

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им. Н.М. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Получение и исследование свойств проницаемой технической керамики УДК <u>666.64-047.37</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна		4.06.18

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хабас Тамара Андреевна	Д.Т.Н		4.06.18

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Ю.В.	К.Т.Н.		16.05.18

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
18.03.01 Химическая технология	Ревва И.Б.	К.Т.Н, доцент		05.06.18

Томск – 2018 г.

**Планируемые результаты обучения
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
18.03.01 (240100) Химическая технология**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), СДИО(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), СДИО (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), СДИО (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) (ОК-9, ОК-10, ОК-13, ПК-4, 7, 10, 12 -17, 26) СДИО (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), СДИО (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) СДИО (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), СДИО (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), СДИО (п. 2.4)
P9	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), СДИО (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) СДИО (п. 4.7, 4.8, 3.1)

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Рубин 19.02.18 *Ревва И.Б.*

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна

Тема работы:

Получение и исследование свойств проницаемой технической керамики	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.02.2018 № 1129/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.18
--	----------


ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: пористые керамические материалы на основе диоксида циркония с выгорающим органическим порообразователем.</p> <p>Задачи исследования:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) изучение процесса перекристаллизации порообразователя-карбамида; 2) определение свойств проницаемой технической керамики с добавлением в шихту перекристаллизованного карбамида и наноразмерного оксидного компонента. <p>Нанопорошки и карбамид безопасны для окружающей среды, являются дешёвыми для использования в технической керамике.</p>
---	---


<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Аналитический обзор литературных источников;</p> <p>2. Постановка цели и задач исследования;</p> <p>3. Методы исследований;</p> <p>4. Экспериментальные исследования;</p> <p>Заключение по работе</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент, к.э.н. Верховская Марина Витальевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент, к.т.н. Волков Юрий Викторович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>19.02.2018</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хабас Т.А.	Д.Т.Н		19.02.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна		19.02.18

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01. Химическая технология
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

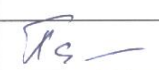
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

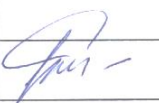
Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
4.06.2018	Основная часть	60
8.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
16.05.2018	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хабас Т.А.	Д.Т.Н		15.02.18

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
18.03.01 Химическая технология	Рева И.Б.	к.т.н, доцент		19.02.18

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна

Школа	ИШНПТ	Подразделение	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Премиальный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

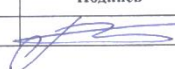
1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование структуры работ, их трудоемкость, разработка графика проведения исследования, расчет бюджета исследования: затраты на сырье, оборудование, заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя эффективности: определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности; сравнение эффективности разработки с аналогами.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT-анализа</i>
3. <i>График проведения и бюджет научно-технического исследования</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В	к.э.н.		24.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна		24.04.18

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна

Школа	ИШНПТ	Подразделение	Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы); – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера). 	<p>Цель работы – Получить и исследовать свойства проницаемой технической керамики. Работы проводились в химической лаборатории НОЦ Н.М. Кижнера. Лаборатория имеет размеры 12×7×4,2 м, окраска потолка светлая, стены и пол – темные.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.</p>

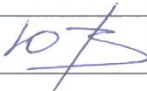
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 	<p>В качестве вредных факторов выделены: отклонение показателей микроклимата, а также недостаточное освещение рабочей зоны. Приведены рекомендации по улучшению микроклимата в лаборатории, а также расчет искусственного освещения.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой</p>	<p>В качестве опасных факторов выявлены</p>

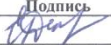
<p>произведённой среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>движущиеся машины и механизмы, химические факторы (превышение ПДК парафина), возможность возникновения пожара. Приведены рекомендации к мерам пожарной безопасности.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Предусмотрена защита селитебных и природных зон от негативного воздействия на атмосферу, гидросферу, литосферу, согласно нормативным документам: ГОСТ 12.1.005-88.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Для обеспечения безопасности людей в ЧС приведены:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны..
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>1. Схема размещения светильников в лаборатории;</p> <p>2. План эвакуации сотрудников из лаборатории.</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	К.Т.Н.		23.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г41	Дьяконова Екатерина Владимировна		23.04.18

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 109 страницах, содержит 46 рисунков и 32 таблицы. Использовано литературных источников - 51.

Ключевые слова: пористая керамика, порообразователь, карбамид, диоксид циркония, нанопорошки.

Объектами исследования являются: пористые керамические материалы на основе диоксида циркония с выгорающим органическим порообразователем.

Цели работы: получение пористого керамического материала на основе диоксида циркония с проницаемой пористостью.

В процессе выполнения работы проводились исследования зависимости качества порообразователя от условий процесса перекристаллизации.

В результате исследования было установлено, что свойства проницаемой керамики зависят от содержания в шихте перекристаллизованного карбамида, от количества наноразмерного оксидного компонента и от давления прессования при формовании заготовок.

Степень внедрения: НИОКР.

Область применения: технология керамических материалов.

Обозначения и сокращения

РФА – рентгенофазовый анализ

нм – нанометр

n-Al₂O₃ – нанопорошок оксида алюминия

n-ZrO₂ – нанопорошок диоксида циркония

НТП – научно-технический проект

НТИ – научно-техническое исследование

НТЦ – научно-технический центр

ПДК – предельно допустимая концентрация

ЧС – чрезвычайная ситуация

СанПиН – санитарные правила и нормы

ГОСТ – государственный стандарт

ФЗ – федеральный закон

СП – свод правил

Оглавление

Введение.....	14
1. Обзор литературы.....	15
1.1 Виды пористой керамики.....	15
1.2 Структура и свойства пористой керамики.....	16
1.3 Области применения пористых проницаемых керамических материалов.....	23
1.4 Методы получения пористой керамики.....	25
1.4.1. Золь-гель методы при получении пористой керамики.....	26
1.4.2. Методы получения пористой керамики из волокон.....	26
1.4.3. Метод пенообразования.....	27
1.4.4. Порообразование за счет химических реакций.....	28
1.4.5. Введение в исходную массу пористого наполнителя.....	28
1.4.6. Метод выгорающих добавок.....	29
2. Методы исследования конечного продукта и особенности свойств используемого сырья.....	31
2.1 Методы исследования.....	31
2.1.1 Определение водопоглощения.....	31
2.1.2 Определение открытой пористости.....	32
2.1.3 Определение проницаемой пористости.....	33
2.1.4 Определение предела прочности при сжатии.....	34
2.1.5 Определение воздушной и огневой усадки.....	35
2.1.6. Рентгенофазовый анализ.....	36
2.1.7. Определение шероховатости поверхности.....	38
2.2 Характеристики сырьевых материалов.....	40
2.2.1 Оксид (диоксид) циркония.....	40
2.2.2 Оксид алюминия.....	41
2.2.3. Карбамид.....	44
3. Экспериментальная часть.....	46

3.1 Подготовка порообразователя.....	46
3.2.1. Температурный режим обжига керамических образцов.....	51
3.2.2. Проведение исследования пористой керамики.....	51
3.2.3. Исследование свойств образцов цилиндрической формы и в форме диска.....	59
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	69
4.2 SWOT-анализ.....	69
4.3 Анализ конкурентных технических решений.....	72
4.4 Планирование научно – исследовательских работ.....	73
4.4.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	73
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	74
4.4.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	75
4.4.4 Расчет материальных затрат НИИ.....	79
4.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ.....	80
4.4.6 Основная заработная плата исполнителей темы.....	82
4.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	83
4.4.8 Накладные расходы.....	84
4.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	84
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	85
5. Социальная ответственность.....	89
5.1 Производственная безопасность.....	89
5.1.1 Анализ вредных факторов при проведении исследований.....	90
5.1.2 Анализ вредных факторов при проведении исследований.....	90

5.1.3 Анализ опасных факторов при проведении исследований.....	95
5.2 Экологическая безопасность.....	97
5.2.1 Защита селитебной зоны.....	97
5.2.2 Защита атмосферы.....	97
5.2.3 Защита гидросферы.....	98
5.2.4 Защита литосферы.....	98
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	100
ВЫВОДЫ.....	102
Список публикаций студента.....	104
Список используемых источников.....	105

Введение

Интерес к проницаемой пористой технической керамике обусловлен большим количеством объектов исследования и возможностью получения на их основе высококачественных материалов.

В результате добавления в шихту различных выгорающих добавок структура спеченного образца становится более пористой, а вследствие этого материал становится проницаемым для жидкостей и газов различной природы.

Использование в технологии керамических материалов веществ с высокопористой структурой, полученных с помощью метода выгорающих добавок, позволит использовать данную разработку в качестве фильтрующей керамики для жидких и газообразных сред, а также позволит использовать данную керамику в имплантологии.

Цель работы: Получение пористого керамического материала на основе диоксида циркония с проницаемой пористостью.

Задачи исследования: 1) изучение процесса перекристаллизации порообразователя-карбамида; 2) определение свойств проницаемой технической керамики с добавлением в шихту перекристаллизованного карбамида и наноразмерного оксидного компонента.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Виды пористой керамики

Некоторые виды керамических изделий (например, хозяйственный и санитарно-строительный фаянс, гончарная посуда) по условиям использования не должны быть проницаемы. Поэтому их покрывают слоем глазури.

У других керамических изделий (огнеупоры, капсулы для обжига фарфора) проницаемость является желательной.

Наряду с этим существует такая группа пористых керамических изделий, для которых проницаемость является основным свойством, определяющим возможность их применения. Это так как называемая проницаемая керамика, фильтрующая жидкости и газы.

Классификация пористой керамики [1]:

По виду основного сырья и фазовому составу: кремнеземистая; алюмосиликатная; магнезиальная; оксидная; бескислородная

По методу порообразования: подбор зернового состава узко фракционированного наполнителя; введение и последующее удаление добавок, оставляющих поры; введение отдельно приготовленной пены; газообразование во время химических реакций компонентов; комплектование волокнистых материалов со связующим; набухание массы в ходе термообработки; введение органического удаляемого при обжиге ячеистого носителя.

По строению: изделия с зёрнами наполнителя; ячеистые; волокнистые

По пористости и плотности: низкоплотные (30-45 % пористости); легковесы (45-75 % пористости); ультралегковесы (> 75 %).

По огнеупорности: неогнеупорные (<1580 °С); огнеупорные (1580 – 1770 °С); высокоогнеупорные (1770 – 2000 °С); высшей огнеупорности (> 2000 °С).

По назначению: теплоизоляционные; теплозащитные; проницаемые.

1.2 Структура и свойства пористой керамики

Структура керамики оказывает сильное влияние на все рабочие характеристики пористых изделий. Под структурой понимают характер геометрического распределения и расположения структурных элементов керамики – зёрен, границ между зёрнами и пор [1, 2].

Основные структурные характеристики пористой керамики: пористость (открытая, закрытая и общая), проницаемость, проницаемость и их распределение по размерам, средний эффективный диаметр капилляров, удельная поверхность.

Пористые керамические материалы разделяют по их структуре на несколько типов:

1) **Ячеистая керамика** может иметь беспористые или достаточно плотные перемычки и сферические пустоты со спёкшимся каркасом. При преимущественно замкнутой (закрытой) пористости керамика такого типа обладает высокой пористостью, относительно высокой для такой пористости прочностью, в том числе под нагрузкой при повышенной температуре, повышенной теплопроводностью (для такой пористости), невысокой термической стойкостью, низкой газопроницаемостью, заметно увеличивающейся по мере возникновения разрывов в каркасе и увеличения вследствие этого проницаемой открытой пористости.

Ячеистая керамика может иметь пористые перемычки, окружающие крупные изолированные между собой сферические пустоты (ячейки). Для неё характерны высокая и сверхвысокая пористость, так как усадка в обжиге, определяемая усадкой перемычек, незначительна или вообще отсутствует, невысокая прочность, умеренная проницаемость, пониженная теплопроводность, высокая термостойкость.

В ячеистых керамических типах структуры при значительной сплошности каркаса твердая фаза, включающая изолированные сферические ячейки, является непрерывной, а газовая – прерывистой. Ячеистая структура позволяет получать керамику с пористостью 85 – 90%.

2) **Волокнистые неорганические материалы** имеет каркас, состоящий из тонких переплетающихся волокон с точечными контактами. Они обладают довольно высокой проницаемостью при широких возможностях получения необходимой пористости. Можно указать следующие преимущества, по сравнению с порошковыми материалами: ударная вязкость волокнистых материалов намного выше, а относительное удлинение составляет 8 – 20% в широком диапазоне пористости. Недостатком является очень низкая прочность таких материалов. Если создать структуру, в которой волокна прочно соединены между собой, прочность материала несколько возрастает, но она значительно меньше, чем у ячеистой керамики. Кроме того, волокнистые керамические материалы дороже ячеистой керамики.

3) **Зернистая керамика** обладает каркасом, созданным относительно крупными частицами заполнителя, сцементированного упрочняющей добавкой (связкой). При этом в керамике образуются преимущественно открытые поры весьма сложной нерегулярной конфигурации. Керамика такого типа имеет структуру с непрерывной газовой и прерывистой – твёрдой фазой. Открытая пористость таких материалов составляет 20 – 45% [3].


4) При применении **полифракционного наполнителя** максимальная пористость составляет не более 25%, при введении монофракционного наполнителя пористость повышается до 35 – 40%, при котором размер пор становится более равномерным [3]. Многообразие областей использования продиктовало необходимость создания материалов с различной макроструктурой. В таблице 1.1 приведена классификация макроструктуры материалов из керамических материалов [4].

Главные определяющие свойства пористых материалов - пористость и обуславливаемая ею пониженная плотность.

Истинная плотность или удельная масса (удельный вес) является физической константой для индивидуального вещества. Она зависит от строения кристаллов, прежде всего, от плотности упаковки их атомов.

Истинную плотность определяют, как соотношение покоящейся массы материала к его объёму без пор. Выражают ее в кг/м³ или г/см³.

Таблица. 1.1 - Классификация возможных пористых структур керамических материалов [4]

Группы пористых структур	Наименование пористой структуры	Тип пористой структуры	Основные характеристики пористой структуры	
			П _{пор.} , (%)	R _{пор.} , (мкм)
Неорганизованная пористая структура	Зернистая		20 – 40	0,1 – 400
	Волокнистая		30 – 90	5 – 200
Организованная пористая структура	Сетчатая		20 – 80	20 – 200
	Ячеистая		75 – 85	200 – 5000

Относительная плотность – это отношение кажущейся плотности к истинной. Выражают относительную плотность в долях единицы либо в процентах. Она представляет собой объёмную долю твёрдого вещества в материале.

Кажущаяся плотность или объёмный вес является отношением массы тела ко всему занятому им объёму, включая поры; выражают её в кг/м³ или г/см³ [5].

Пористость влияет на большинство физических свойств керамики. Размер пор в керамических материалах изменяется от нанометров до нескольких миллиметров. По месту нахождения или так называемой локализации пор, различают внутреннюю пористость зёрен заполнителя, пористость связки, то есть мелких зёрен, и пористость, которая находится между заполнителем и связкой, межчастичную или структурную. По

принципу проницаемости поры подразделяют на два типа: открытые (сквозные, капиллярные и тупиковые) и закрытые. Поры в огнеупорах, в свою очередь, подразделяют на [6]:

1. Микропоры диаметром менее $10^{-3} - 10^{-1}$ мкм.
2. Некапиллярные поры диаметром более 1 мм.
3. Капиллярные поры, которые в свою очередь подразделяются на:
 - А.) гравитационные поры диаметром от 10 до 10^3 мкм;
 - Б.) адгезионные поры диаметром от 10^{-1} до 10 мкм.

Капиллярные поры делят на непроницаемые и проницаемые.

Непроницаемые поры не участвуют в фильтровании. Капиллярные поры иногда называют «текстурными», в отличие от микропор, которые называют – «структурными». Через сквозные поры диаметром 3 – 5 мкм, которые называют «канальными», способны протекать флюиды (газы и жидкости). К канальным порам относят также некапиллярные, часть адгезионных и гравитационные поры диаметром более 3 – 5 мкм [7].

На строение пористой керамики, получаемой подбором зернового состава наполнителя, большое значение оказывает процесс формования заготовок (полуфабриката), который иногда называют консолидацией. При этом используют различные виды технологических связок, понижающих трение в процессе формования и увеличивающих прочность заготовки для ее извлечения из формы и после сушки.

В качестве технологической связки используют удаляемые до или в процессе обжига органические добавки (сульфитная барда, поливиниловый спирт, парафин и др.) или жидкие неорганические системы (растворимое стекло, алюмо- и хромоалюмофосфаты), которые частично остаются в керамике после обжига. В отличие от технологической связки в пористой керамике, получаемой подбором зернового состава наполнителя, присутствует связка (связующее), скрепляющая зерна зернистого наполнителя в процессе спекания и обеспечивающая изделию прочность. В качестве таких связок используют неорганические связки и

высокодисперсные порошки. Однако одновременно они заполняют часть порового пространства [8].

Основной характеристикой пористых материалов является их **проницаемость**. Значение коэффициента проницаемости даёт возможность оценить способность пористого керамического тела пропускать жидкость или газ при наличии перепада давления. Его определяют экспериментально или при помощи эмпирических уравнений.

Проницаемость очень чувствительна к изменению структуры изделий. Проницаемость огнеупоров в зависимости от размеров зёрен исходных сырьевых материалов (гранулометрического состава наполнителя), может изменяться довольно в больших пределах без существенного изменения открытой пористости. Влияние структуры пор на проницаемость чётко проявляется при сопоставлении образцов керамики на основе ZrO_2 , Al_2O_3 , MgO и BeO с непрерывной газовой фазой, полученных прессованием зернистых композиций, с ячеистой керамикой того же состава, полученной пенометодом. У первой вся область значений коэффициента проницаемости сдвинута в сторону меньшей пористости [9].

Проницаемость зависит от величины открытой пористости и размеров пор, т. е. определяется геометрией поровой структуры в целом, а также от свойств жидкости [9]. Из [5] известно, что среднегидравлический диаметр пор связан с величинами коэффициента проницаемости и открытой пористости. При допущении, что все поровые каналы параллельны друг другу, имеют цилиндрическую форму, постоянное сечение, расположены перпендикулярно поверхности и не извилисты, **среднегидравлический диаметр пор** можно вычислить по уравнению 1.1:

$$D = 56,6 \times (K_{\text{газ}} / P_{\text{отк}}) \cdot 1/2 \text{ (мкм)}, \quad (1.1)$$

где D – среднегидравлический диаметр пор,

$K_{\text{газ}}$ – коэффициент газопроницаемости образца,

$P_{\text{отк}}$ – открытая пористость (%),

Важнейшее свойство пористых материалов – **механическая прочность**, на которую влияет состав и строение керамики, технологии изготовления образцов, а также условия получения конкретного вида материалов.

В изделии его прочность, обычно, зависит от прочности и количества единичных контактов между кристаллами. Прочность единичного контакта зависит от его химического состава. В керамике, состоящей из поликристаллов, прочность определяется межатомными силами и энергией кристаллической решетки. Прочные связи имеют кристаллы с высокой долей ковалентности химических связей типом связи (нитриды, карбиды, бориды и некоторые оксиды – Al_2O_3 и ZrO_2). С уменьшением среднего размера кристаллов в керамике ее прочность увеличивается, поскольку возрастает площадь контактов между кристаллами. В то же время, с уменьшением размеров кристаллов уменьшается устойчивость керамики к высокотемпературной ползучести и при высокотемпературном применении керамики происходит рост кристаллов, уменьшающий ее прочность [10,11].

Характеристики прочности, пористости и проницаемости материалов находят по стандартным методикам и на типовом оборудовании, применяемом для установления аналогичных характеристик непроницаемых материалов.

Термостойкостью керамики называют её способность, не разрушаясь, противостоять термическим напряжениям (термическим ударам). Термические напряжения являются механическими напряжениями, возникающими в твердом теле вследствие неравномерного распределения температуры. Термостойкость часто оценивают по числу теплосмен, которое выдерживает образец до появления трещин или разрушения. Наличие микротрещин и относительная свобода передвижения зёрен определяют высокую термическую стойкость керамического изделия [12].

Многие виды керамических материалов предназначены для эксплуатации в условиях воздействия той или иной агрессивной среды.

Химическая стойкость керамики представляет собой её способность противостоять разрушающему действию различных химических реагентов таких как кислоты, щелочи, соли, расплавы металлов, солей, стекла и агрессивные газы. Химическая (коррозионная) стойкость зависит от плотности и структуры керамики, так как определяющие значение имеет эффективная поверхность, которая подвергается химическому воздействию. Поэтому в пористых материалах коррозия распространяется на весь объём. Так же химическая стойкость зависит от агрессивной окружающей среды и определяется, в первую очередь, природой взаимодействующих фаз, их химическим составом, содержанием и видом примесей, концентрацией реагентов, температурой взаимодействия и другими факторами, подчиняясь законам кинетики гетерогенных процессов.

Коррозионную стойкость пористых проницаемых материалов определяют на установках, обеспечивающих фильтрацию агрессивной среды в порах материала [13]. В большинстве случаев пористые проницаемые керамические изделия для фильтрования используют в условиях воздействия кислых или щелочных агентов. В соответствии с этим, лабораторные методы определения химической стойкости керамики разделяют на два вида: испытания кислотостойкости и щелочестойкости.

Кислотостойкость – это способность керамического материала противостоять химическому действию кислот. Кислотостойкость X (%) определяют по уравнению 1.2:

$$X = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (1.2)$$

где, m_1 и m – массы навесок до и после испытания, г.

Щелочестойкость – это способность керамического материала противостоять действию щелочных растворов и расплавов. Щелочестойкость $Щ$ (%) рассчитывают по уравнению 1.3:

$$Щ = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (1.3)$$

где, m_1 и m – массы навески до и после испытания, г. [5].

1.3 Области применения пористых проницаемых керамических материалов

Пористые проницаемые керамические материалы широко используют для фильтрации кислот, щелочей, горячих газов, расплавов солей и металлов, а также других агрессивных сред при низких и высоких температурах. Их применяют для очистки воздуха и различных горячих газов от твёрдых, радиоактивных и других частиц. Пористые огнеупоры применяют для облицовки стен камер сгорания, которые можно охладить пропусканием газообразного или жидкого агента. Пористые керамические изделия используют для продувки металлов газами и для очистки от газообразных и механических частиц. Пористые керамические матрицы, в порах которых находятся соответствующие электролиты, применяют в электрохимических генераторах [14].

Основные требования, предъявляемые к фильтрующим элементам. Фильтрующие элементы должны соответствовать следующим требованиям [15]:

- Малое гидравлическое сопротивление при достаточно высокой пропускной способности;
- Возможность обеспечивать необходимую тонкость и полноту фильтрацию, которая будет неизменной в процессе эксплуатации;
- Высокая механическая прочность и стойкость по отношению к очищаемой среде;
- Технологичность, которая позволяет достаточно легко подвергаться обработке, герметизации и соединению с другими элементами;
- Способность выдерживать жесткие условия эксплуатации.

При всём многообразии фильтрующие элементы могут быть разделены на два класса: сетчатые (плоские) фильтрующие элементы и объёмные фильтрующие элементы [16]:

Сетчатые фильтры (прессованные и экстрадированные материалы) работают обычно по механизму просеивания. Частицы, с размерами больше

диаметра отверстия сетки отделяются. На поверхности сетчатого фильтра накапливаются частицы, в результате чего размер задерживаемых частиц уменьшается. Для рулонных (спиральных) и плоскорамных систем фронтальной фильтрации применяют плоские мембраны.

Объёмные фильтры (пеночерамические фильтры и экстрадированные фильтры) производят фильтрацию по всему объёму. Фильтровальными материалами для них служат хлопчатобумажные волокна, целлюлоза, древесная пульпа и др.

Трубчатые мембраны применяют в установках, использующих тангенциальный принцип фильтрации в виде трубчатых систем (диаметр >5 мм), капилляров (диаметр $0,5 - 5$ мм) и полых волокон (диаметр $0,5$ мм) [17].

Другим видом пористых проницаемых материалов являются мембраны, состоящие из одной фазы или нескольких фаз. Эти фазы разделяют две различные фазы, которые по своим физическим и химическим свойствам отличаются от фаз мембраны [18]. Керамические мембраны отличаются особенно высокой химической и температурной стойкостью. Мембраны обладают многослойной структурой, состоящей из высокопористой матрицы с нанесёнными на поверхность ее внутренних каналов разделительными слоями. Примечание: толщина слоя обычно от $0,001$ до $0,002$ мм.

Диафрагмой называют пористую перегородку (в том числе из керамики), которая служит для разделения (сепарации) электродных пластин [19]. При электролизе (процессах электроосмоса и электродиализа) диафрагма электрически активна. Для разделения газообразных и твёрдых веществ диафрагма может быть макропористой, она не должна препятствовать диффузии электролита. При получении жидких продуктов электролиза диафрагма должна оказывать большое сопротивление диффузии электролита и малое сопротивление прохождению электрического тока, что вызывает особые требования к характеру пористости. Керамическая

диафрагма должна обладать максимальным размером пор порядка одного микрона, открытой пористостью не менее 30% [20].

Технология изготовления пористой керамики, применяемой для фильтрации, зависит от требуемой поровой структуры и назначения фильтров. Для создания подложек мембран и фильтров надо выбирать такой метод, который обеспечит получение пористой керамики с высокой пористостью и проницаемостью к жидкостям, близкими по размерам порами и достаточной для условий службы прочностью [15].

1.4. Методы получения пористой керамики

Для получения пористой керамики необходимо создать требуемую поровую структуру материала, которая будет соответствовать условиям его применения. Например, для применения в качестве носителей катализаторов керамика должна обладать высокой проницаемостью к жидкостям и большой удельной поверхностью.

Для процесса фильтрации эффективны материалы с узким распределением пор по размерам и малой извилистостью канальных пор. Пористую керамику с требуемой структурой получают разными способами.

Все их многообразие свести к нескольким основным способам [7]: подбор зерновых составов наполнителя и керамической связки; получение материалов из волокон; использование золь - гель методов; вовлечение в суспензию или расплав воздуха и закрепление образовавшихся пузырьков (пенометоды); добавление в формовочную массу добавок, образующих поры после их удаления, например, выжиганием, растворением, возгонкой, испарением; создание в расплаве или суспензии пузырьков газа благодаря разложению вводимых добавок или их образованию при химической реакции; введение в исходную массу специального пористого наполнителя природного или искусственно полученного; образование в процессе обжига новых фаз, приводящих к возрастанию пористости; термическая обработка формовочной массы или её компонентов для их вспучивания.

1.4.1. Золь-гель методы при получении пористой керамики

Применение золь-гель процессов позволяет снижать температуру спекания на 200 – 500°С и получать оксидные пористые материалы с однородной структурой и заданной пористостью. Технологический процесс включает в себя приготовление золя тем или иным способом, формование, гелеобразование, сушку и термообработку. Формование заготовок может осуществляться и после гелеобразования литьём в пластиковые формы, центрифугированием (для трубчатых элементов) или прессованием гидрогелей с использованием специальных приспособлений для удаления связанной воды. Сегодня наиболее часто используют порошки из измельченного до определенной степени ксерогеля, полученного после сушки геля. Форма и размер изделий могут варьироваться в зависимости от назначения [26,27]. Однако применение золь - гель метода обычно приводит к большим усадкам при сушке и спекании заготовки и является достаточно дорогостоящим.

1.4.2. Методы получения пористых материалов из волокон

Процесс получения пористых волокнистых изделий состоит в получении собственно волокон, формовании из них различными методами изделий в виде пластин, блоков, труб и стабилизации полученной пористой структуры путем применения разнообразных связующих [13].

Помимо метода прессования используются методы осаждения волокон из суспензии на пористую подложку [28], а также метод спекания свободно насыпанных частиц при формовании волокнистых каркасов. Полученные материалы характеризуются высокими значениями пористости (66 – 90%) и коэффициентами газопроницаемости. Кроме всего прочего, преимущество данного метода получения пористых изделий заключается в том, что при использовании определенных видов связки можно получить относительно прочную композицию [13].

1.4.3. Метод пенообразования

Сущность пенометода заключается в смешении суспензии огнеупорного порошка с отдельно приготовленной пеной. Устойчивую пену можно приготовить, например, при интенсивном перемешивании водных растворов, в которые введены определенные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Пену можно получать смешением суспензии с пенообразователем и последующим энергичным механическим перемешиванием или посредством пропускания через смесь сжатого воздуха. В некоторых случаях применяют продувание воздухом расплава огнеупорного материала [3].

Пену можно готовить из разбавленной канифольно-клеевой эмульсии [29]. Полученную пену с плотностью $0,05 \text{ г/см}^3$ смешивают со шликером, имеющим кажущуюся плотность $1,68 - 1,74 \text{ г/см}^3$ и влажностью 26%. Полученную пеномассу с плотностью $0,85 - 0,95 \text{ г/см}^3$ заливают в металлические формы, сушат в камерных сушилах до влажности не более 2% и обжигают. Для придания изделиям точных размеров их подвергают механической обработке.

Веществами, образующими пену (пенообразователями) могут быть различные ПАВ, например, канифольное мыло. Применение в качестве ПАВ сапонины позволяет получить мелкоячеистую пену с более толстыми стенками между пузырьками воздуха, что повышает прочность спеченной керамики [7]. Добавление в пену частиц твердой фазы увеличивает ее вязкость, затрудняет удаление пузырьков воздуха и способствует повышению устойчивости пены. Однако прочность у необожженных формовочных пеномасс очень низкая. Хотя после сушки прочность пеномассы возрастает, она остается низкой, и с необожженными заготовками необходимо обращаться очень осторожно.

1.4.4. Порообразование за счет химических реакций

Метод основан на вспучивании массы газом, выделяющимся при химических реакциях взаимодействия или разложения присутствующих специально вводимых добавок [3].

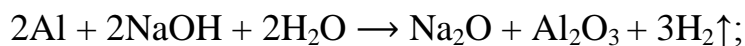
Образование пористой отливки при химическом порообразовании складывается из нескольких последовательных этапов, главными из которых являются химическое взаимодействие с образованием газовых пузырьков, их расширение и перемещение, фиксация ячеистой структуры.

Анализ исследований процессов химического порообразования позволяет сгруппировать эти процессы по типу использованных реакций [7]:

- Карбонатов и кислот с выделением CO_2



- Металлов (Al, Ca, Mg, Zn и др.) с кислотами или основаниями с выделением H_2 ;



Эти методы позволяют получать изделия с пористостью вплоть до 90%.

1.4.5. Введение в исходную массу пористого наполнителя

Пористую керамику можно получать путем введения в формовочную массу пористого наполнителя [3]. Пористыми природными наполнителями являются вспученный перлит, диатомит, вермикулит, трепел. Искусственные пористые наполнители получают, например, дроблением спеченных пенокерамических брикетов. Такие пористые наполнители используют для изготовления пеношамота. Применение пористых наполнителей увеличивает как пористость керамических изделий, так и их стойкость к термоудару.

Этот метод применяют для изготовления высокопористых ячеистые материалов, в том числе, с крупными сообщающимися порами различного размера, позволяющими изготавливать керамику с очень высокой проницаемостью для получения эффективных фильтров [30].

1.4.6. Метод выгорающих добавок

В методе выгорающих добавок пористую керамику получают путем введения в формовочную массу выгорающих добавок, на месте которых при обжиге возникают поры. Заготовки формуют всеми основными методами формования, принятыми в технологии керамики: полусухим прессованием, формованием пластических масс, литьём из шликеров. Выгорающими добавками являются порошки различных горючих материалов. Чаще всего, ими являются древесные опилки и различные виды угля. Лучшую формовочную способность обеспечивают опилки твёрдых пород деревьев и лигнин [6, 31].

Содержание опилок в формовочной массе не должно превышать 25 – 30%, иначе она перестаёт формироваться, так как древесные опилки, являясь отошителем, увеличивают ее вязкость, и ухудшает формуемость заготовок [6]. Существенным недостатком опилок является нестабильность их свойств и упругое расширение. Эти недостатки можно уменьшить, если применять перегнившие опилки. Положительный эффект дает введение в формовочную массу гипса (до 10 % масс.).

Для формования легковесных огнеупоров из шамота применяют пластическое формование или полусухое прессование.

При полусухом прессовании предпочтительнее использовать добавки угля. Увеличение количества выгорающих добавок в формовочной массе сначала быстро повышают пористость, а затем все менее интенсивно. При этом в массах с шамотным наполнителем пористость повышается значительно больше, чем без такого наполнителя. Зерновой состав выгорающих добавок также значительно влияет на пористость и структуру пор. Размер зёрен заметно влияет на газопроницаемость керамики и ее прочность, но на величину открытой пористости влияет незначительно. Увеличение размера частиц выгорающей добавки увеличивает проницаемость и размер пор, но уменьшает прочность керамики. Для получения пор одинакового размера применяют монофракционные порошки

выгорающей добавки, чаще всего, кокса. Изменением зернового состава выгорающих добавок и их количества можно регулировать свойства пористой керамики.

Полученная методом выгорающих добавок пористая керамика, как правило, имеет невысокую прочность, но низкую теплопроводность, высокую стойкость к термоудару, достаточно высокую пористостью и проницаемость. Метод перспективен для получения проницаемой и теплоизоляционной керамики [3, 32].

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА И ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ИСПОЛЬЗУЕМОГО СЫРЬЯ

2.1 Методы исследования

2.1.1 Определение водопоглощения

Водопоглощение - это способность материала поглощать и удерживать воду в порах. Водонасыщение проводим в вакууме. Для насыщения вакуумированием сухие взвешенные образцы помещают в вакуумную ячейку, присоединенную к вакуум-насосу. После откачки (остаточное давление 15 - 20 мм рт. ст.) воздуха ячейку соединяют с сосудом, содержащим воду или керосин. Под действием разрежения жидкость поступает в сосуд, насыщая поры образцов. Когда образцы покроются слоем жидкости, ее прекращают подавать, отключают вакуум-насос и ячейку соединяют с атмосферой [33]

Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии взвешивают на гидростатических весах.

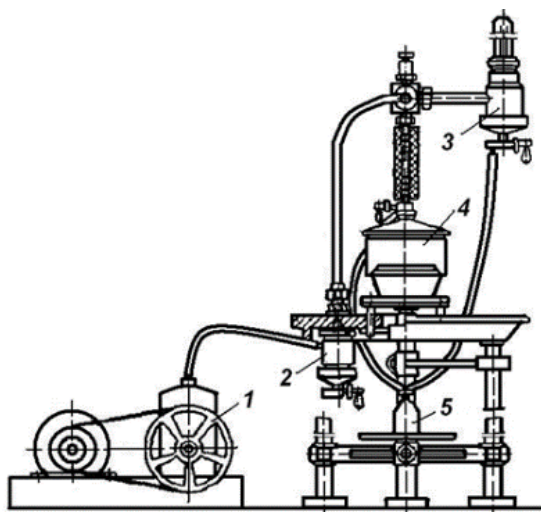


Рисунок 2.1 - Устройство для насыщения пор образцов жидкостью [33]:

1- масляный вакуум-насос; 2- сосуд-ловушка; 3- вакуумметр;
4- вакуумная ячейка для образцов; 5- сосуд для воды или керосина

Формула (2.1) для определения водопоглощения [33]:

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где m - масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;

m_1 и - масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании соответственно на воздухе и в жидкости, г;

При использовании для насыщения образцов керосина необходимо предварительно определить его плотность с точностью до $0,001 \text{ г/см}^3$. При определении пористости и плотности малых спекшихся образцов для повышения точности результатов образцы рекомендуют взвешивать на аналитических весах.

Величину водопоглощения и открытой пористости подсчитывают с точностью до $0,1 \%$, величину кажущейся плотности – с точностью до $0,001 \text{ г/см}^3$.

2.1.2 Определение открытой пористости

Открытая или кажущаяся пористость – это отношение объема всех открытых пор тела ко всему его объему, включая объем всех пор, выражают в процентах [33].

$$\rho = \frac{m \cdot \gamma_{ж}}{m_1 - m_2}, \quad (2.2)$$

где m - масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;

m_1 и - масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании соответственно на воздухе и в жидкости, г;

$\gamma_{ж}$ - плотность использованной жидкости, г/см^3 .

Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии, взвешивают на гидростатических весах (рис. 2.2) фирмы Sartorius MS, Германия [34].

При взвешивании в погруженном состоянии образец помещают на легкую сетчатую подставку. Для взвешивания на воздухе образца, насыщенного жидкостью, предварительно влажным отжатым полотенцем удаляют с его поверхности избыток жидкости.

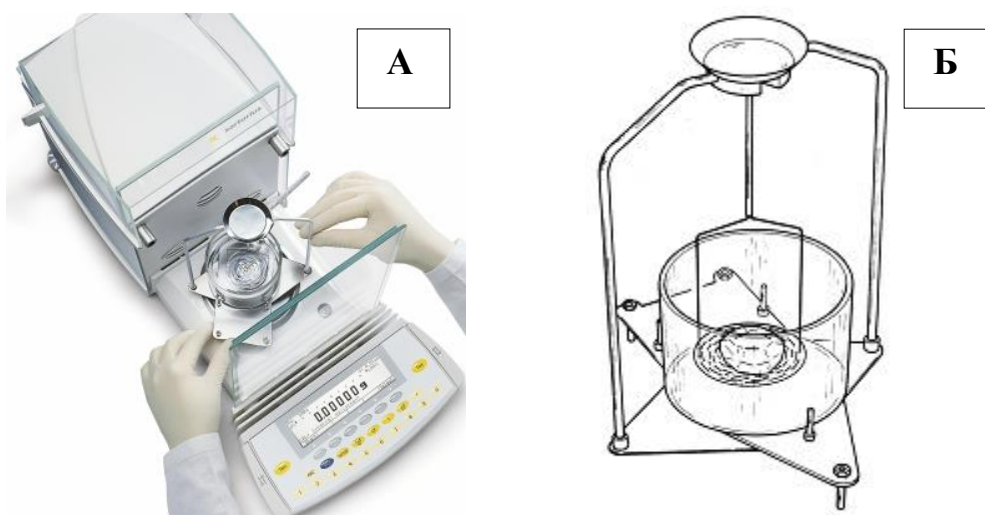


Рисунок 2.2 - Гидростатические весы для определения водопоглощения, кажущейся плотности и открытой пористости: А – общий вид весов, Б – набор для определения плотности (1-специальная чаша и подвес; 2-испытуемый образец)

После каждых 10-15 таких операций ткань повторно отжимают. Взвешенные образцы снова помещают в жидкость и хранят в ней до завершения всех расчетов [33].

2.1.3 Определение проницаемой пористости

Для измерения проницаемой пористости спеченных образцов была разработана специальная методика. Объем проникающих пор устанавливался путем замера массы воды, поглощенной сухим образцом при контакте с мокрой поверхностью снизу.

На аналитических весах взвешивался сухой образец. В качестве проникающей жидкости использовалась предварительно подкрашенная дистиллированная вода. Вода подкрашивалась с помощью раствора синтетического анилинового красителя – бриллиантовый зеленый до получения яркого насыщенного цвета. В прозрачную стеклянную чашу помещался сухой пористый образец. Подкрашенная вода подводилась через тонкую трубочку к основанию образца таким образом, чтобы только нижняя поверхность образца смачивалась водой. При насыщении образцов на сухой (верхней) поверхности появлялась пленка подкрашенной воды. После удаления избыточной поверхностной влаги с помощью гибкой непористой

силиконовой пластинки образец взвешивался на аналитических весах. Проницаемую пористость определяли из соотношения:

$$P_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{нас.}} - M_{\text{сух.}}}{V_{\text{обр}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}} 100 [\%], \quad (2.3)$$

2.1.4 Определение предела прочности при сжатии

Для определения прочности на сжатие образцы материала подвергают действию сжимающих усилий и доводят до разрушения. Испытуемые образцы должны иметь правильную геометрическую форму (куб, параллелепипед, цилиндр). Образцы измеряют штангенциркулем. Для точности измерений использовался электронный штангенциркуль ШЦЦ-I производства ООО НТЦ Эксперт, Россия (рис 2.1.4).



Рисунок 2.3 - Электронный штангенциркуль [35]

Для испытания образцов материала на сжатие применяют гидравлические прессы и универсальные испытательные машины.



Рисунок 2.4 - Пресс гидравлический испытательный ПГМ-500МГ4 [36]

Перед испытанием образец взвешивают и обмеряют. Затем его устанавливают на нижнюю опорную плиту прессы точно по ее центру, а верхнюю опорную плиту с помощью винта опускают на образец.

Убедившись в правильности установки образца, включают насос прессы и прикладывают к образцу нагрузку, регулируя скорость ее нарастания. В момент разрушения образца, т.е. в момент наибольшей нагрузки, стрелка, связанная с силоизмерительным устройством прессы, остановится и начнет двигаться обратно.

Предел прочности при сжатии измеряется в МПа и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{K \cdot \mu}{S} \cdot 0.1, \quad (2.4)$$

где $K = 38,2$ кгс/см²;

μ – показания манометра, кгс/см²;

S – площадь образца, см²

2.1.5 Определение воздушной и огневой усадки

При сушке изделий на основе керамики, в состав которой входит технологическая связка, происходит уменьшение объема исследуемого образца, полученного методом полусухого прессования. Такой процесс называется воздушной усадкой. В процессе сушки изменение размеров изделий происходит в результате сближения частиц под действием сил капиллярного и осмотического давления, а также межмолекулярного притяжения, развивающихся по мере испарения расположенных между ними водных прослоек. Так же немало важную роль в усадке играет уменьшение собственного объема частиц [33].

По линейным измеренным размерам образца после сушки определяют воздушную линейную усадку.

$$\Delta L = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100, \quad (2.5)$$

где l_0 – диаметр сформированного образца, мм

l_1 – диаметр высушенного образца, мм

Огневая усадка – изменение линейных размеров образца при обжиге, выраженное в процентах:

$$\Delta L = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100, \quad (2.6)$$

где l_1 - диаметр высушенного образца, мм;

l_2 - диаметр образца после обжига, мм.

Определения проводят не менее чем на трех образцах, вычисляют как среднеарифметическое.

2.1.6 Рентгенофазовый анализ

Основной задачей рентгенофазового анализа (РФА) является идентификация различных фаз в смеси кристаллических веществ на основе создаваемой ими дифракционной картины. Это происходит из-за того, что каждое кристаллическое вещество имеет специфическую интерференционную картину с определенным количеством, расположением и интенсивностью интерференционных линий, которые определяются природой и расположением атомов в данном веществе. Если смесь состоит из нескольких веществ, то каждое из них дает свою рентгенограмму, тем самым получается одна суммарная рентгенограмма (рис. 2.5) [37].

Данный вид анализа используют для определения качественного и количественного состава исследуемых веществ [38]

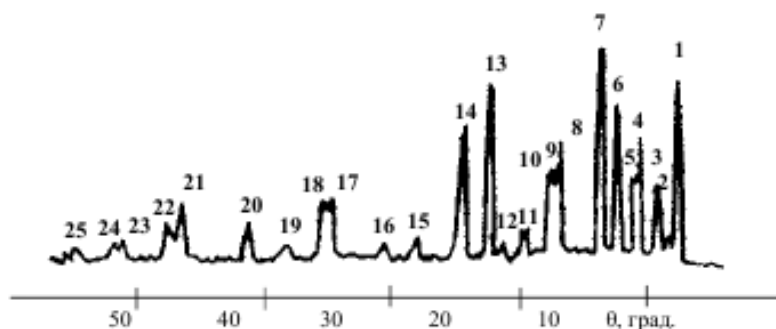


Рисунок 2.5 - Рентгенограмма многофазового образца

Вещество, подверженное действию рентгеновского излучения, испускает вторичное излучение, длина волны которого либо равна длине волны падающих лучей (когерентное рассеяние), либо незначительно отличается. При рассеянии без изменения длины волны переменное

электромагнитное поле, создаваемое пучком рентгеновских лучей, вызывает колебательное движение электронов облучаемого вещества, и они становятся источниками когерентного излучения.

Ввиду когерентности лучи, рассеиваемые различными атомами, могут интерферировать и расстояния между атомными плоскостями, в кристаллах, сравнимы с длинами волн рентгеновских лучей. Кристалл служит дифракционной решеткой для рентгеновских лучей.

Из рисунка 2.6 видно, что разность хода (АОВ) будет равна целому числу волн $\Delta(\text{АОВ}) = n\lambda$. Из прямоугольных треугольников АОО' и ВОО' видно, что $\text{АОВ} = 2d\lambda\sin\theta$.

$$2d\sin\theta = n\cdot\lambda, \quad (2.7)$$

где $n=1, 2, 3\dots$ Это и есть уравнение Брэгга — Вульфа [39], которое используется для расчета межплоскостных расстояний.

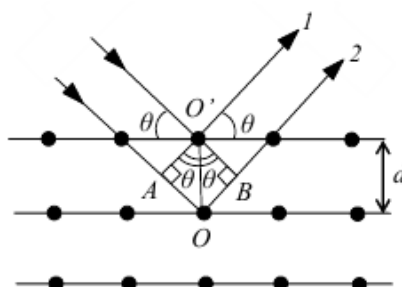


Рисунок 2.6 - Отражение рентгеновских лучей в кристалле по Брэггу [39]

Существует большое количество способов регистрации рентгеновского излучения. Одним из первых и наиболее часто используемым считается фотографический метод регистрации рентгеновского излучения.

Для получения достаточно хороших рентгенограмм необходимо тщательно готовить образцы для съемки. Самым распространенным методом съемки является метод порошка, по которому образец является поликристаллическим телом, полученным из тонко измельченного порошка. Для съемки на фотопленке порошок наносится на нить или набивается в капилляр диаметром 0,7 мм [40].

Для съемки дифрактограмм порошок насыпается и фиксируется в углублении кюветы, изготовленной из кварцевого стекла. Так как данный метод является очень чувствительным, особо тщательно следят за размерами кристаллов, так как они дают нечеткие рентгенограммы. Растирать порошок необходимо в агатовой ступке агатовым пестиком. Приемлемым размером считается – 5-10 мкм.

Рентгенофазовый анализ позволяет определять:

- количество и качество присутствующих кристаллических фаз;
- размеры элементарной ячейки, зерен поликристаллов и блоков мозаичной структуры;
- микронапряжения кристаллической решетки;
- тип твердого раствора, степень его упорядоченности, границы растворимости.

Рентгеновский фазовый анализ успешно применяется для изучения материалов природного и синтезированного происхождения [37]

2.1.7. Определение шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности – это показатели, которые обозначают определенное количество данных характеризующих состояние неровностей поверхности измеряемых сверхмалыми отрезками при базовой величине длины [41].

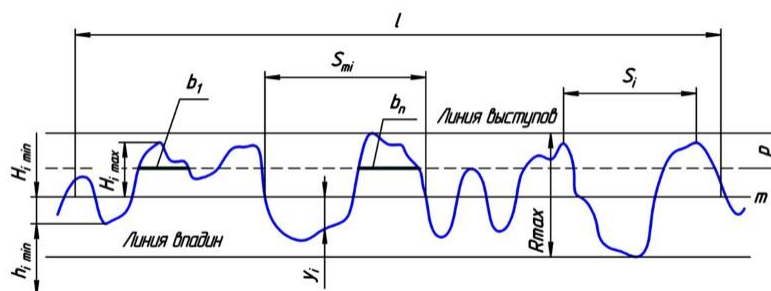


Рисунок 2.7 – Определение шероховатости поверхности [41].

Шероховатость исследуемой поверхности измеряются на допустимо небольших площадях, в связи, с чем базовые линии выбирают, учитывая

параметр снижения влияния волнообразного состояния поверхности на изменение высотных параметров.

Неровности на большинстве поверхностей возникают по причине образующихся деформаций верхнего слоя материала при осуществляемой обработке с использованием различных технологий. Очертания профиля получают при проведении обследования с помощью алмазной иглы, а отпечаток фиксируется на профилограмме. Основные параметры, характеризующие шероховатость поверхности, имеют определенное буквенное обозначение, используемое в документации, чертежах и получаемые при проведении измерений деталей (R_z , R_a , R_{max} , S_m , S_i , T_p).

Для измерения неровности поверхности используют несколько определяющих параметров:

- R_a - обозначает значение исследуемого профиля с возможным отклонением (среднеарифметическим) и измеряется в мкм;
- R_z – обозначает высоту измеряемых неровностей, определяемую по 10 основным точкам в мкм;
- R_{max} – максимальное допустимое значение параметра по высоте.

Методы осуществления контроля

Для осуществления контроля шероховатости поверхности используются два метода:

- качественный;
- количественный.

При проведении качественного контроля проводится сравнительный анализ поверхности рабочего исследуемого и стандартного образцов путем визуального осмотра и на ощупь

Количественный контроль поверхности проводится с использованием приборов работающих с применением разных технологий:

- профилометра;
- профилографа;

- двойного микроскопа.

Профилометр работает следующим образом: световой пучок диаметром 2 мкм освещает поверхность импульсами с частотой 30 Гц, 100 Гц, 300 Гц или 1000 Гц. Частота световых импульсов выбирается в зависимости от интенсивности отражённого света и зависит от состояния поверхности (шероховатости, степени блеска или черноты). Пучок света генерируется галогенной лампой. Затем по волоконно-оптическому проводнику пучок переходит в датчик, где он формируется в луч. Высота выступов и впадин определяется из разности интенсивностей падающего и отражённого света. Шероховатость поверхности вычисляется из профиля, зарегистрированного на отрезке определённой длины [41].

Трёхмерное изображение поверхности формируется в результате многократного, последовательного перемещения поверхности исследуемого образца под датчиком. Анализ полученных профилей производился с использованием компьютерной программы «MountainsMapUniversalv.2.0.13». Профилометр оснащен цифровой камерой, позволяющей десятикратно увеличивать изображение поверхности тонкой пленки. С помощью камеры можно визуально выбирать место исследования [41].

Для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхности установлены основные параметры Rz и Ra, представляющие собой среднюю высоту неровностей профиля (Rz - наибольших неровностей, Ra - всех неровностей).

2.2 Характеристики сырьевых материалов

2.2.1 Оксид (диоксид) циркония

Оксид циркония — ZrO_2 (диоксид циркония), бесцветные кристаллы, $t_{пл} = 2715$ °С. Оксид циркония — один из наиболее тугоплавких оксидов металлов [42].

Диоксид циркония проявляет амфотерные свойства, нерастворим в воде и водных растворах большинства кислот и щелочей, однако

растворяется в плавиковой и концентрированной серной кислотах, расплавах щелочей и стёклах.

Оксид циркония – высокотехнологичный материал, востребованный в таких отраслях производства как: создание теплозащитных экранов космических кораблей и тормозных дисков спортивных автомобилей, катализ, стоматология, эндопротезирование [42]. Основной метод производства оксида циркония - это высокотемпературное разложение силиката циркония $ZrSiO_4$, который плавят в электродуговой печи с последующим испарением кремния. Существуют три стабильные кристаллографические модификации ZrO_2 : моноклинная (до $1170^\circ C$), тетрагональная ($1170-2370^\circ C$) и кубическая ($2370-2680^\circ C$). При этом ZrO_2 , стабилизированный в тетрагональной фазе, обладает повышенными прочностью и износоустойчивостью.

2.2.2. Оксид алюминия

Внешний вид и цвет: порошок белого цвета, насыпная плотность от 0,6 до $1,7 \text{ г/см}^3$. Содержит в основном фазу $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Частицы имеют сферическую форму. Удельная поверхность, измеренная методом БЭТ 35 - 40 $\text{м}^2/\text{г}$. Температура плавления $2000^\circ C$. Порошок пожаро - и взрывобезопасен. Порошок оксида алюминия находит применение при изготовлении электротехнических керамик и композиционных материалов [42].

Таблица 2.1 – Сравнительные свойства оксида алюминия и оксида циркония [42]

	Микropорошок диоксида циркония	Нанопорошок диоксида циркония	Нанопорошок оксида алюминия
Плотность	$g=5.85 \text{ г/см}^3$	$g=5.4 \text{ г/см}^3$ при 20 нм	$g=1,2 \text{ г/см}^3$ при 70нм
Температура плавления:	$2715^\circ C$	$2715^\circ C$	$2000^\circ C$
Цвет	Белый	Белый	Белый

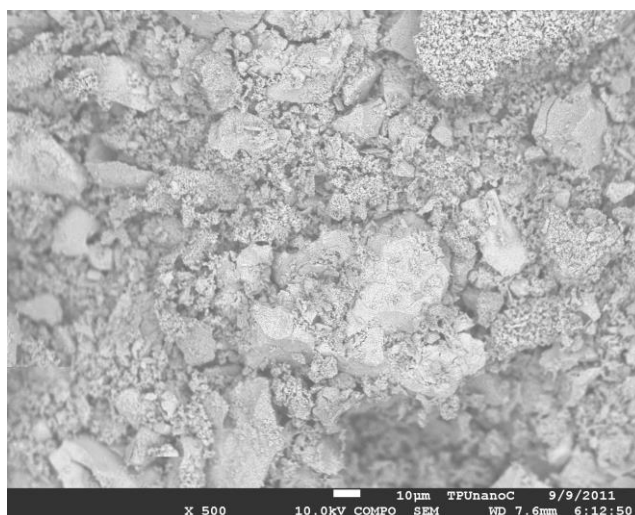


Рисунок 2.8 – Микропорошок диоксида циркония (ЧМЗ, г.Глазов)

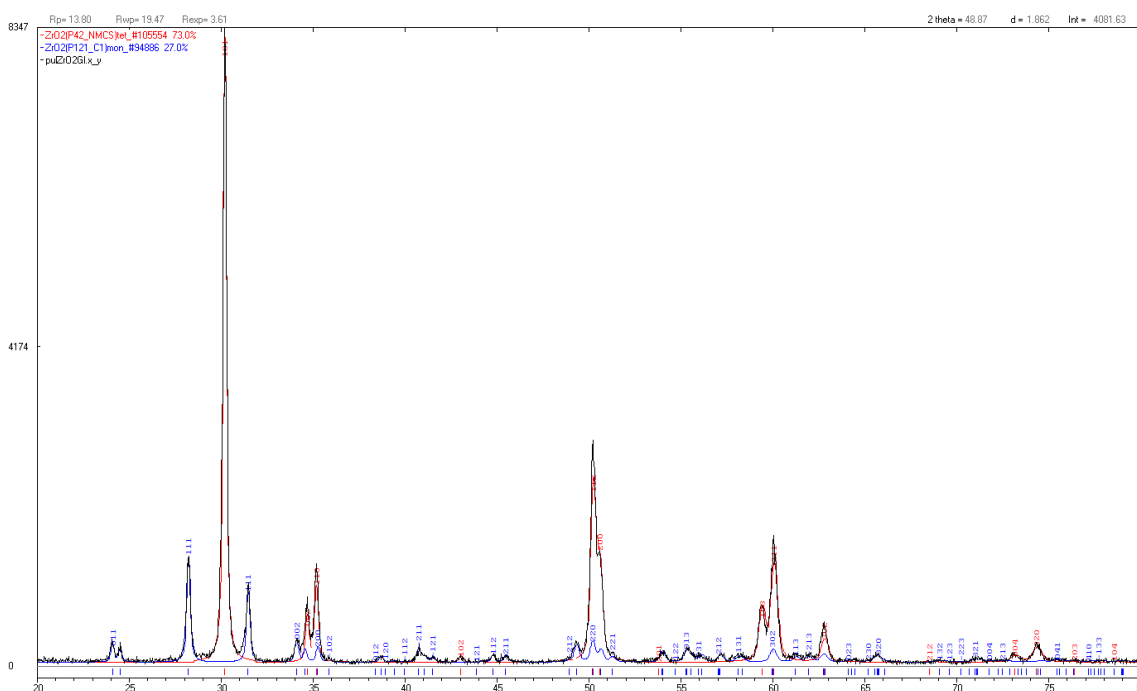


Рисунок 2.9 - Рентгенограмма порошка диоксида циркония (ЧМЗ, г.Глазов) с наложением спектров сравнения

Рентгенографическим исследованием фазового состава порошкообразного образца микронный порошок диоксида циркония содержит 73% тетрагональной фазы и 27% моноклинной.

Нанопорошок – масса из сухих nano частиц с внешними размерами во всех трех измерениях в нанодиапазоне, приблизительно от 1 нм до 100 нм [43].

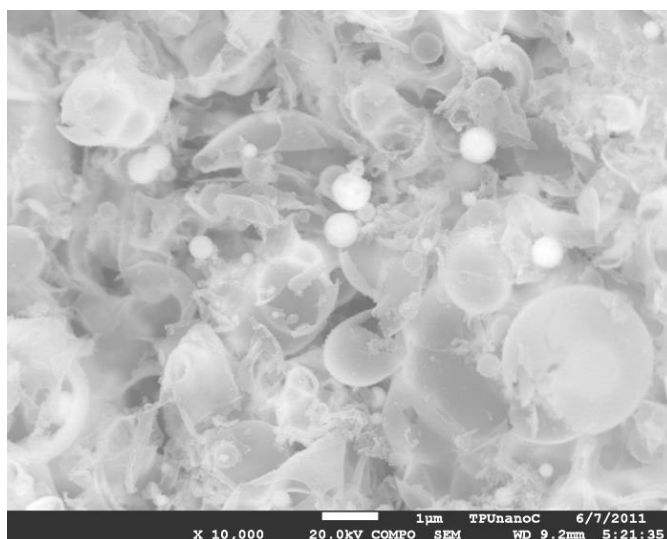


Рисунок 2.10 – Нанопорошок диоксида циркония (СХК, г. Томск)

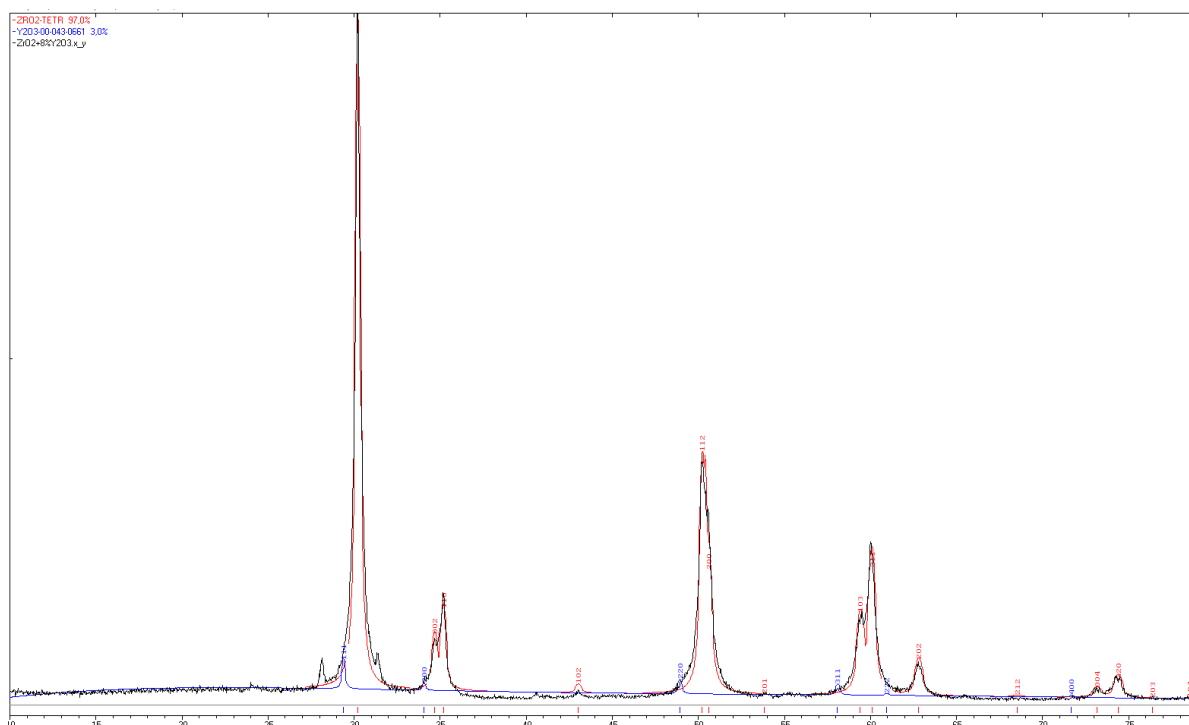


Рисунок 2.11 - Рентгенограмма наноразмерного порошка диоксида циркония (СХК, Томск) с наложением спектров сравнения

Рентгенографическим исследованием фазового состава порошкообразного образца $n\text{-ZrO}_2$ зафиксировано наличие тетрагонального диоксида циркония (97 об. %) и кубического оксида иттрия (3 об.%).

Оксид алюминия получают в виде нанопорошка (рисунок 2.12). Нанопорошок оксида алюминия: удельная поверхность $39,8 \text{ м}^2/\text{г}$, фазовый состав 100% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, ср. размер частиц 40 нм.

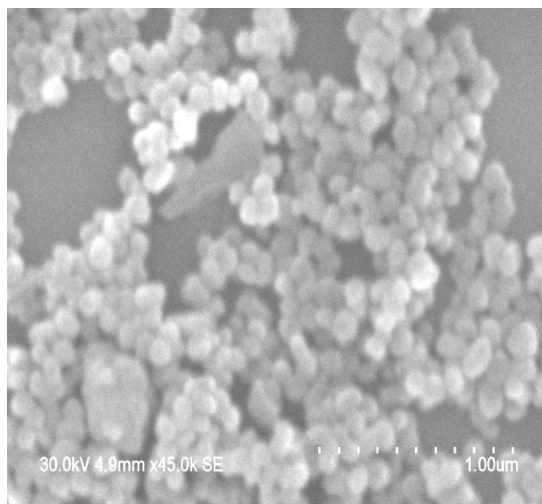


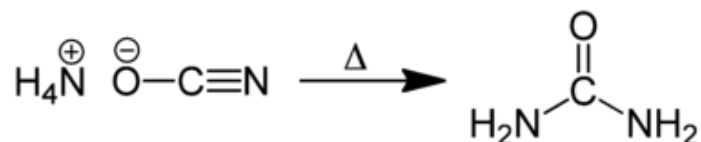
Рисунок 2.12 – Нанопорошок оксида алюминия (ИХТТ, г. Новосибирск)

Составляя приблизительно 15% годового объема производства нанопорошков в мире, оксид алюминия, или кремнезем, в основном используется в обрабатывающей промышленности как абразив, для струйной очистки, притирки и полировки, особенно в электронике и оптике. Кроме этого, он используется для очистки воздуха, в качестве катализатора, в конструкционной керамике и для производства конденсаторов.

2.2.3. Карбамид

Карбамид (мочевина) — химическое соединение, диамид угольной кислоты. Белые кристаллы, растворимые в полярных растворителях (воде, этаноле, жидком аммиаке) [44].

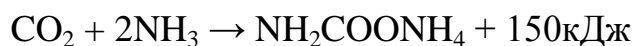
Мочевина открыта Руэлем в 1773 году и идентифицирована Уильямом Праутом в 1818 году. Особое значение мочеvine в истории органической химии придал факт её синтеза из неорганических веществ Фридрихом Вёлером в 1828 году:



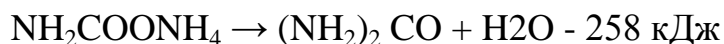
Это превращение является первым синтезом органического соединения из неорганического. Вёлер получил мочеvinу нагревом цианата аммония, полученного реакцией взаимодействия цианата калия с сульфатом

аммония. Это событие нанесло первый удар по витализму — учению о жизненной силе [44].

Сырьем для производства карбамида служат диоксид углерода и аммиак. Синтез карбамида протекает в две стадии. В первой стадии происходит образование карбаминово-кислого аммония (карбамата):



Затем карбамат дегидратируется с образованием карбамида:



Бесцветные кристаллы без запаха, кристаллическая решётка тетрагональная сингония ($a = 0,566$ нм, $b = 0,4712$ нм, $c = 2$); претерпевает полиморфные превращения кристаллов.

Мочевина хорошо растворима в полярных растворителях (при 20°C на 100 г растворителя: в жидком аммиаке -49,2 г, в метаноле - 22г, в этаноле - 5,4г, в изопропаноле - 2,6г, в сернистом ангидриде – 1,5г), при снижении полярности растворителя растворимость падает. Мочевина нерастворима в неполярных растворителях (алканах, хлороформе). Растворимость в воде показана в табл.2.2.

Таблица 2.2 - Растворимость карбамида в 100 граммах воды [44]:

Температура, °С	Количество, г	Температура, °С	Количество, г	Температура, °С	Количество, г
0	40	40	63,8	80	79
10	45	50	67,2	100	88
20	51,83	60	71,9		
30	57,2	70	75,5		

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что карбамид хорошо растворяется в воде в температурном интервале от 0 до 100°C, и в меньшей степени - в других полярных растворителях.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Из-за роста населения планеты и спроса на воду пригодную для использования, безопасность воды является одной из глобальных проблем планеты. Поэтому есть срочная необходимость разработки подходящей стратегии очистки воды для малых сельских и отдаленных развивающиеся страны с низким уровнем дохода.

Результаты исследования могут помочь найти безопасный и экономически оправданный подход к решению проблем питьевой воды в малых сельских городах и отдаленных развивающихся регионов.

Ежегодное производство и продажа керамических фильтров во всем мире составляет не более 15% от всего количества производства фильтров. Из них 75% остается за угольными фильтрами и 20% за полимерными.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка по виду применения материала.

Область применения	Вид изделия		
	Угольный фильтр	Полимерный фильтр	Керамический фильтр
Отчистка сточных вод			
Нефтеперерабатывающая промышленность			
Бытовое применение			

Как видно из приведенной карты сегментирования, наибольший сегмент занимает керамический фильтр касаясь областей применения. Из этого следует, что исследование по данной теме будет востребовано.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) – является комплексным

анализом научно-исследовательского проекта. Данный анализ используется для исследования внешней и внутренней среды, установления сильных и слабых сторон проекта.

Для проведения анализа составляется матрица. Результаты приведены ниже в таблице 4.2.

Таблица 4.2.1 – Первый этап SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Недорогой фильтрующий материал.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Наличие финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Не все образцы прошли испытания</p> <p>Сл2. Энергоемкое производство</p> <p>Сл3. Время производства</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Безотходное производство</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p>		

Таблица 4.2.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Недорогой фильтрующий материал.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Наличие финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Не все образцы прошли испытания</p> <p>Сл2. Энергоемкое производство</p> <p>Сл3. Время производства</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Безотходное производство</p>	<p>1. Разработка новой технологии с лучшими показателями.</p> <p>2. Снижение как расхода сырьевого материала, так и стоимости затрат на них, отправляя на вторичную переработку бракованных образцов.</p>	<p>1. Увеличение объема производства фильтрующей керамики.</p> <p>2. Создание новых составов для дальнейшего производства.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p>	<p>1. Сертификация товара</p> <p>2. Совершенствование метода получения продукта производства.</p>	<p>1. Совершенствование технологии в соответствии с конкурентными преимуществами.</p> <p>2. Снижение времени производства посредством повышения квалификации кадров и привлечения специалистов в сфере менеджмента.</p> <p>3. Замена поставщика сырья и специалистов по обслуживанию оборудования.</p>

По полученной таблице можно сделать следующие выводы: возможности совместно с сильными сторонами благоприятствуют развитию рынка и спроса на производимый товар, ввиду увеличения качества продукции; возможные угрозы при производстве, такие как отсутствие

спроса и развитая конкуренция, могут сильно ослабить позиции данной разработки на рынке, но совместно с сильными сторонами оно создает спрос на новую продукцию и совершенствование технологии производства.

4.3 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты приведенной в таблице 4.3.

Из наиболее влияющими предприятиями-конкурентами в области производства фильтрующей керамики являются российский НТЦ «БАКОР» и компания Фильтр-Керам.

Таблица 4.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Время производства	0,08	3	5	3	4	5	4
2. Прочность на сжатие	0,1	5	4	4	5	4	4
3. Водопоглощение	0,06	5	5	5	5	4	4
4. Открытая пористость	0,06	5	5	5	4	4	4
5. Проницаемая пористость	0,1	5	4	5	3	5	3
6. Экологичность	0,05	5	3	4	5	3	4
7. Простота производства	0,08	5	4	4	4	4	4
8. Простота эксплуатации	0,04	5	5	5	5	4	5
9. Безопасность производства	0,05	5	5	5	5	5	5
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
10. Конкурентоспособность продукта	0,09	4	4	4	4	4	4
11. Уровень проникновения на рынок	0,06	4	5	3	5	4	5
12. Цена	0,08	4	4	5	4	4	4
13. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	3	3	5	3	5
14. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	5	5	5	5
15. Наличие сертификации разработки	0,06	4	4	4	4	4	4
Итого	1	67	65	64	67	62	64

Исходя из оценочной карты сравнения конкурентных технических и экономических решений, данная разработка превосходит, по суммарной оценке, технических и экономических показателей, своих конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

4.4 Планирование научно – исследовательских работ

4.4.1. Структура работ в рамках научного исследования

В ходе научной работы образуется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. Для каждого работника имеется своя должность и у каждого запланирована своя работа.

Распределение работников по виду работ, соответствует свой порядок этапа работы, приеденный в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 – Порядок этапов работы и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер Студент
	6	Проведение экспериментов	Инженер Студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер

Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, инженер
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер
Изготовление и испытание опытного образца	10	Получение опытных образцов	Инженер, руководитель
	11	Лабораторные испытания опытных образцов	Инженер, руководитель
Оформление комплекта документации по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Инженер

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость работ определяется, как сумма трудоемкости этапов и видов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому ожидаемое время выполнения работ $t_{ож}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + t_{max}}{5}; \quad (4.4.2.1)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость выполнения отдельных видов работ, человеко-дни;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни.

Продолжительность любой работы в рабочих днях T_p определяется из ожидаемой трудоёмкости работ, так же учитывается параллельность выполнения работ некоторыми исполнителями:

$$T_p = \frac{t_{ож}}{N \cdot P} \cdot K_d; \quad (4.4.2.2)$$

где T_p – продолжительность работы в рабочих днях;

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы;

N – количество исполнителей; ($N = 2$)

P – число смен; ($P = 1$)

K_{∂} – коэффициент, учитывающий дополнительное время для консультаций и т. п. ($K_{\partial} = 1.2 \div 1.25$).

4.4.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Исходя из этого можно сделать вывод, что более удобным будет построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k; \quad (4.4.3.1)$$

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

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

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

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{выз}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.4.3.2)$$

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

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

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

Для удобства построения линейного графика выполнения работ, длительность этапов в рабочих днях переведем в календарные дни:

$$K = \frac{P_{\text{год}}}{P_{\text{рав}}}; \quad (4.4.3.3)$$

где K – поправочный коэффициент;

$P_{\text{год}}$ – количество дней в году ($P_{\text{год}} = 365$);

$P_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней ($P_{\text{раб}} = 251$).

$$T_k = T_{\partial} \cdot K; \quad (4.4.3.4)$$

где T_k – продолжительность работы в календарных днях;

$T_э$ – продолжительность работы в рабочих днях;

K – поправочный коэффициент.

Таблица 4.4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работ	Трудоемкость работ			Исполнители	T_p , раб.дн.	T_p , кал.дн.
	t_{min} , чел-дн.	t_{max} , чел-дн.	$t_{ож}$, чел-дн.			
Составление технологического задания	1	4	2,2	Руков	0,5	1
Подбор и изучение материалов	20	30	24	Инженер	24	36
Выбор направления исследований	4	8	5,6	Руков. Инженер	0,8	1
Календарное планирование работ по теме	3	6	4,2	Руков. Инженер	1,2	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	12	8,4	Инженер	8,4	13
Проведение экспериментов	28	35	30,8	Инженер	30,8	46
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	4	6	4,8	Руков. Инженер	1,8	3
Оценка полученных результатов	3	5	2,4	Руков. Инженер	0,7	1
Составление пояснительной записки	10	15	12	Инженер	12	18

Таблица 4.4.3– Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ											
			Февр		Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Составление технического задания	Руководитель	1	█											
Подбор и изучение материалов	Инженер	36	█	█	█									
Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	1			█									
Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер	2			█	█								
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	13				█	█							
Проведение экспериментов	Инженер	46						█	█	█	█	█		
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Руководитель Инженер	3										█	█	

Продолжение таблицы 4.4.3.

Оценка полученных результатов	Руководитель Инженер	1													
Составление отчета по НИР	Инженер	18													

Руководитель

Студент



4.4.4 Расчет материальных затрат НИИ

В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НИИ;
2. основная заработная плата исполнителей темы;
3. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
4. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
5. накладные расходы.

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции, или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (4.4.4)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 4.4.4.

Таблица 4.4.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена на ед., руб	Затраты на материалы Z_m , руб
Карбамид	кг	0,6	22	13,2
Парафин	кг	0,07	110	7,7
Оксид циркония	кг	0,2	6000	1200
Нанопорошок оксида циркония	кг	0,01	9000	90
Нанопорошок оксида алюминия	кг	0,01	8600	86
Олеиновая кислота	л	0,005	130	0,65
Итого:				1397,55

4.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

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

$$A = \frac{C_n \cdot N_a}{\text{кол.раб.дн.в год} \cdot 100} \cdot T_p \quad (4.4.5)$$

где C_n – первоначальная стоимость оборудования, руб;

N_a – норма амортизации, %;

Число проработанных месяцев n берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1248 ч = 1,73 месяца.

Таблица 4.4.5.1 – Затраты на специальное оборудование для проведения исследовательской работы.

Наименование оборудования	С _п , руб
Весы аналитические Веста В153	15000
Пресс гидравлический	15000
Печь камерная	70000
Плитка электрическая одноконфорочная	1500
Вакуумная установка ВУ-976А	57 645
Пресс малогабаритный ПМ-МГ4	280000
Итого:	

Таблица 4.4.5.2– Расчет амортизации оборудования

Наименование оборудования	С _п , руб	Н _а , %	Т _р , дн.	А, руб
Пресс малогабаритный ПМ-МГ4	280000	4	120	3682,2
Итого:				3682,2

Затраты на электроэнергию (таблица 4.4.5.2) учитываются только на технологические цели, так как затраты на освещение и другие цели связаны с общеустановленными расходами.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_э = N \cdot T \cdot C$$

где N – потребляемая мощность установки, кВт;

T – время работы оборудования, ч;

C – стоимость 1кВт·час электроэнергии (5,8 руб.)

Таблица 4.4.5.2 – Расчет затрат на электроэнергию.

Наименование оборудования	N, кВт/ч	T, ч	Затраты, руб.
Весы аналитические Веста В153	0,40	24	56
Пресс гидравлический	3,50	14	284,2
Печь камерная	3,00	72	1252,8
Плитка электрическая одноконфорочная	1,00	10	105,8

Вакуумная установка ВУ-976А	3,50	12	243,6
Пресс малогабаритный ПМ-МГ4	3,50	14	284,2
Итого			2226,6

4.4.6 Основная заработная плата исполнителей темы

Включается основная и дополнительная заработная плата. Туда также входят премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере от двадцати до тридцати процентов от тарифа или оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.4.6.1)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя от предприятия рассчитывается:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.4.6.2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.4.6.3)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле 4.4.6.4:

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p \quad (4.4.6.4)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по оклад ставке, руб.;

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

В таблице приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ

Таблица 4.4.6.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное количество дней	365	365
Количество нерабочих дней		
выходные дни:	64	111
праздничные дни:	8	8
Потери рабочего времени		
отпуск:	48	24
невыходы по болезни:	0	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	268

Расчет основной заработной платы приведен в таблице

Таблица 4.4.6.2– Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{ок}$, руб.	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	43763,2	1732,6	5	8663,3
Инженер	9489	12335,7	337,4	80	30194,8

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.4.6.3.

Таблица 4.4.6.3– Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	8663,3	1299,5	9962,8
Инженер	30194,8	4529,2	34724

4.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье отражаются отчисления по установленным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования. Величина отчислений определяется по формуле .

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.4.7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Установлено, что отчисления для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность имеют коэффициент отчислений 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.4.7

Таблица 4.4.7–Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	8663,3	1299,5
Инженер	30194,8	4529,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	12110,1	

4.4.8 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (4.4.8)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов $k_{\text{нр}}$ допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составят:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= 0,16 \cdot (1397,55 + 3682,2 + 2226,6 + 12110,1 + 9962,8 + 34724) = \\ &= 10256,52 \end{aligned}$$

4.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице

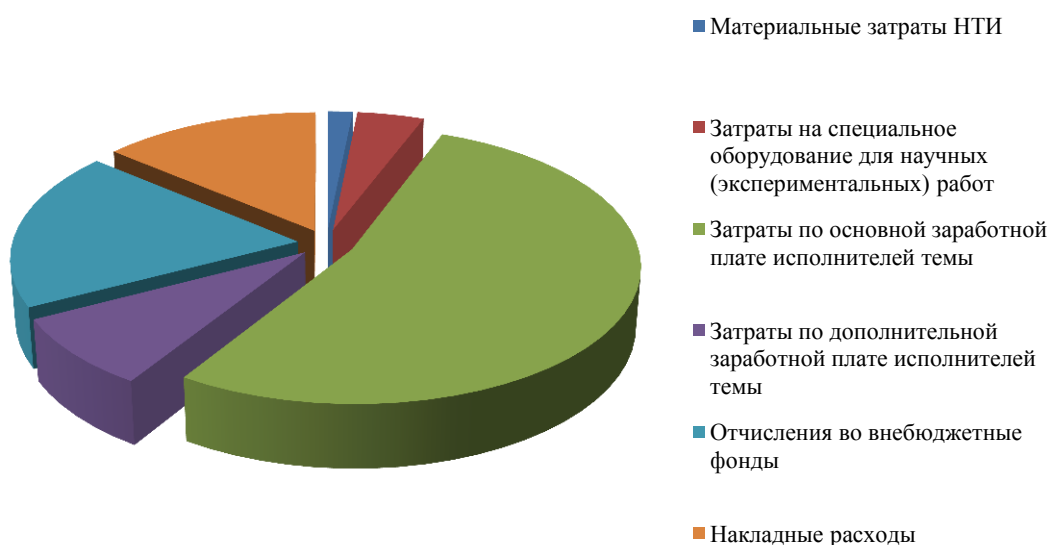
Таблица 4.4.9– Расчет бюджета затрат НТИ.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
		Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НТИ	1397,55	
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	3682,2	

Продолжение таблицы 4.4.9

3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	8663,3	30194,8
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1299,5	4529,2
5	Отчисления во внебюджетные фонды	12110,1	
6	Накладные расходы	10256,52	
7	Бюджет затрат НИИ	72133,17	

Круговая диаграмма на рисунке отражает все основные затраты на проведение научно технического исследования.



Как видно из диаграммы, основным пунктом затрат НИИ являются затраты по основной заработной плате исполнителей.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_1 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{72133,17}{98760} = 0,73$$

$$I_2 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{58445,20}{98760} = 0,59$$

$$I_3 = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{98760}{98760} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum (a_i \cdot b_i),$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп. 2	Исп. 3
Критерий				
1. Время производства	0,06	5	3	3
2. Прочность на сжатие	0,3	5	3	5
3. Водопоглощение	0,07	5	4	5
4. Открытая пористость	0,07	4	4	5
5. Проницаемая пористость	0,25	5	4	4
6. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	4	4
7. Цена	0,15	5	5	5
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	3	4
Итого:	1	4,625	3,75	4,375

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 4.5.2

$$I_{p-исп1} = (0,06 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,07 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4) = 4,83$$

$$I_{p-исп2} = (0,06 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,07 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4) = 3,79$$

$$I_{p-исп3} = (0,06 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4) = 4,53$$

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

$$I_{исп.i} = I_{p-исп.i} / I_i$$

Таблица 4.5.2– Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,73	0,59	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,625	3,75	4,375
3	Интегральный показатель эффективности	6,34	6,35	4,375
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,37	1,69	1

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным.

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик.

В результате работы над разделом "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" определена перспективность научно-исследовательского проекта, определен его коммерческий

инновационный потенциал. Также проведен предпроектный анализ и планирование проекта. Рассчитана себестоимость реализации данной научно-исследовательской работы.

Список публикаций студента

1. Черепанова А. Повышение механической прочности пористой кордиеритовой керамики / А. Черепанова, Е. В. Дьяконова; науч. рук. Т. А. Хабас // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 433-434].
2. Черепанова А. Влияние способа приготовления кордиеритовой керамики на механические характеристики / А. Черепанова, Е. В. Дьяконова; науч. рук. Т. А. Хабас // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, 29 мая-1 июня 2017 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С.107-108].
3. Применение порообразователей различной природы для создания проницаемо пористой керамики / Е. В. Дьяконова [и др.] // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 314-315].
4. Исследование процесса кристаллизации порообразователя для создания керамики с проницаемой пористостью / Е. В. Дьяконова [и др.] // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, 21 мая- 24 мая 2018 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - [С. 63 -64].