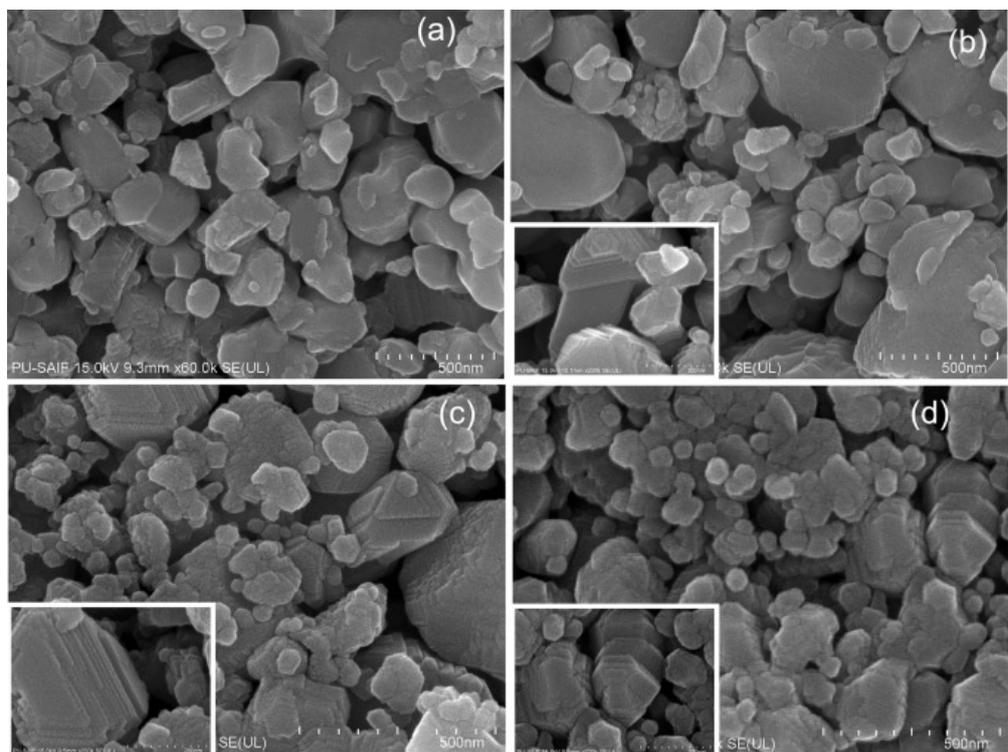


Рисунок 1.5. SEM-фото синтезированных ВТ-NCf при измельчении в течение (a) 0 часов, (b) 12 часов, (c) 24 часов и (d) 48 часов.

2. Материал и методики исследований

2.1. Материал исследований

В качестве материала исследований использовали порошки Fe_2O_3 , SiO_2 , BaTiO_3 и ZrO_2 (Химметпродукт) имеющие субмикронные размеры.

2.2. Изготовление образцов

Использовались электронные весы CAS MWP-300 (показано на рисунке 2.1) для приготовления порошка сырья в соответствии с формулой в таблице 2.1 (общий масса равна 50 г), и содержания легирующих примесей соответственно составляет $x_{(\text{Fe}_2\text{O}_3)}=x_{(\text{SiO}_2)}=x_{(\text{ZrO}_2)}=10\%$, $x_{(\text{Fe}_2\text{O}_3)}=x_{(\text{SiO}_2)}=x_{(\text{ZrO}_2)}=20\%$, $x_{(\text{Fe}_2\text{O}_3)}=x_{(\text{SiO}_2)}=x_{(\text{ZrO}_2)}=30\%$. Рассчитали теоретические плотности трехкомпонентных порошков: $\rho_{\text{тео}(x=10\%)}=5,24\text{г/см}^3$, $\rho_{\text{тео}(x=20\%)}=4,64\text{г/см}^3$, $\rho_{\text{тео}(x=30\%)}=4,17\text{г/см}^3$.



Рисунок 2.1. Весы CAS MWP-300

Таблица 2.1 Состав образца, где $x(\text{FSZ})$ представляет собой соответствующие массовые доли Fe_2O_3 , SiO_2 и ZrO_2 .

| Содержание легирующих примесей | $m(\text{BaTiO}_3)$, г | $m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, г | $m(\text{SiO}_2)$, г | $m(\text{ZrO}_2)$, г |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $x(\text{FSZ})=10\%$ | 35 | 5 | 5 | 5 |
| $x(\text{FSZ})=20\%$ | 20 | 10 | 10 | 10 |
| $x(\text{FSZ})=30\%$ | 5 | 15 | 15 | 15 |

С помощью мерного стакана взвесили 30 см³ смешанного порошка, измеряли их вес m_0 с помощью электронных весов и по формуле (1) рассчитали исходную насыпную плотность ρ_0 каждой группы порошков:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (1)$$

Для однородного смешивания сырья и получения более мелкодисперсного порошка, измельчали приготовленные порошки с помощью планетарно шаровой мельницы «Активатор 2SL», как показана на рисунке 2.2. Мелющие тела – циркониевые шарики имеющие массу 290 граммов и диаметр 6 мм, как представлены на рисунке 2.3. Весовое соотношение порошка к шарикю составляет 1:5. Время измельчения τ составляло 15 мин, 30 мин и 45 мин соответственно, частота вращения барабанов равна 20 Гц.



Рисунок 2.2. Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»



Рисунок 2.3. Диоксидциркониевые шары

Обработанные составы $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ просеивали через сито № 0900, чтобы разделять шарики и гранулировать порошков для получения фракции $<0,9$ мм.

С помощью гидравлического пресса «Р-20» (показана на рисунке 2.5) прессовали порошки в цилиндрическую форму диаметром 23 мм (показана на рисунке 2.6) давлением 2 МПа, 2,5 МПа, 3 МПа. Целью прессования является преобразование рассыпчатого керамического порошка в полуфабрикат с определенной геометрией, размерами, плотностью и прочностью путем приложения давления в форму, а затем извлечение из формы для получения заготовки-заготовки [20].



Рисунок 2.4. Гидравлический пресс



Рисунок 2.5. Пресс-форма

После измельчения измеряли плотности ρ_1 всех 9 групп порошков.

После прессования при трех давлениях измерены плотности ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 порошков.

Свободное спекание спрессованных образцов проводили с помощью электропечи ТК-27 (показана на рисунке 2.7) при 1300 и 1400 °С, выдержка 1 и 2 часов, скорость изменения температуры 200 °С/ч.



Рисунок 2.6. Высокотемпературная электропечь ТК-27

Плотности прессования и плотности спеченного образца измерялись с помощью метода, который прямо измеряет массу и объем образца. Объем образца получают путем измерения микрометром диаметра d основания цилиндрического образца и толщины h .

Объем образца рассчитывается по формуле 2.1:

$$V = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot h \quad (2.1)$$

Объем образца рассчитывается по формуле 2.2:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

2.3 Электрофизические испытание образцов керамики

Испытание электрической прочности полученных образцов керамики производились на установке, разработанной в лаборатории согласно ГОСТ 6433.3-71 [21]. Установка проектировалась с максимально похожими электрическими характеристиками импульсного ускорителя. Данная установка нужна для получения максимально подходящего по параметрам керамического изолятора (рисунок 2.8).

Требуемые параметры к испытательной установке:

- Образец помещается в трансформаторное масло.

- Импульсы с фронтом $\tau_1 = 40 \text{ нс}$
- Частота следования импульсов - $\leq 10^3 \text{ Гц}$;
- Амплитуда импульсов - $\leq 12 \text{ кВ}$;
- Испытания завершаются в момент пробоя образцов. Количество подаваемых на образец импульсов определяется по времени;
- Для каждого образца фиксируется осциллограмма приложенного напряжения;



Рисунок 2.7. Установка для испытаний керамической изоляции

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Плотность образца

Исходная плотность образцов ρ_0 , плотность после измельчения ρ_1 , а также плотности после прессования при давлениях 2МПа, 2,5МПа, 3МПа ρ_2 , ρ_3 и ρ_4 показана в табл. 3.1.

Таблица 3.1 Исходная плотность и плотность после измельчения и прессования образца

| Содержание легирующих примесей | ρ_0 , г/см ³ | τ , мин | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | ρ_4 |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| $x(\text{FSZ})=10\%$ | 1,43 | 15 | 1,04 | 2,59 | 2,48 | 2,67 |
| | | 30 | 1,02 | 2,86 | 2,86 | 2,78 |
| | | 45 | 0,99 | 2,87 | 2,87 | 2,78 |
| $x(\text{FSZ})=20\%$ | 1,50 | 15 | 1,31 | 2,24 | 2,37 | 2,47 |
| | | 30 | 1,16 | 2,43 | 2,50 | 2,60 |
| | | 45 | 1,00 | 2,43 | 2,50 | 2,60 |
| $x(\text{FSZ})=30\%$ | 1,20 | 15 | 1,33 | 2,17 | 2,17 | 2,26 |
| | | 30 | 1,37 | 2,24 | 2,32 | 2,27 |
| | | 45 | 1,39 | 2,26 | 2,33 | 2,27 |

Зависимость изменения плотности образца до и после измельчения показана на рисунке 3.1. Из приведенных зависимостей видно, что насыпная плотность изменяется не однозначно в зависимости от времени обработки. Обработка порошковой смеси (рис. 3.1) с 10 - 20% -ной добавкой легирующих компонентов в течение 15 минут приводит к снижению насыпной плотности. Дальнейшее повышение времени обработки не приводит к существенному снижению насыпной плотности.

Для порошковой смеси с 30%-ной добавкой легирующих компонентов наблюдается повышение насыпной плотности с увеличением времени обработки.

После прессования при 2 МПа, 2,5 МПа и 3 МПа были получены дискообразные образцы диаметром 23 мм. Плотности прессования приведены в таблице 3.2.

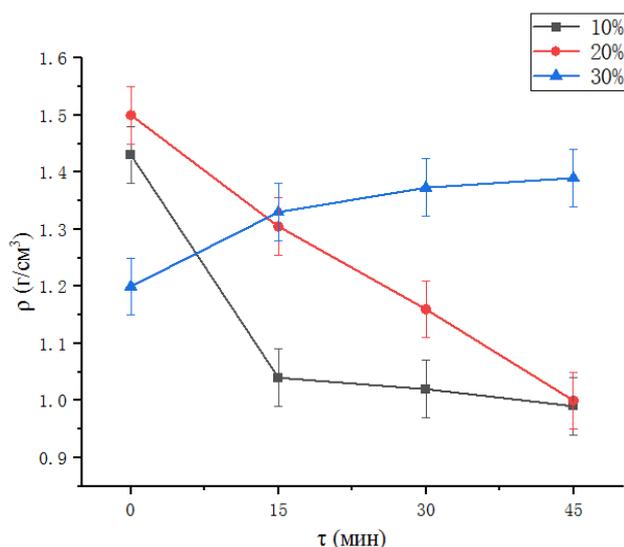


Рисунок 3.1. Зависимость изменения плотности образца до и после измельчения.

Таблица 3.2 Плотность прессования образца.

| Содержание легирующих примесей | ρ_0 , г/см ³ | τ , мин | 2,0 МПа | 2,5 МПа | 3,0 МПа |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|----------|----------|----------|
| | | | ρ_5 | ρ_6 | ρ_7 |
| $x(\text{FSZ})=10\%$ | 1,43 | 15 | 2,59 | 2,78 | 2,79 |
| | | 30 | 2,65 | 2,86 | 2,87 |
| | | 45 | 2,67 | 2,86 | 2,87 |
| $x(\text{FSZ})=20\%$ | 1,50 | 15 | 2,24 | 2,43 | 2,44 |
| | | 30 | 2,37 | 2,50 | 2,51 |
| | | 45 | 2,47 | 2,60 | 2,61 |
| $x(\text{FSZ})=30\%$ | 1,20 | 15 | 2,17 | 2,24 | 2,25 |
| | | 30 | 2,17 | 2,32 | 2,33 |
| | | 45 | 2,26 | 2,32 | 2,34 |

Влияние приложенного давления и времени измельчения на плотность образца показано на рисунках 3.2 и 3.3. Видно, что после прессования плотность образца уменьшается с увеличением добавки легирующих компонентов. Это согласуется с рассчитанной тенденцией изменения теоретической плотности композитной керамики. Относительная плотность образца, полученного в это время, достигала максимума 58%. Когда приложенное давление достигает 2,5 МПа, плотность образца значительно увеличивается, при дальнейшем увеличении давления плотность существенно не изменится. Когда время измельчения достигает 30 минут, плотность образца

значительно увеличивается, и при дальнейшем измельчении плотность существенно не изменится.

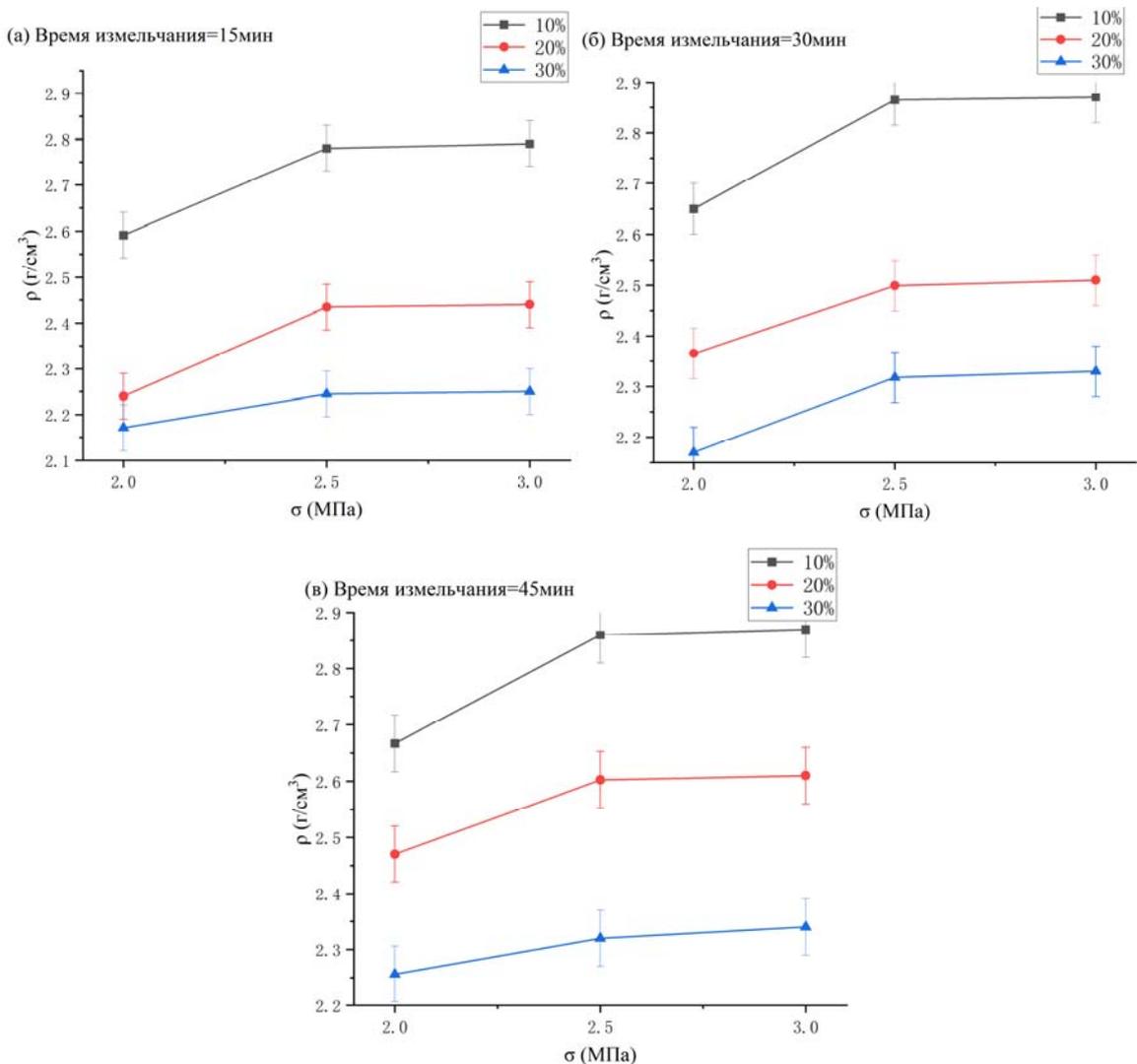
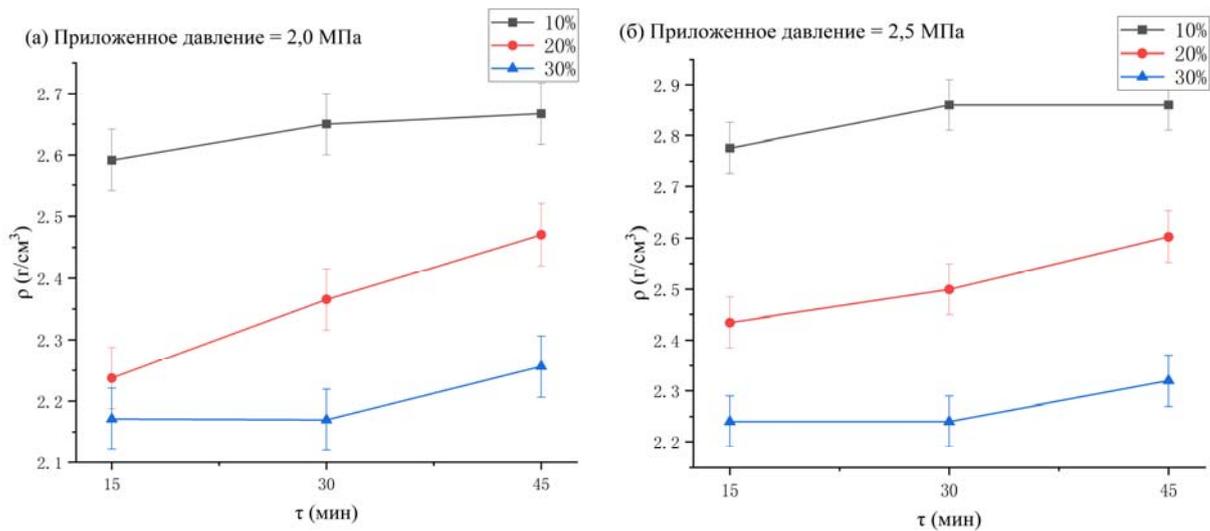


Рисунок 3.2. Зависимость плотности образцов от приложенного давления.



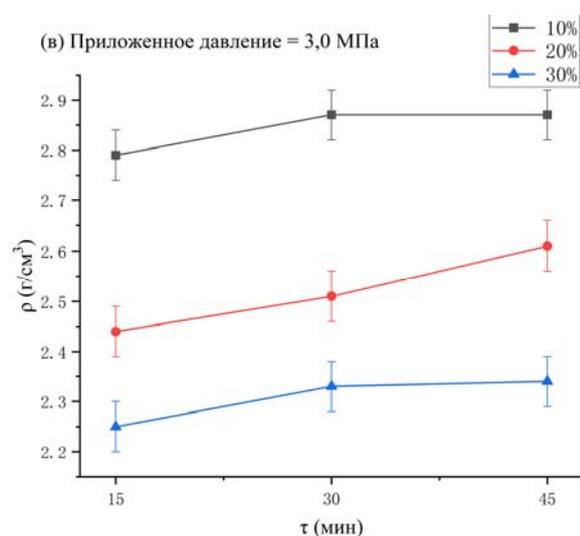


Рисунок 3.3. Зависимость плотности образцов от времени измельчения.

Спекание проводили при температурах 1300°C и 1400°C с выдержкой 1 и 2 часа. Было обнаружено, что некоторые образцы после спекания растрескались, поэтому для измерения плотности были отобраны хорошо сохранившиеся образцы, результаты измерений даны в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Плотность спеченного образца.

| Содержание легирующих примесей | ρ_0 , г/см ³ | τ , мин | 1300°C, 1ч | | | 1300°C, 2ч | | | 1400°C, 1ч | | |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|----------------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| | | | 2 МПа | 2,5 МПа | 3 МПа | 2 МПа | 2,5 МПа | 3 МПа | 2 МПа | 2,5 МПа | 3 МПа |
| | | | $x(\text{FSZ})=10\%$ | 1,43 | 15 | 2,40 | 2,45 | 2,50 | 2,46 | 2,5 | 2,5 |
| | | 30 | 2,68 | 2,70 | 2,72 | 2,47 | 2,51 | 2,53 | 1,71 | 1,77 | 2 |
| | | 45 | 2,69 | 2,71 | 2,75 | 2,50 | 2,52 | 2,55 | 1,83 | 1,9 | 2,04 |
| $x(\text{FSZ})=20\%$ | 1,50 | 15 | 1,94 | 2,32 | 2,45 | 2,17 | 2,30 | 2,39 | 1,68 | 1,71 | 1,79 |
| | | 30 | 2,11 | 2,34 | 2,48 | 2,23 | 2,32 | 2,47 | 1,7 | 1,76 | 1,87 |
| | | 45 | 2,31 | 2,37 | 2,51 | 2,37 | 2,38 | 2,54 | 1,77 | 1,78 | 1,95 |
| $x(\text{FSZ})=30\%$ | 1,20 | 15 | 1,97 | 2,14 | 2,21 | | 2,15 | 2,21 | | | |
| | | 30 | 2,11 | 2,19 | 2,30 | 2,05 | 2,15 | | | | |
| | | 45 | 2,16 | 2,22 | 2,93 | | 2,18 | | | | |

Графики зависимости плотности спеченного образца от времени измельчения и приложенного давления при температурах 1300°C и 1400°C показаны на рисунке 3.4-3.9. Видно, что плотность композитной керамики увеличивается с увеличением приложенного давления и увеличивается с увеличением времени измельчения. Когда приложенное давление достигает 2,5 МПа, а время измельчения достигает 30 мин, образец достигает максимума плотности, а затем при дальнейшем прессовании и измельчении плотность

образца существенно не меняется. В частности, значение плотности образца с 30%-ной добавкой компонентов особенно велико, достигая 2,93 при измельчении в течении 45 мин и давлении 3 МПа.

При сравнении влияния температуры спекания на плотность композиционной керамики видно, что плотность одних образцов увеличивается с повышением температуры спекания или удлинением времени выдержки, а некоторых уменьшается. Причиной повышенной плотности образца может быть, что по мере увеличения времени спекания происходит значительное уплотнение и рост зерен [22]. Причиной уменьшения плотности может быть то, что при этой температуре не происходит уплотнения.

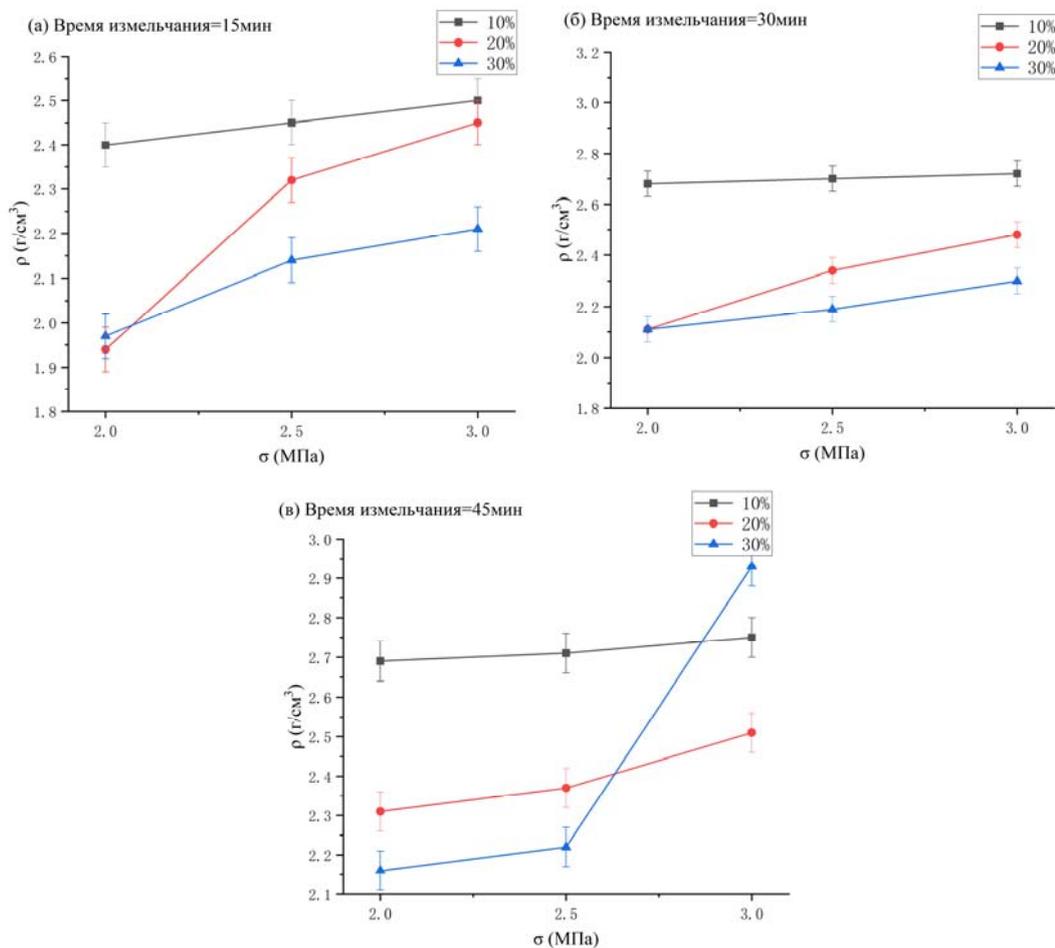


Рисунок 3.4 Зависимости плотности образцов от приложенного давления (температура спекания 1300°С в течение 1 часа).

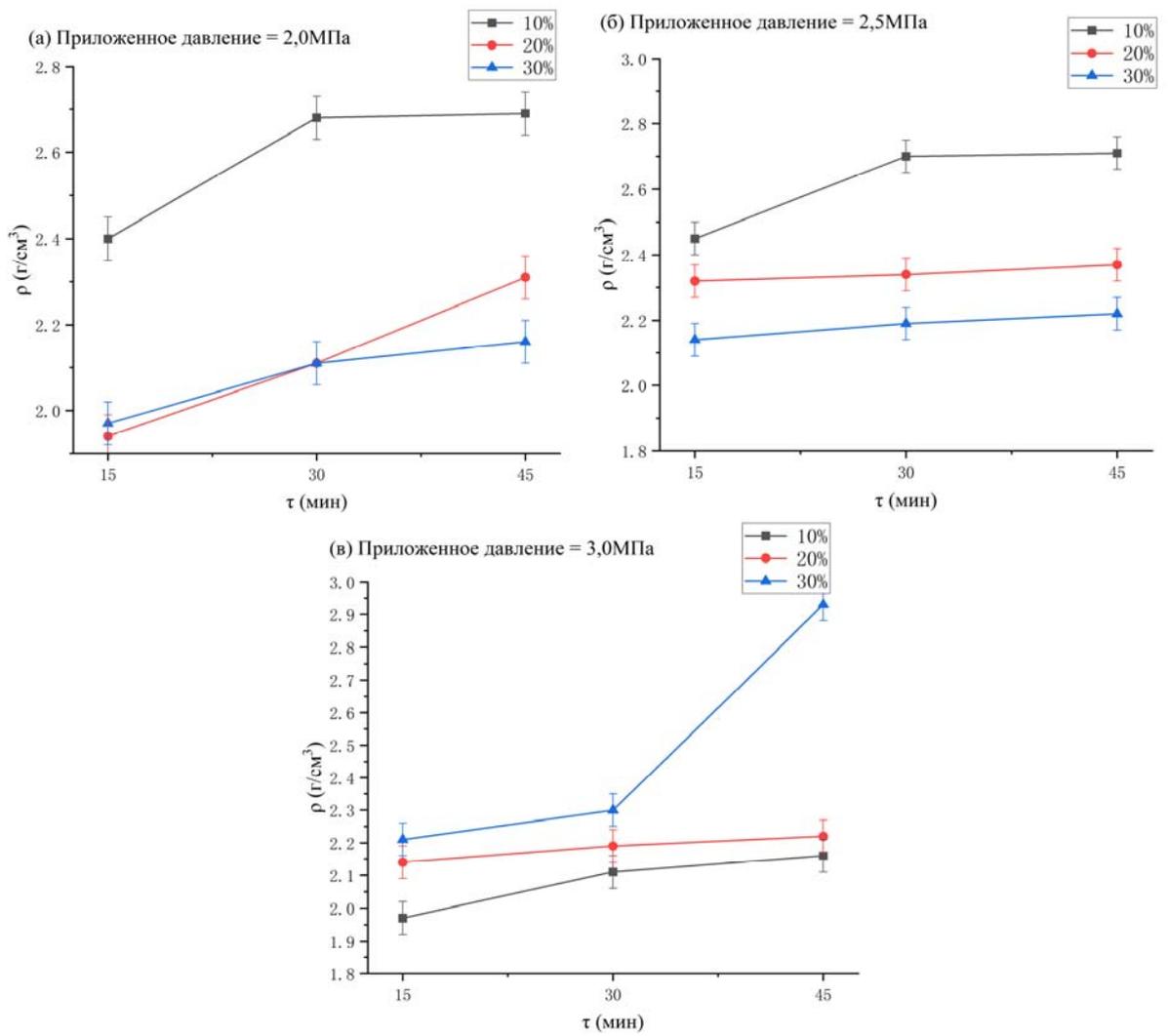
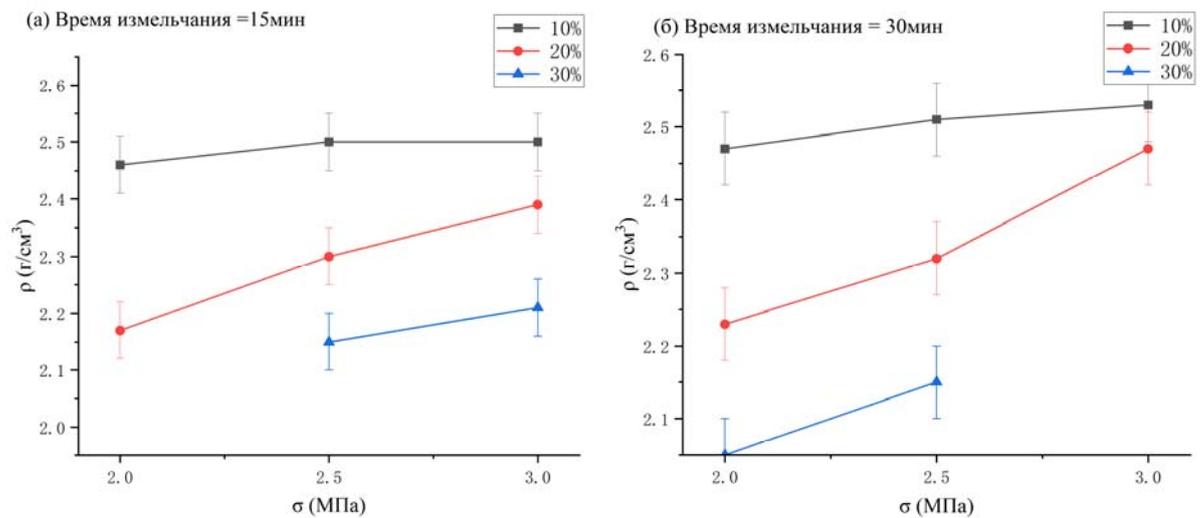


Рисунок 3.5. Зависимости плотности образцов от времени измельчения (температура спекания 1300°C в течение 1 часа).



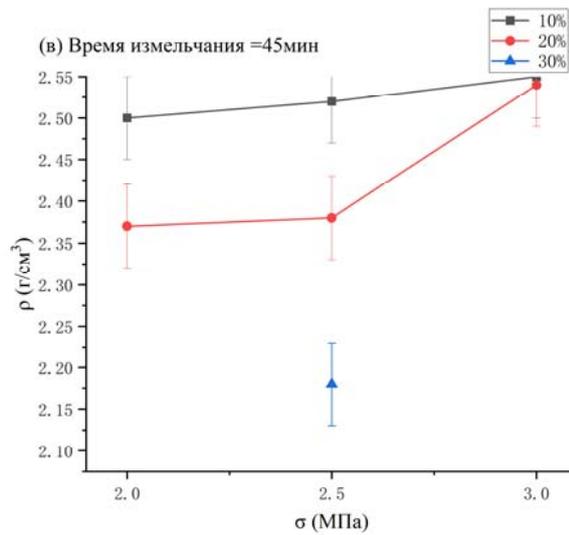


Рисунок 3.6. Зависимости плотности образцов от приложенного давления (температура спекания 1300°C в течение 2 часов).

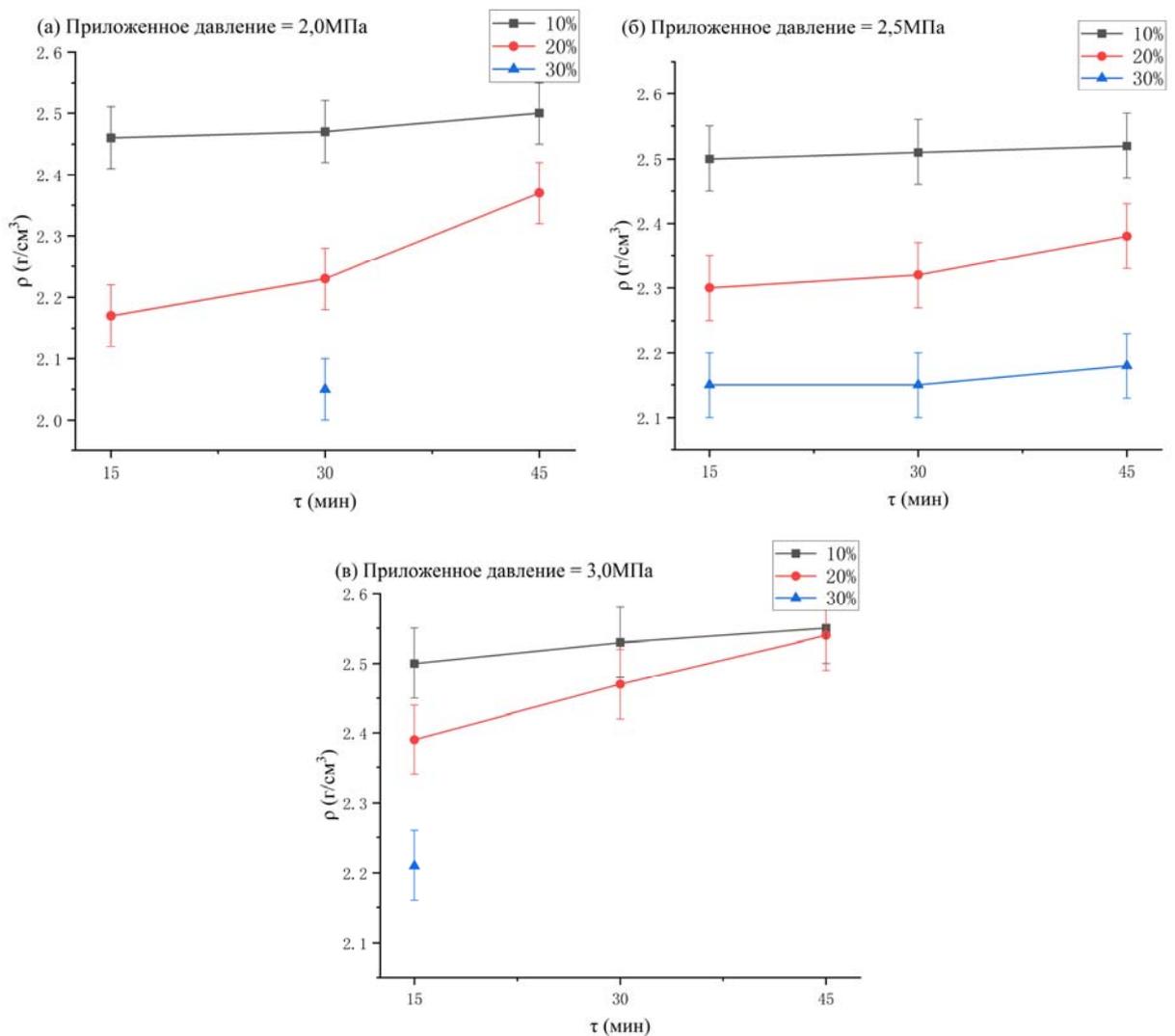


Рисунок 3.7. Зависимости плотности образцов от времени измельчения (температура спекания 1300°C в течение 2 часов).

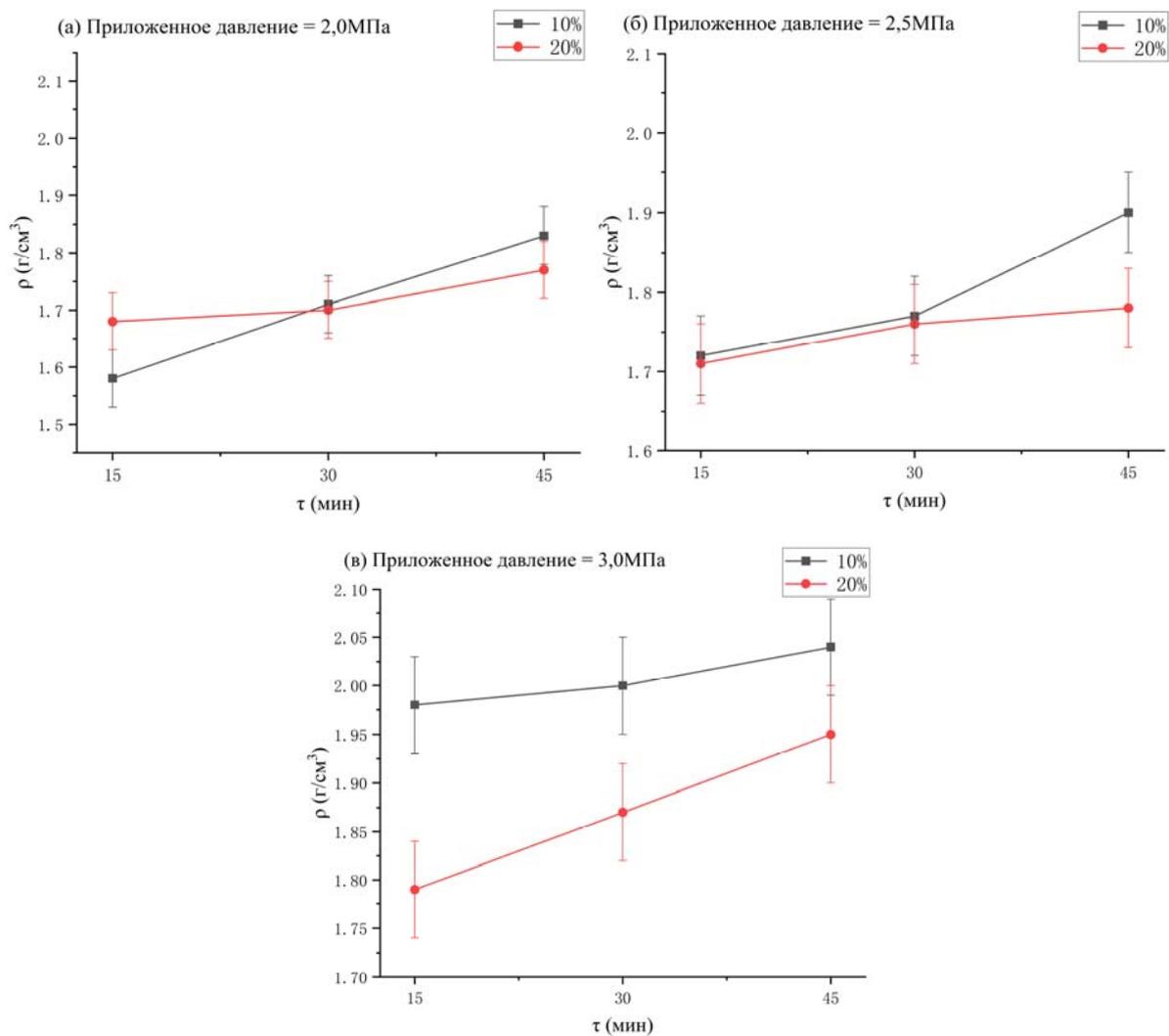
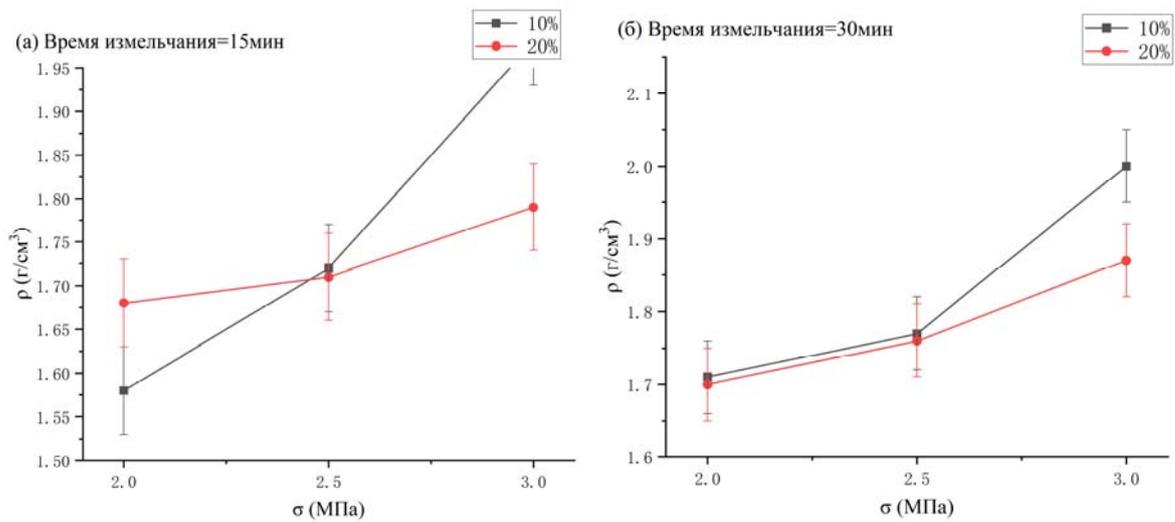


Рисунок 3.8. Зависимости плотности образцов от приложенного давления (температура спекания 1400°C в течение 1 часа).



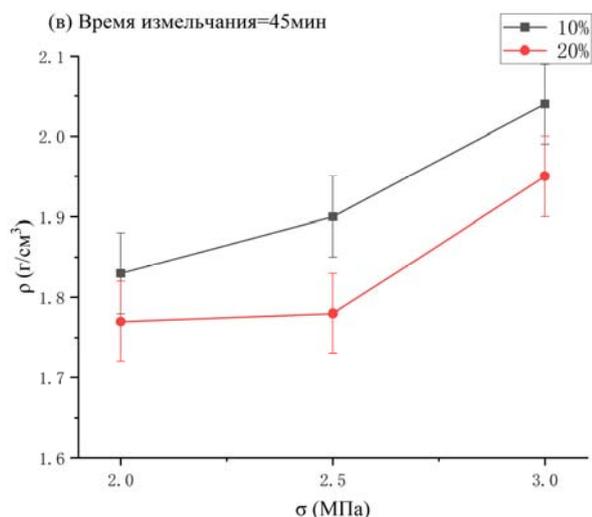


Рисунок 3.9. Зависимости плотности образцов от времени измельчения (температура спекания 1400°С в течение 1 часа).

На рисунках 3.4 – 3.9 представлены графики зависимости плотности образцов, полученных из порошков, обработанных при различном времени и спрессованных при разных давлениях. Видно, что повышение температуры спекания приводит к уменьшению плотности образцов. Однако наблюдается некоторое оплавление. Очевидно данная температура спекания высока для этих композиций.

Из полученных данных следует, что для керамики ВаТiО₃ с добавками 10 % и 30 % FSC оптимальным режимом является: время обработки порошка 45 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°С в течение 1 часа для получения максимальной плотности.

Для керамики ВаТiО₃ с добавкой 20 % FSZ оптимальным режимом получения керамики с высокими свойствами является – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 МПа, температура спекания 1300°С в течение 2 часов.

3.2 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 3.3.

Таблица 3.4 Измеренная импульсная электрическая прочность материала.

| Состав | Процентное соотношение, % | Время обработки, мин | Температура спекания, °С | Время испытаний, сек | Количество импульсов |
|--|---------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
| BaTiO ₃ – | 70-10-10-10 | 45 | 1300 – 1 час | 6350 | 5·10 ⁶ |
| Fe ₂ O ₃ – | 40-20-20-20 | 45 | 1300 – 2 часа | 2440 | 2·10 ⁵ |
| SiO ₂ – ZrO ₂ | 10-30-30-30 | 45 | 1300 – 1 час | 2120 | 1.8·10 ⁵ |

Выводы по раздору

В результате выполнения раздела «Результаты и обсуждение» можно сделать следующие выводы:

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°C и время спекания 1 час.

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

– для смеси с 30-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°C и время спекания 1 час.

3. Разработанная технология получения керамического материала позволила получить материал, обладающий хорошей электрической прочностью. Полученное максимальное значение электрической прочности составляет $5 \cdot 10^6$ В/м.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – Целью данной ВКР является синтез керамики BaTiO_3 , легированной Fe_2O_3 , SiO_2 и ZrO_2 , и изучение влияния температуры спекания, времени измельчения и величины давления, приложенного в форме, на плотность и диэлектрические свойства легированной керамики.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки о покрытиях различного состава:Z

- 1) Композиционных керамических материалов на основе ZrO_2 ;

2) Создание композиционных керамических материалов на основе $BaTiO_3 - Al_2O_3$.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип покрытия имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4.1 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|--|--------------|------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------|-------------|
| | | B_{ϕ} | B_{k1} | B_{k2} | K_{ϕ} | K_{k1} | K_{k2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Высокая прочность | 0,08 | 5 | 2 | 3 | 0,40 | 0,16 | 0,24 |
| 2. Термическая стабильность | 0,14 | 4 | 3 | 3 | 0,56 | 0,42 | 0,42 |
| 3. Ударопрочность | 0,11 | 4 | 2 | 5 | 0,44 | 0,22 | 0,55 |
| 4. Прочность на сжатие | 0,13 | 4 | 2 | 4 | 0,52 | 0,26 | 0,52 |
| 5. Простота изготовления | 0,06 | 3 | 4 | 3 | 0,18 | 0,24 | 0,18 |
| 6. Эффективность работы | 0,07 | 4 | 3 | 2 | 0,28 | 0,21 | 0,14 |
| 7. Безопасность | 0,1 | 4 | 1 | 3 | 0,40 | 0,10 | 0,30 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Цена сырья | 0,06 | 4 | 3 | 4 | 0,24 | 0,18 | 0,24 |
| 2. Реализация продукта | 0,07 | 5 | 2 | 2 | 0,35 | 0,14 | 0,14 |
| 3. Уровень охвата рынка | 0,05 | 4 | 2 | 3 | 0,20 | 0,10 | 0,15 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,09 | 4 | 3 | 4 | 0,36 | 0,27 | 0,36 |
| 5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок | 0,04 | 5 | 4 | 4 | 0,20 | 0,16 | 0,16 |
| Итого | 1 | 50 | 31 | 40 | 4,13 | 2,46 | 3,40 |

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки (Таблица 4.2). Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходило на

основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

| Сильные стороны | Слабые стороны |
|--|---|
| C1. Низкая цена исходного сырья. | Сл1. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования. |
| C2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции. | Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию. |
| C3. Простота изготовления. | Сл3. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. |
| C4. Экологичность технологии. | Сл4. Устаревшие приборы исследования |
| C5. Квалифицированный персонал. | Сл5. Вероятность получения брака. |
| Возможности | Угрозы |
| V1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ. | У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. |
| V2. Появление потенциального спроса на новые разработки. | У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок. |
| V3. Внедрение технологии в аэрокосмической области. | У3. Рост тарифов на электроэнергию |
| V4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж. | |
| V5. Государственные программы и федеральные целевые программы (ФЦП), реализация которых предполагает развитие высокотехнологичных отраслей отечественного материаловедческого комплекса. | |

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

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

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

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

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| | B1 | + | + | + | + | + |
| | B2 | - | - | - | - | - |
| | B3 | - | - | - | - | - |
| | B4 | - | - | - | - | - |
| | B5 | - | - | - | - | - |

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

| Сильные стороны проекта | | | | | | |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта | | С1 | С2 | С3 | С4 | С5 |
| | У1 | - | + | + | - | - |
| | У2 | - | + | - | - | - |
| | У3 | + | - | - | - | - |

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

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| | У1 | - | - | + | - | + |
| | У2 | - | - | - | - | - |
| | У3 | + | - | - | - | - |

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции.</p> <p>С3. Простота изготовления.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Устаревшие приборы исследования</p> |
|--|---|--|

| | | |
|--|---|---|
| | | Сл5. Вероятность получения брака. |
| <p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p> <p>В5. Государственные программы и федеральные целевые программы (ФЦП), реализация которых предполагает развитие высокотехнологичных отраслей отечественного материаловедческого комплекса.</p> | <p>Направления развития</p> <p>В1С2С3. Использование оборудования ТПУ позволяет создавать продукты с более высокой трещиностойкостью и ударопрочностью, и более простым производством.</p> <p>В3С2С4. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции и экологичность технологии являются хорошим основанием для внедрения технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В4С1С2. Хорошее качества и низкой себестоимости продукты дает возможность экспорта за границу.</p> | <p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл3Сл4Сл5. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p> |
| <p>Угрозы</p> <p>У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p> <p>У3. Рост тарифов на электроэнергию</p> | <p>Угрозы развития</p> <p>У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства и более простое производство.</p> <p>У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке.</p> <p>У3С1. Несмотря на рост тарифов на электроэнергию, цена сырья для нашей продукции ниже, что также может снизить цену продукта.</p> | <p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл3Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.</p> <p>У3Сл1. Упрощение технологического процесса для снижение потребления электроэнергии.</p> |

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.8

Таблица 4.8 Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|-------|---|-------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | Научный руководитель |
| | 2 | Календарное планирование выполнения работ | 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 образцов для эксперимента | Инженер |
| | 7 | Проведение эксперимента | Инженер |
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Обработка полученных данных | Инженер |
| | 9 | Оценка правильности полученных результатов | Инженер, Научный руководитель |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР) | 10 | Составление пояснительной записки | Инженер |

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

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

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

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

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

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы | Трудоёмкость работ | | | | | | Длительность работ в рабочих днях T_{pi} | Длительность работ в календарных днях T_{ki} |
|--|----------------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|---|---|
| | t_{min} , чел-дни | | t_{max} , чел-дни | | $t_{\text{ожид}}$, чел-дни | | | |
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.1 | Исп.2 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | 1 | - | 4 | - | 2,2 | - | 2,2 | 3 |
| 2. Календарное планирование выполнения работ | 1 | 1 | 4 | 4 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 3 |
| 3. Обзор научной литературы | - | 10 | - | 16 | - | 12,4 | 12,4 | 18 |
| 4. Выбор методов исследования | - | 2 | - | 4 | - | 2,8 | 2,8 | 4 |
| 5. Планирование эксперимента | 3 | 6 | 5 | 8 | 3,8 | 6,8 | 5,3 | 8 |
| 6. Подготовка образцов для эксперимента | - | 6 | - | 8 | - | 6,8 | 6,8 | 10 |
| 7. Проведение эксперимента | - | 10 | - | 16 | - | 12,4 | 12,4 | 18 |
| 8. Обработка полученных данных | - | 4 | - | 8 | - | 5,6 | 5,6 | 8 |
| 9. Оценка правильности полученных результатов | 2 | 4 | 6 | 8 | 3,6 | 5,6 | 4,6 | 7 |
| 10. Составление пояснительной записки | - | 6 | - | 12 | - | 8,4 | 8,4 | 12 |

| | | | | | | | | |
|---------------|---|----|----|----|------|----|------|----|
| Итого: | 7 | 49 | 19 | 84 | 11.8 | 63 | 62,7 | 91 |
|---------------|---|----|----|----|------|----|------|----|

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

| № | Вид работ | Исп | T_{ki} кал. дн. | Продолжительность работ | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|--------------|-------------------------|-------------------------|---|---|------|---|---|-----|---|---|-----|---|---|--|--|
| | | | | февр | | | март | | | апр | | | май | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика | Исп1 | 3 | █ | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Календарное планирование выполнения ВКР | Исп1 Исп2 | 3 | █ | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Обзор научной литературы | Исп2 | 18 | | █ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Выбор методов исследования | Исп2 | 4 | | | █ | | | | | | | | | | | |
| 5 | Планирование эксперимента | Исп1 Исп2 | 8 | | | █ | | | | | | | | | | | |
| 6 | Подготовка образцов для эксперимента | Исп2 | 10 | | | | █ | | | | | | | | | | |
| 7 | Проведение эксперимента | Исп2 | 18 | | | | | █ | | | | | | | | | |
| 8 | Обработка полученных данных | Исп2 | 8 | | | | | | | █ | | | | | | | |
| 9 | Оценка правильности полученных результатов | Исп1 Исп2 | 7 | | | | | | | | █ | | | | | | |
| 10 | Составление пояснительной записки | Исп2 | 12 | | | | | | | | | | █ | | | | |

Примечание:

█ – Исп. 1 (научный руководитель), █ – Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Данная часть включает затрат всех материалов, использованных для получения керамических образцов BaTiO_3 , легированных $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение образца BaTiO_3 , легированных $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$.

| Наименование статей | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Итого затраты, руб. |
|--------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------|
| Перчатки резиновые, технические | уп. | 1 | 1 792 | 1 792 |
| Пакет Зип-Лок 10*15см, 45мкм | уп. | 1 | 170 | 170 |
| Диоксид кремния SiO_2 | кг | 0,5 | 2820 | 1410 |
| Керамический бисер ZrO_2 | кг | 0,5 | 14200 | 7100 |
| Оксид железа Fe_2O_3 | кг | 0,5 | 2200 | 1100 |
| Титанат бария BaTiO_3 | кг | 0,5 | 10200 | 5100 |
| Сито 100/38 нерж ст 0,100 нерж сетка | шт. | 1 | 1900 | 1900 |
| Итого: | | | | 18572 |

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

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

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во ед. | Срок полезного использования, лет | Время использования, мес. | $H_A, \%$ | Цена оборудования, руб. | Амортизация |
|---------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Шаровая мельница Активатор «2SL» | 1 | 15 | 0,25 | 7 | 870000 | 1269 |
| 2 | Весы CAS MWP-300 | 1 | 3 | 0,25 | 33 | 19065 | 131 |
| 3 | Гидравлический пресс «P-20» | 1 | 35 | 0,2 | 3 | 20000 | 10 |
| 4 | Муфельная печь UED-16-12D | 1 | 15 | 0,2 | 7 | 139990 | 163 |
| Итого: | | | | | | 1573 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:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_o – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

| Исполнители НИ | $Z_{nc}, руб$ | k_p | 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 | 16,5 | 35430,5 |
| Инженер | 17000 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 33150 | 1743,1 | 63,7 | 111035,5 |
| Итого: | | | | | | | | 146466 |

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 35430,5 = 5314,6 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 111035,5 = 16655,3 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

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

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (35430,5 + 5314,6) = 12223,5 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (111035,5 + 16655,3) = 38307,2 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

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

4.3.5 Накладные расходы

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

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

| Статьи | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

| | | | | | |
|-------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Амортизация | Сырье, материалы | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Итого без накладных расходов |
| 1573 | 18572 | 146466 | 21969,9 | 50530,7 | 239111,6 |

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

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

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

$$Z_{\text{накл}} = (1573 + 18572 + 146466 + 21969,9 + 50530,7) \cdot 0,2 = 47822,3 \text{ руб.},$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Создание композиционных керамических материалов на основе $\text{BaTiO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ » по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

| № | Наименование статьи | Сумма, руб. | | | Примечание |
|---|--|----------------|---------|---------|-------------|
| | | Текущий Проект | Исп.2 | Исп.3 | |
| 1 | Материальные затраты НИР | 18572 | 20340 | 21698 | Пункт 4.3.1 |
| 2 | Затраты на специальное оборудование | 1573 | 2267 | 2948 | Пункт 4.3.2 |
| 3 | Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 146466 | 146466 | 146466 | Пункт 4.3.3 |
| 4 | Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 21969,9 | 21969,9 | 21969,9 | Пункт 4.3.3 |
| 5 | Отчисления во внебюджетные фонды | 50530,7 | 50530,7 | 50530,7 | Пункт 4.3.4 |

| | | | | | |
|---|-------------------|----------|----------|----------|----------------|
| 6 | Накладные расходы | 47822,3 | 48314,7 | 48722,5 | Пункт 4.3.5 |
| | Бюджет затрат НИР | 286933,9 | 289888,3 | 292335,1 | Сумма ст. 1- 6 |

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

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

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Композиционных керамических материалов на основе ZrO_2 ;
- 2) Создание композиционных керамических материалов на основе $BaTiO_3 - Al_2O_3$.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 286933,9$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 289648,3$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 290895,1$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{286933,9}{292335,1} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{289888,3}{292335,1} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{маж}}} = \frac{292335,1}{292335,1} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан 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 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|-------|
| 1. Физико-механические свойства | 0,3 | 4 | 3 | 4 |
| 2. Простота создания | 0,2 | 4 | 4 | 3 |
| 3. Стабильность работы | 0,3 | 4 | 4 | 5 |
| 3. Энергосбережение | 0,1 | 5 | 3 | 3 |
| 4. Материалоемкость | 0,1 | 5 | 4 | 3 |
| ИТОГО | 1 | 4,2 | 3,6 | 3,9 |

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{P1} = 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,2;$$

$$I_{P2} = 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 3,6;$$

$$I_{P3} = 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 3,9.$$

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

$$I_{\text{исп.i}} = \frac{I_{p-\text{исп.i}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}} \quad (20)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,2}{0,98} = 4,29, I_{\text{исп.2}} = \frac{3,6}{0,99} = 3,64, I_{\text{исп.3}} = \frac{3,9}{1} = 3,9.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|----------------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,98 | 0,99 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,2 | 3,6 | 3,9 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 4,29 | 3,64 | 3,9 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1 | 0,85 | 0,91 |

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

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 91 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 88; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 21;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 286933,9 руб;

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

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,98, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,2, по сравнению с 3,6 и 3,9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,29, по сравнению с 3,64 и 3,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5. Социальная ответственность

Объектом исследования является титанат бария (BaTiO_3) с различными добавками. Исследование выполнялось в лаборатории Национального исследовательского Томского политехнического университета (11 корпуса), которая оснащена оборудованием для проведения исследований в области материаловедения и технологии материалов.

С целью оценки степени безопасности изучения влияния $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ на свойства титаната бария в данном разделе ВКР необходимо рассмотреть правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности; потенциальные вредные и опасные факторы и способы снижения их воздействия; экологическую безопасность научного проекта, а также вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Организации должны соблюдать требования трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ [23].

Некоторые виды деятельности в лабораториях материалов являются работами в тяжёлых и вредных условиях. Гарантии и компенсации для таких работников связаны с:

- повышенной оплатой труда;
- сокращенной продолжительностью рабочего времени;
- дополнительным оплачиваемым отпуском;
- обеспечением лечебно-профилактическим питанием;
- досрочным назначением трудовой пенсии.

Компенсации и гарантии регламентируют трудовой кодекс Российской Федерации [23], локальные нормативные акты, коллективный договор, трудовой договор.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место располагается подвале в 11 учебном корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета, лаборатория представляет собой помещение размером 8 м на 6 м, высотой 4 м, в лаборатории нет окон (с видимым светом), постоянно 4 человека.

При проведении лабораторных работ работник лаборатории находится в положении стоя или сидя. Следовательно, при организации рабочего места лаборанта требуется соблюдение нормативов ГОСТ 12.2.032-78 [24] и ГОСТ 12.2.033-78 [25].

Лаборатория оснащена отоплением и вентиляцией. Для отделки помещений используют диффузно-отражающие материалы. Поверхность пола соответствует следующим требованиям: ровность, удобство для очистки, наличие антистатических свойств, отсутствие выбоин. В помещении держат аптечку первой медицинской помощи и огнетушитель. Расположение рабочего стола обеспечивает удобство работы за ним и дает возможность осмотра, а также ремонта находящегося на нем оборудования.

5.2 Производственная безопасность

Исследование выполнялось в лаборатории Томского политехнического университета (11 корпуса). Для проведения исследования применяли шаровую мельницу, весы, сито, анализатор импеданса, вытяжная система и т. д.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [26]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | Нормативные документы |
|---------------------------------|-------------|--------------------------|
|---------------------------------|-------------|--------------------------|

| | Разработка | Изготовление | Эксплуатация | |
|---|------------|--------------|--------------|--|
| 1. Превышение уровня шума | + | + | + | ГОСТ 12.1.003-2014 [5] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [6] ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ [8] |
| 2. Отклонение показателей микроклимата | | + | + | ГОСТ 12.1.005-88 [10] ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ [12] СанПиН 1.2.3685-21 [13] ГОСТ 12.4.011-89 [14] |
| 3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | ГОСТ 12.1.038-82 [15] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [18] |
| 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны | + | + | | СанПиН 1.2.3685-21 [13] |

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.1.1 Анализ показателей шума

Гигиенические нормативы по шуму устанавливаются национальным законодательством [27].

В таблице 5.2 отражены допустимые уровни шума по Санитарным нормам [28].

Таблица 5.2 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

| Категория напряженности трудового процесса | Категория тяжести трудового процесса | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | легкая физическая нагрузка | средняя физическая нагрузка | тяжелый труд 1 степени | тяжелый труд 2 степени | тяжелый труд 3 степени |
| Напряженность легкой степени | 80 | 80 | 75 | 75 | 75 |
| Напряженность средней степени | 70 | 70 | 65 | 65 | 65 |
| Напряженный труд 1 степени | 60 | 60 | - | - | - |
| Напряженный труд 2 степени | 50 | 50 | - | - | - |

Работа инженера в лаборатории относится к категории работ с легкой степенью напряженности и с легкой физической нагрузкой. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 80 дБА.

Длительное воздействие шума обуславливает возникновение определенных заболеваний нервной системы. Воздействие шума, превышающего норму, вызывает снижение слуха, появление головных болей, и т. п. [29].

Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативам. Если нормы по шуму превышены, следует принимать меры по снижению уровня шума и защите работников от его воздействия в соответствии с [30], используя в том числе такие меры, как:

- применение противозумных наушников;
- использование звукопоглощающих облицовок;
- использование поглотителей звука.

Кроме того, необходимо рационально размещать технологическое оборудование, а также использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

5.2.1.2 Анализ показателей микроклимата

Микроклиматом производственных помещений является климат внутренней среды этих помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха [31].

Таблица 5.3 содержит оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения для категории работ «Легкая Ia» по ГОСТ 12.1.005-88 [32].

Таблица 5.3 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

| | | | |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|
| Тр ри од го | Температура, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения, м/с |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|

| | оптимальная | допусти мая | | | | оптимальная | допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более | оптимальная, не более | допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных |
|---------------|-------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------|--|--------------------------|---|
| | | верхняя граница | | нижняя граница | | | | | |
| | | на рабочих местах | | | | | | | |
| | | посто- янных | не- посто- янных | пос- тоян- ных | не- посто- янных | | | | |
| Холод- ный | 22- 24 | 25 | 26 | 21 | 18 | 40-60 | 75 | 0,1 | Не более 0,1 |
| Теплый | 23- 25 | 28 | 30 | 22 | 20 | 40-60 | 55 (при 28°C) | 0,1 | 0,1-0,2 |

С влажностью воздуха связана терморегуляция организма: следствием высокой влажности является затруднение терморегуляции, слишком низкая влажность приводит к пересыханию слизистой оболочки дыхательных путей.

С движением воздуха существенно связано самочувствие человека: движение воздуха меньше нормы вызывает головную боль; движение воздуха больше нормы может быть причиной переохлаждения и простудных заболеваний.

Если температуры окружающего воздуха высокие, то это может приводить к перегреву, обмороку, тепловому удару, обезвоживанию. Если температура окружающего воздуха на рабочем месте слишком низкая, то это может приводить к простудным заболеваниям, снижению иммунитета, замерзанию [33].

Исследовательская лаборатория располагается в закрытой маленькой комнате, в комнате нет больших окон, температура в комнате ниже, а движение воздуха менее плавный. В такой комнате существует опасность, что скорость движения воздуха недостаточна, и исследователи не могут работать в этой среде в течение длительного периода времени.

В ходе выполнения данной ВКР в лаборатории используется оксид железа (Fe_2O_3) и оксид кремния (SiO_2), данные вещества относятся к третьему классу опасности – вещества умеренно опасные. [34], их ПДК – 4мг/м^3 (Fe_2O_3) и 1мг/м^3 (SiO_2) [35].

В случае превышения ПДК вредных веществ в воздухе у работников лаборатории может случиться головокружение, потеря сознания, нарушение памяти и пр. Порошки могут вызвать бронхиальную астму и расстройство кишечного тракта. Возможно раздражение кожного покрова, глаз. Порошки способны вызывать аллергические заболевания. Последствия для человека от запылённости наночастицами могут быть весьма серьезны – это болезни дыхательной системы, ее внутренние повреждения, повышенная вероятность появления аллергий и раздражений.

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, должны быть разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ, а также выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий.

Необходимо аккуратно работать с порошками, при проветривании помещения, необходимо убирать порошки от прямого воздействия поступающего воздуха. Уменьшению запыленности помещений могут служить также следующие меры: соблюдение герметичности оборудования; недопущение скопления оседающей пыли на оборудовании; ежедневная текущая очистка помещений и регулярная генеральная уборка пыли с использованием централизованной системы пневмоуборки. Для предотвращения попадания вредных веществ в организм работника рекомендуется использовать респираторы, противогазы, маски; очки; перчатки; специальная противопылевая одежда; защитные пасты и мази [36]. Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория.

Для обеспечения соответствия показателей микроклимата требуемым оптимальным и допустимым нормам следует проводить измерение показателей микроклимата в соответствии с требованиями, представленными в СанПиН 1.2.3685-21 [35].

Чтобы поддерживать требуемые параметры микроклимата в рабочей зоне, используют защиту от источников теплового излучения, систему вентиляции, кондиционирование воздуха, отопление, влажную уборку, увлажнение воздуха.

В лабораториях материаловедения требуется выполнение санитарно-гигиенических, медико-биологических и организационно-технических мероприятий:

- вентиляция и очистка воздуха;
- кондиционирование воздуха;
- локализация вредных факторов;
- отопление;
- автоматический контроль и сигнализация;
- дезодорация воздуха;
- использование оборудования и препаратов для дезинфекции, оградительных устройств, знаков безопасности;
- применение перчаток и респираторов в качестве средств защиты рук и органов дыхания [36].

5.2.1.3 Анализ электробезопасности

Электрический ток рассматривается в качестве одного из повышенных источников опасности. В таблице 5.4 показаны предельно допустимые значения электрического тока при неаварийном режиме работы электрооборудования [37].

Под чем понимается что – о терминах и их определениях

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и

ТОКОВ

| Род тока | U , В | I , мА |
|--------------------|----------|----------|
| | не более | |
| Переменный, 50 Гц | 2,0 | 0,3 |
| Переменный, 400 Гц | 3,0 | 0,4 |
| Постоянный | 8,0 | 1,0 |

В качестве основных источников поражения электрическим током выделяются поврежденная проводка, розетка, выключатель и открытые металлические участки электроприборов.

К основным причинам воздействия тока на человека относятся ситуации: 1) человек случайно прикасается или приближается на опасное расстояние к токоведущим частям; 2) в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала на металлических частях оборудования появляется напряжение; 3) напряжение появляется на отключённых токоведущих частях, где работают люди, в связи с ошибочным включением установки; 4) провод замыкается на землю, в результате чего появляется шаговое напряжение на поверхности земли [38].

Электрический ток оказывает на человека следующие виды воздействия:

1) термическое – приводит к ожогам, нагреву кровеносных сосудов и других органов, вследствие чего в них появляются функциональные расстройства;

2) электролитическое – для электролитического действия тока характерно разложение крови и других органических жидкостей, что приводит к нарушениям их физико-химического состава;

3) механическое – повреждения (разрыв, расслоение и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта;

4) биологическое – может являться причиной нарушения и полного прекращения деятельности органов дыхания и кровообращения [39].

Электробезопасность включает следующие технические и организационные средства и мероприятия, предназначенные для обеспечения защиты людей от воздействия тока:

– выполнение электроустановок в соответствии с требованиями электробезопасности;

– изоляция токоведущих частей;

– применение системы защитных проводов [40].

5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны

Нормы освещения лабораторий по [35] даны в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в лабораториях

| Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещённости (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м | Естественное освещение КЕО e_n , % | | Совмещённое освещение КЕО e_n , % | | Искусственное освещение | | | | |
|--|---|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---|--------|
| | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | Освещённость, лк | | Показатель диска форта, М, не более | Коэффициент пульсации и освещённости, КЕО e_n , %, не более | |
| | | | | | при комбинированном освещении | при общем освещении | | | все го |
| Г-0,8 | 3,5 | 1,2 | 2,1 | 0,7 | 500 | 300 | 400 | 40 | 10 |

Неблагоприятные условия освещения могут вызывать утомление зрительного анализатора, снижать работоспособность, приводить к профессиональным заболеваниям [41].

Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения способствует световому голоданию и снижению интенсивности обмена веществ в организме.

Для правильного освещения в лаборатории необходимо верно выбирать вид освещения, количество и расположение ламп, тип осветительных приборов. Лаборатория должна быть освещена верхним общим освещением.

Расчет освещенности помещения

Помещение с размерами: длина $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 4$ м. Высота рабочей поверхности $h_{pn} = 0,8$ м. По нормам освещения в лаборатории рекомендуется 300–500 лк при общем освещении.

Определим количество светильников, необходимое для освещения лаборатории при $E = 300$ лк. Общее освещение осуществляется светильниками

ARS/R. Оптическая часть светильника ARS/R включает в себя экранирующую решетку, которая выполнена из зеркального алюминия и монтируется к корпусу посредством скрытых пружин. В одном светильнике 4 ЛЛ мощностью по 17 Вт.

- Световой поток лампы $\Phi_{л} = 1425$ лм.
- Коэффициент отражения стен $R_c = 50$ %, потолка $R_n = 70$ %.
- Коэффициент запаса $K_3 = 1,5$.

Высота светильника над рабочей поверхностью h , м, определяется по формуле:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 4 - 0,8 - 0,05 = 3,15 \quad (5.1)$$

где h_c – расстояние от светильника до потолка, м; h_{pn} – высота рабочей поверхности над уровнем пола, м (принимается равной 0,8 м).

Определим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{3,15 \cdot (8 + 6)} = 1,09 \quad (5.2)$$

Коэффициент использования светового потока: $U = 0,54$. При расчете числа необходимых светильников используем метод светового потока. Их количество рассчитывается по следующей формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{л}} = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5}{0,54 \cdot 4 \cdot 1425} \approx 7 \quad (5.2)$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность, лк; S – площадь освещаемого помещения, м²; K_3 – коэффициент запаса; U – коэффициент использования; $\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы, лм.

Таким образом, количество светильников ARS/R, необходимое для освещения лаборатории при $E = 300$ лк, равно 7.

Для нашего помещения необходимо общее количество светового потока:

$$\Phi_{об} = \Phi_{л} \cdot N = 1425 \cdot 7 = 9975 \text{ лм.}$$

Используемое в лаборатории освещение обеспечивает достаточную освещенность рабочей поверхности, освещенность стабильная, без блескости и без теней.

5.3 Экологическая безопасность

В процессе проведения исследования выполняли измельчение, прессование и спекание порошка с определенным соотношением состава $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$.

При выполнении исследования нет необходимости применения особых средств защиты селитебной зоны. Лаборатория соответствует нормативным документам [42].

Одним из возможных вредных факторов для окружающей среды при создании композиционного керамики $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ может быть распространение порошка BaTiO_3 , Fe_2O_3 и SiO_2 в воздушной среде. Средства защиты атмосферного воздуха от выбросов включают очистку выбросов от примесей в специальных аппаратах, таких как циклоны, обеспечивающих улавливание частиц крупнее 5 мкм с эффективностью до 0,95, рукавные фильтры – улавливание частиц крупнее 0,1 мкм с эффективностью до 0,999, и устройствах перед поступлением газов в атмосферу; рассеивание очищенных выбросов в атмосферном воздухе. Испарения, появляющиеся при проведении исследования, не превышают ПДК [35].

Для приготовления порошковой смеси $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ с определенным соотношением и прессование в форму использовались экспериментальные оборудования, при этом небольшая часть порошка осталась на весах, сосуде и форме. Данные остатки смываются водой при мытье приспособлений, и попадают в трубопроводную систему. Из-за этого порошок BaTiO_3 , Fe_2O_3 и SiO_2 может попасть в почву и в подземные воды. О своем исследовании Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-

химическими, биологическими и термическими методами до необходимого качества. Для очистки сточных вод от органических растворителей используют методы экстракции, ректификации, абсорбция, обратный осмос и ультрафильтрация и др. Превышение ПДК может оказать пагубное влияние на употребляющих такую воду людей, скот и растения. Концентрация в воде отходов, образовавшихся в процессе исследования, настолько мала, что вреда окружающей среде не принесет.

В процессе спекания порошковой смеси $\text{BaTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ образуются твердые отходы крошек композитной керамики. Попадая в литосферу, порошковые материалы могут менять микробиологическую и ферментативную активность почв, активно вступая во взаимодействие с живыми организмами, обитающими в этой среде. Утилизация отходов должна осуществляться в соответствии с действующим законодательством. Твердые отходы, а также порошковые системы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Утилизация одноразовых средств индивидуальной защиты должна проходить в специальные герметичные контейнеры.

Таким образом, можно сказать, что в работе применены малоотходные технологии, исключая попадание в атмосферу, гидросферу и литосферу вредных веществ в количестве, превышающем ПДН.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, которые являются причиной нарушения безопасности жизнедеятельности.

Принято выделять 2 категории основных причин возникновения чрезвычайных ситуаций: 1) внешние – стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов и т.д.; 2) внутренние – сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина и т. п.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера называются ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения атмосферы отравляющими веществами. Следствием ЧС техногенного характера могут быть внезапное обрушение зданий и сооружений, нарушение работы энергетических сетей, коммунального жизнеобеспечения, очистных сооружений, технологических линий и т. д.

В случае возникновения ЧС на предприятии, в лаборатории необходимо выполнить следующий комплекс мероприятий: 1) эвакуировать; 2) укрыть людей в защитных сооружениях; 3) обеспечить индивидуальными средствами защиты; 4) организовать медицинскую помощь пострадавшим.

Наиболее распространенной вероятной ЧС в лаборатории является пожар.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-П, так как в нем т. к. в нём присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [43].

Пожар может происходить в результате причин электрического и неэлектрического характера. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня); самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия: а) требуется, чтобы сотрудники лаборатории прошли противопожарный инструктаж; б) сотрудники должны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться; в) требуется, чтобы был обеспечен правильный тепловой и

электрический режим работы оборудования; г) необходимо содержание пожарного инвентаря и первичных средств пожаротушения в исправном состоянии и расположение их на видном и легко доступном месте.

Если в организации возник пожар, то после его ликвидации определяется возможность дальнейшего использования оборудования и имеющихся коммуникаций. В лаборатории исследовательское оборудование, трубопроводы, электрооборудование проверяются на соответствие их состояния нормам пожарной безопасности. В случае отсутствия повреждений можно продолжать работу [44].

Выводы по разделу

В результате проведенных исследований в рамках раздела «Социальная ответственность» были изучены правовые нормы трудового законодательства при проведении исследования по изучению создания композиционных керамических материалов на основе $\text{BaTiO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

Также проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут появляться при процессе исследования в лаборатории, при разработке и эксплуатации проекта, как: показатели микроклимата, уровень шума, освещенность рабочей зоны, значения опасности электрической цепи, потенциальные опасности пожара. Были описаны мероприятия по снижению уровней воздействия данных факторов.

Рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. В процессе выполнения исследования было выявлено, то что микропорошок и отходы, полученные в ходе исследований не оказывали влияние на гидросферу и литосферу. Во избежание загрязнения окружающей среды отходы утилизировались в строгом соответствии с соответствующими документами.

Проанализированы природные и технические чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории. Для предотвращения чрезвычайных

ситуаций были разработаны превентивные меры, а также разработаны процедуры для обработки чрезвычайных ситуаций. Таким образом, при проведении лабораторных исследования могут применяться требования и меры, указанные в работе, а также порядок действий при чрезвычайных ситуациях также может быть задействован на производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы получена композиционная керамика с содержанием легирующих 10%, 20% и 30% добавок $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$. Исследовано изменение плотности смешанного порошка после измельчения, прессования и спекания. Сделаны следующие выводы:

1. Плотность композитной керамики уменьшается при добавлении добавок. Плотность композитной керамики увеличивается с увеличением времени измельчения и приложенного давления.

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°C и время спекания 1 час.

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

– для смеси с 30-ной добавкой – время обработки порошковой смеси 45 минут, давление прессования 3 Мпа, температура спекания 1300°C и время спекания 1 час.

3. Среди всей изученной композитной керамики, образцы с 10% добавками, проводили измельчение в течение 45 минут и спеканием при 1300°C в течение 1 часа получили максимальную диэлектрическую прочность.

4. В разделе «Финансовый менеджмент» проведен SWOT анализ научного исследования. Для лучшего планирования проведения работ и реализации труда исполнителей была построена ленточная диаграмма Ганта. Бюджет научно-технического исследования составляет 286933,9 руб., данный НИР является наиболее эффективным вариантом исполнения по сравнению с аналогами.

5. В результате раздела «Социальная ответственность» были проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе исследований в лаборатории, при разработке и эксплуатации проекта. Также проанализированы природные и технические чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций были разработаны превентивные меры, а также разработаны процедуры для обработки чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Su, H. Study on High Temperature (125°C, 150°C, 190°C) Stable BaTiO₃ Ceramic Dielectric System with High Dielectric Constant // Tianjin. - Tianjin University. – 2006.
2. Battisha, I.K. Structure and dielectric studies of nano-composite Fe₂O₃: BaTiO₃ prepared by sol–gel method / I. K. Battisha, A. B. A. Hamad, R. M. Mahani // Physica B: Condensed Matter. – 2009. – Vol 404. – P. 2274-2279.
3. Kingery, W. D., Bowen, H. K., Donald, R. Introduction to ceramics. – 1976.– P. 926–927.
4. Hench, L.L., West, J. K. Principles of electronic ceramics. – 1989. – P. 244–247.
5. Rani, A. Structural, Electrical, Magnetic and Magnetoelectric properties of Fe doped BaTiO₃ ceramics / A. Rani, J. Kolte, S. Vadla, P. Gopalan // Ceramics International. – 2016. – Vol 42. – P. 8010-8016.
6. Rawat, M. Study of structural, electrical, magnetic and optical properties of 0.65BaTiO₃–0.35Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃–BiFeO₃ multiferroic composite / M. Rawat, K. Yadav / Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Vol.597. – P. 188-199.
7. Guo Z. Structural, Magnetic And Dielectric Properties Of Fe-doped BaTiO₃ Solids / Z. Guo, L. Yang, H. Qiu, X. Zhan, J. Yin, L. Cao // Modern Physics Letters B. – 2012. – Vol 26. – No. 09, 1250056.
8. Lee Y. Effect of SiO₂ addition on the dielectric properties and microstructure of BaTiO₃-based ceramics in reducing sintering / Y. Lee, W. Lu, S. Wang, C. Lin // International Journal of Minerals Metallurgy and Materials. – 2009. – Vol.16. – P. 124-127.
9. Luo Y. Study on Dielectric Properties of SiO₂-doped BaTiO₃ Ceramics / Y Luo, Y Pu, P. Zhang, J. Zhao, Y. Wu, Y. Liu // Ferroelectrics. – 2016. – Vol.492. – P. 10-16.

10. Wang C. Effect of SiO₂ on dielectric properties of core-shell Sr and Tm co-doped BaTiO₃ / C. Wang, Y. Fan, X. Zhao, A. Du, R. Ma, X. Cao // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol.737. – P. 213-220.
11. Arlt G. Dielectric properties of fine - grained barium titanate ceramics / G. Arlt, D. Hennings, G. De // Journal of Applied Physics. – 1985. – Vol.58. – P. 1619-1625.
12. Oksuz K. Influence of ZrO₂ Addition on the Structure and Dielectric Properties of BaTiO₃ Ceramics / K. Oksuz, S. Sen, U. Sen // Acta physica polonica A. – 2017. – Vol. 131 – P. 197-199.
13. Molokhia N. Dielectric properties of BaTiO₃ modified with ZrO₂ / N. Molokhia, M. Issa // Pramana - J Phys 11. – 1978 – P.289–293 (1978).
14. Choudhury, S. Structural, Dielectric and Electrical Properties of Zirconium Doped Barium Titanate Perovskite / S. Choudhury, S. Akter, M. Rahman, A. Bhuiyan, S. Rahman, N. Khatun, M. Hossain // Journal of Bangladesh Academy of Sciences. – 2008. – Vol. 32 – P. 151-159.
15. Paik, K. Epoxy/BaTiO₃ (SrTiO₃) Composite Films and Pastes For High Dielectric Constant and Low Tolerance Embedded Capacitors in Organic Substrates / K. Paik, J. Hyun, S. Lee, K. Jang // 2006 1st Electronic Systemintegration Technology Conference. – 2006. – P. 794-801.
16. Liu, C. Sintering and densification mechanisms of tantalum carbide ceramics / C. Liu, A. Wang, T. Tian, L. Hu, W. Guo, Q. He, J. Xie, W. Wang, H. Wang, Z. Fu // Journal of the European Ceramic Society. – 2021. – Vol 41. – P. 7469-7477.
17. Park, Y. Effect of external pressure and grain size on the phase transition in the Gd-doped BaTiO₃ ceramic / Y. Park, K. Cho, H. Kim // Materials Research Bulletin. – 1997. – Vol 32. – P. 1485-1494.
18. Chen, X. Effect of the particle size on the performance of BaTiO₃ piezoelectric ceramics produced by additive manufacturing / X. Chen, J. Sun, B. Guo, Y. Wang, S. Yu, W. Wang, J. Bai // Ceramics International. – 2022. – Vol 48. – P. 1285-1292.
19. Lather, S. Effect of mechanical milling on structural, dielectric and magnetic properties of BaTiO₃–Ni_{0.5}Co_{0.5}Fe₂O₄ multiferroic nanocomposites. / S. Lather,

- A. Gupta, J. Dalal, V. Verma, R. Tripathi, A. Ohlan // *Ceramics International*. – 2017. – Vol 43. – P. 3246-3251.
20. Upadhyaya, G. *Powder Metallurgy Technology*. – 2002. – P. 42.
21. ГОСТ 6433.3-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении (Дата введения: 01.07.1972).
22. Kim, H. Sintering of nanocrystalline BaTiO₃. / H. Kim, H. Han. // *Ceramics International*. – 2004. – Vol 30. – P. 1719-1723.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
24. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
25. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
26. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
27. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
28. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.)
29. Влияние шума на организм человека [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Карачаево-Черкесской республике. – 2011. – URL: <http://09.rospotrebnadzor.ru/content/vliyanie-shuma-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 01.11.2021).
30. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
31. Микроклимат на рабочем месте [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и

- благополучия человека по Кемеровской области – Кузбассу. – 2016. – URL: <http://42.rospotrebnadzor.ru/content/874/54136/> (дата обращения: 15.11.2021).
32. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
33. Мушников, В. С. Условия труда работающих: влияние нагревающего микроклимата промышленных помещений на организм человека: Методическая разработка / В. С. Мушников, В. В. Вьюхин, В. И. Лихтенштейн, Л. Г. Турчанинов. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 22 с.
34. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (дата введения: 01.01.1977).
35. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением № 2 от 28 января 2021 г.).
36. ГОСТ 12.4.011-89. ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация (дата введения: 01.07.1990).
37. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
38. Назаренко, О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 144 с.
39. Куликов, Г. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Г. Б. Куликов. – М.: МГУП, 2010. – 408 с.
40. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2011).
41. Михалёва, К. А. Влияние параметров световой среды на здоровье человека / К. А. Михалёва [Электронный ресурс] // Городской округ Верхотурский. – 2017. – URL: <http://adm-verhotury.ru/social/helth/media/2017/10/16/vliyanie-parametrov-svetovoj-sredyi-na-zdorove-cheloveka/> (дата обращения: 24.01.2022).
42. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и

питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 14 февраля 2022 года).

43. ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями от 30 апреля 2021 года).

44. ВНЭ 5-79. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности (утв. Министерством химической промышленности 25 июля 1979 г.).