

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и механических свойств многокомпонентной керамики

УДК 666.3.017

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Чжао Цзяхао		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Дедова Е.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2022 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

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

	естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро – и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов

	производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
--	---

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ О. Ю. Ваулина
 (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
154Б81	Чжао Цзяхао

Тема работы:

Исследование структуры и механических свойств многокомпонентной керамики	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 32-50/с от 01.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>Объектом исследования данной работы является многокомпонентные керамические твердые растворы (Zr, Hf, Nb)C.</p> <p>Кроме того, рассмотрели и проанализировали соответствующие факторы риска и реальные факторы в рабочем процессе: высокое электромагнитное излучение, недостаточное освещение в рабочей зоне, высокая температура, чрезмерный уровень шума, запыленный воздух, нейропсихологическая перегрузка, пожар и безопасность, и предложили решения и контрмеры, подходящие для промышленной безопасности производства.</p> <p>В соответствии с фактическим процессом исследования рассчитайте производственный цикл продукта, процесс исследования, расчет затрат, возврат и риск возврата инвестиций.</p>
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор 2. Экспериментальная часть 3. Результаты и обсуждение 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Заключение по работе 7. Список используемых источников
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В., к.т.н., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Сечин А.И., д.т.н., профессор ООД ШБИП
Обзор литературы	Дедова Е.С., доцент отделения материаловедения
Материалы и методика исследования	Дедова Е.С., доцент отделения материаловедения
Результаты исследования	Дедова Е.С., доцент отделения материаловедения

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:

1. Обзор литературы (русский язык)
2. Материалы и методики (русский язык)
3. Результаты исследования (русский язык)
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)
5. Социальная ответственность (русский язык)

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Дедова Е.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Чжао Цзяхао		

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

Студенту:

Группа 154Б81	ФИО Чжао Цзяхао
------------------	--------------------

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования. Расчет бюджетной стоимости НИ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	К.Т.Н.		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Чжао Цзяхао		28.02.22

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 154Б81		ФИО Чжао Цзяхао	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Изучение структуры и свойств многокомпонентного керамического твердого раствора

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объектом исследования является влияние различных методов получения на структуру и свойства многокомпонентных керамических твердых растворов.
Область применения может широко использоваться в аэрокосмической, военной промышленности, машиностроении и медицинской областях.
Рабочая зона: лаборатория
Размеры помещения (климатическая зона) 5*8м.
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Планетарная шаровая мельница, весы, горячий пресс, пресс искрового плазменного спекания, сканирующий электронный микроскоп, ДРОН 3.
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:
1. Перемешать порошок на планетарной шаровой мельнице.
2. Взвешивать на весах.
3. Консолидировать порошок на горячем прессе.
4. Консолидировать порошок на прессе искрового плазменного спекания.
5. Наблюдать и анализировать образца с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:

специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Специальные: должностная инструкция работника.
Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:

Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

Вредные производственные факторы: шум на рабочем месте, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.
Опасные производственные факторы: электрический ток.
Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных

	<i>факторов:</i> противошумные наушники, вентиляция, кондиционирование воздуха, перчатки, респираторы.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p><i>Воздействие на селитебную зону:</i> При выполнении работ возникают шум, вибрация и другие вредные вещества. С учетом мероприятий по снижению вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека можно установить размеры ориентировочных санитарно-защитных зон: предприятия V класса – 50м;</p> <p><i>Воздействие на литосферу:</i> неразлагаемые твердые металлические или пластмассовые отходы, утилизация люминесцентных ламп, макулатуры и микросхем отработавшего оборудования;</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> хладагент лабораторного оборудования сбрасывается в реки или озера, продукты жизнедеятельности персонала;</p> <p>При выполнении работы влияние на атмосферу не происходит.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p><i>Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</i> авария, взрыв, загрязнение атмосферы отравляющими веществами.</p> <p><i>Наиболее типичная ЧС:</i> пожар в помещении лаборатории.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Чжао Цзяхао		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 82 страницы, 10 рисунков, 26 таблиц, 43 источника.

Ключевые слова: энтропия, многокомпонентная керамика, искровое плазменное спекание, горячее прессование.

Объект исследования: многокомпонентная керамика (Zr, Hf, Nb)C.

Цель работы: исследование структуры и свойств многокомпонентной керамики (Zr, Hf, Nb)C, полученной методами искрового плазменного спекания и горячего прессования.

Исследования проводились с помощью электронной микроскопии и рентгеновской дифракции. Получены керамические материалы (Zr, Hf, Nb)C с ГЦК структурой методами искрового плазменного спекания и горячего прессования. Показано, что в зависимости от метода получения формируется различная структура. Так, керамика (Zr, Hf, Nb)C, полученная искровым плазменным спеканием, обладала более мелкозернистой структурой по сравнению с керамикой аналогичного состава, синтезированной горячим прессованием.

Область применения: полученный материал может применяться в литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, катализ, охрана окружающей среды, термоэлектрии, теплоизоляторы, электронная керамика, бисовместимые покрытия, диффузионные барьеры для приложений микроэлектроники.

Экономическая эффективность/значимость работы: 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 физико-механических характеристик.

В будущем планируется изучить структуру и характеристики четырехкомпонентных керамических твердых растворов.

Обозначения и сокращения

СССs – композиционно сложная керамика;

НЕСs – высокоэнтروпийная керамика;

НР – горячее прессование;

МЕСs – среднеэнтропийная керамика;

SPS – искровое плазменное спекание;

ГЦК – гранцентрированная кубическая решетка;

РЭМ – растровый электронный микроскоп;

ОКР – область когерентного рассеяния.

Содержание

Введение.....	15
1 Литературный обзор.....	17
1.1 Определение энтропии.....	17
1.2 Энтропия и классификация энтропийной керамики.....	18
1.3 Типы однофазной высокоэнтропийной керамики.....	22
1.4 Комплексные свойства энтропийной керамики.....	30
1.5 Способы получения многокомпонентной энтропийной керамики.....	33
1.5.1 Искровое плазменное спекание.....	33
1.5.2 Горячее прессование.....	34
2 Экспериментальная часть.....	35
2.1 Материалы и методики.....	35
2.2 Исследование микроструктуры многокомпонентной керамики.....	36
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	44
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	46
3.1.3 SWOT-анализ.....	46
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	50
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	50
3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	51
3.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	54
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
4 Социальная ответственность.....	64
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	64

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	64
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	65
4.2 Производственная безопасность	66
4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	67
4.3 Экологическая безопасность	72
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
Заключение	77
Список используемых источников	78

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время с развитием машиностроения, химического машиностроения, энергетики и других отраслей у людей возникают все более высокие требования к эксплуатационным характеристикам материалов. Когда разработка традиционных материалов приближается к своему пределу и не может удовлетворить растущие потребности новых технологий в различных отраслях промышленности, разработка новых материалов становится особенно важной [1].

Комплекс свойств материалов может быть улучшен путем смешивания различных компонентов. Компоненты могут как усреднять и улучшать свойства конечного материала, а иногда приводить к совершенно новым свойствам. В сильно неупорядоченных многокомпонентных системах энтропия обеспечивает очень хорошие свойства, включая формирование однофазного состояния с простой кристаллической структурой, медленной кинетикой, искажениями решетки и многими другими свойствами. Система, стабилизированная энтропией, обычно превосходит комплексом физико-механических свойств исходные материалы. Мир энтропийных материалов разнообразен. Добавляя составляющие элементы, многокомпонентный материал приобретает некоторые новые свойства, а которые можно корректировать концентрацией исходных компонентов. Применение эффективных высокопроизводительных технологий и технологий искусственного интеллекта позволяет обнаруживать превосходные свойства большого количества неупорядоченных материалов [2].

В 2004 году ученый Е Цзюньвэй [3] предложил модель проектирования высокоэнтропийных сплавов, то есть сплавы больше не ориентируются на один элемент, а с несколькими основными элементами в качестве основных компонентов. Высокоэнтропийные сплавы обычно содержат более 5 основных элементов, а атомная доля каждого основного элемента составляет от 5% до 35%. Его структура и свойства во многом отличаются от обычных сплавов.

Многокомпонентные энтропийные материалы с большими периодами решетки, но неупорядоченными составами имеют большое научное и практическое значение благодаря своим уникальным свойствам, включая высокую прочность, твердость, сверхпроводимость и др. С 2015 года понятие энтропии было распространено от сплавов до керамики. Сегодня к категории энтропийной керамики относятся оксиды, бориды, нитриды, карбиды и др.

Актуальность данного исследования заключается в том, что многокомпонентные энтропийные керамические материалы являются одними из очень перспективных новых материалов, во главе которых стоит многокомпонентная керамика, получившая широкое внимание благодаря своим превосходным физическим, химическим и механическим свойствам. Для улучшения спекаемости таких материалов при комнатных, высоких и сверхвысоких температурах были использованы различные технологические процессы (включая горячее прессование и искровое плазменное спекание) для получения многокомпонентной керамики [4]. Однако влияние как горячего прессования, так и искрового плазменного спекания на структуру и фазовые превращения многокомпонентной керамики из твердого раствора на сегодняшний день остается неизвестным. Поэтому целью данной работы является исследование фазового состава, микроструктуры и свойств многокомпонентной керамики, полученной различными методами.

1 Литературный обзор

1.1 Определение энтропии

В середине 18 века немецкий физик Рудольф Клаузиус впервые предложил концепцию «энтропии», которая используется для выражения однородности любого вида энергии в пространстве в термодинамике. Чем равномернее распределение энергии, тем больше энтропия.

В статистической физике энтропия связана с количеством микроскопических состояний, и делается микроскопическая интерпретация энтропии, то есть: в системе, состоящей из большого количества частиц, энтропия представляет собой степень нерегулярного расположения между частицами или в других случаях. Словами, система представляет собой степень беспорядка (степень дезорганизации). Чем более хаотична система, тем больше энтропия; чем более упорядочена система, тем меньше энтропия.

Поскольку энтропия является мерой неопределенности системы, а значение энтропии имеет аддитивность (суммируемость), симметрию, неотрицательность и экстремальное значение (когда система находится в состоянии без неопределенности, первичное значение системы равно 0) и другие свойства, следовательно, энтропия – лучший показатель «неопределенности». Другими словами, можете судить о степени случайности и беспорядка события, вычисляя значение энтропии, а также можете использовать значение энтропии для оценки степени дисперсии индекса [5].

На протяжении более 100 лет, благодаря обобщению концепции энтропии и неустанному изучению и применению многих ученых, энтропия широко использовалась не только в естественных науках, но также в областях социальных наук и наук управления. Энтропия рассматривается многими учеными как «пересечение естествознания и социальных наук» [6].

1.2 Энтропия и классификация энтропийной керамики

В термодинамической системе энтропия является мерой степени хаоса в системе. Чем выше степень хаоса в системе, тем больше энтропия. Теперь мы можем определить высокую энтропию, среднюю энтропию и низкую энтропию в соответствии с размером энтропии. В статистической термодинамике энтропия (S) связана с числом микроскопических состояний (W) системы, то есть $S = k \ln W$, а k – постоянная Больцмана. Для системы сплава смешанная свободная энергия Гиббса может быть выражена уравнением (1):

$$G_{\text{смеша}} = H_{\text{смеша}} - TS_{\text{смеша}} \quad (1)$$

где $G_{\text{смеша}}$, $H_{\text{смеша}}$, $S_{\text{смеша}}$ – свободная энергия Гиббса смешения, энтальпия смешения и энтропия смешения соответственно, T – абсолютная температура. Можно видеть, что уменьшение энтальпии смешения или увеличение энтропии смешения может уменьшить свободную энергию Гиббса и сделать систему сплава более стабильной. Среди них смешанная энтропия может быть разделена на две части, а именно на идеальную смешанную энтропию $S_{\text{смеша}}$ (идеальную) и суперэнтропию $S_{\text{смеша}}$ (избыточную), как показано в формуле (2):

$$S_{\text{смеша}} = S_{\text{смеша}} (\text{идеальный}) + S_{\text{смеша}} (\text{избыточный}) \quad (2)$$

Идеальная энтропия смешения относится к энтропии смешения в условиях неупорядоченного твердого раствора, то есть все атомы металла полностью случайным образом распределены в сплаве. В реальных ситуациях сегрегация элементов или образование интерметаллических соединений, а также вклад вибрации, магнетизма и электронов будут влиять на энтропию смешения, то есть на суперэнтропию (избыточную энтропию), но эту часть сложно определить количественно, поэтому обычно рассматривается только идеальная ситуация. Следующая смешанная энтропия (конфигурационная энтропия) [7], как в формуле (3):

$$S_{\text{смеша}} (\text{идеальный}) = -R \sum C_i \ln C_i \quad (3)$$

где R – это постоянная идеального газа, C_i – количество вещества i -го компонента. Когда $C_1 = C_2 = \dots = C_i$, то есть когда соотношение количеств одного и того же вещества, значение энтропии является самым большим. В это время:

$$S_{\text{смеша}} (\text{идеальный}) = R \ln N \quad (4)$$

Можно получить, что чем больше типов элементов (N), тем больше энтропия смешения. Видно, что чем больше типов элементов (N), тем больше энтропия смешения.

С точки зрения энтропии, когда $S_{\text{смеша}} \geq 1.61R$ (т.е. $N \geq 5$), это можно назвать высокой энтропией; и когда значение энтропии составляет $1.10R \leq S_{\text{смеша}} \leq 1.61R$ (т.е. $N = 3, 4$), это можно назвать средней энтропией; когда значение энтропии $S_{\text{смеша}} \leq 1.10R$ (т.е. $N \leq 2$), оно называется низкой энтропией.

Для керамики и других неметаллических материалов концепция высокой энтропии расширена, чтобы иметь 5 или более ионов в одной и той же подрешетке, например, первый описанный высокоэнтропийный оксид (MgNiCoCuZn)O со структурой каменной соли. То есть четыре других катиона случайным образом замещают положения ионов Mg в MgO, в то время как положение O остается неизменным, и нет изменения энтропии конфигурации. Средняя энтропия означает, что в одной и той же подрешетке находится от 3 до 4 типов ионов, а низкая энтропия означает, что в одной подрешетке находится 2 или меньше ионов. Кроме того, в керамике существует множество вакансий и нестехиометрии, которые вызывают увеличение энтропии конфигурации [1].

Miracle и Senkov [8] обобщили и обсудили несколько определений высокоэнтропийных сплавов. Подобно их металлическим аналогам, мы можем определить высокоэнтропийную керамику как состав из пяти или более основных (~5–35%) катионов (обычно эквимольных или близких к

эквимолярным фракциям) с идеальной смешанной энтропией. Каждый катион больше $1 : 5k_B$ (если есть две или более катионных подрешеток, по крайней мере, на одной катионной подрешетке), где k_B – постоянная Больцмана.

При изучении оксидов флюорита Wright и др. [9] впервые предложили распространить высокоэнтропийную керамику на керамику со сложным составом, включая среднеэнтропийные и неэквимолярные компоненты, рисунок 1. Керамику со сложным составом можно также назвать «керамикой с несколькими основными катионами», как и их металлические аналоги, сплавы с несколькими основными элементами.

Здесь керамика со сложным составом включает керамику со средней энтропией, энтропия смешанной конфигурации которой обычно находится в диапазоне $1 : 5 k_B$ на катион (если имеется несколько катионных подрешеток, хотя бы на одной катионной подрешетке), и аналогичные определения используются для их металлических аналогов.

Мы можем классифицировать керамику со средней энтропией по количеству катионов и количеству эквимолярных неэквимоляров, рисунок 1:

- 1) Упорядоченная керамика средней энтропии с двумя подрешетками;
- 2) Керамика средней энтропии с 3 или 4 катионами эквимолярного состава;
- 3) Неэквимолярная керамика со средней энтропией с 3 или 4 первичными катионами и некоторыми вторичными (обычно менее 5%) катионами.

По количеству катионов или катионных подрешеток высокоэнтропийную керамику можно разделить на три категории, рисунок 1:

- 1) Высокоэнтропийная композитная керамика только с одной катионной подрешеткой.
- 2) Высокоэнтропийная композитная керамика на одной из двух / более катионных подрешеток.

3) Высокоэнтропийная композитная керамика с двумя (или более) катионными подрешетками.

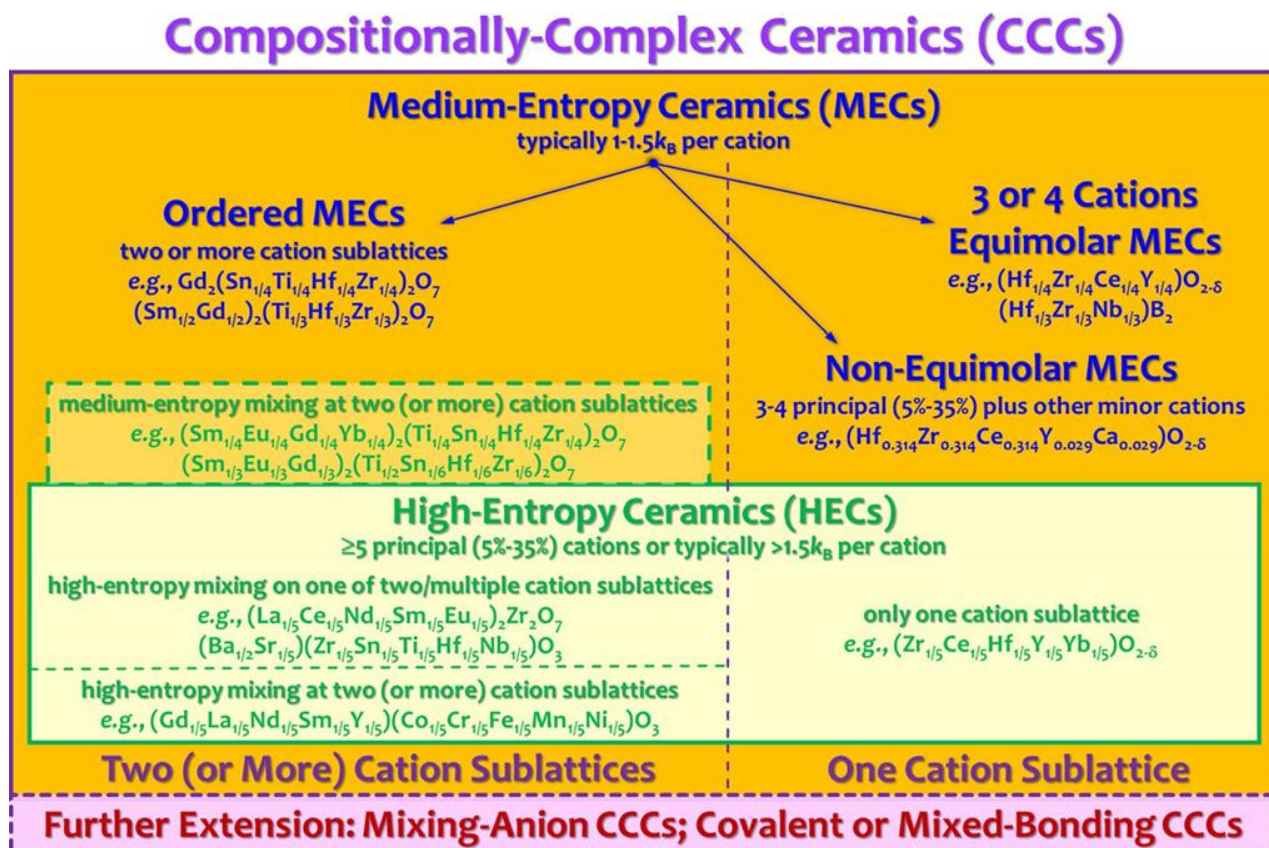
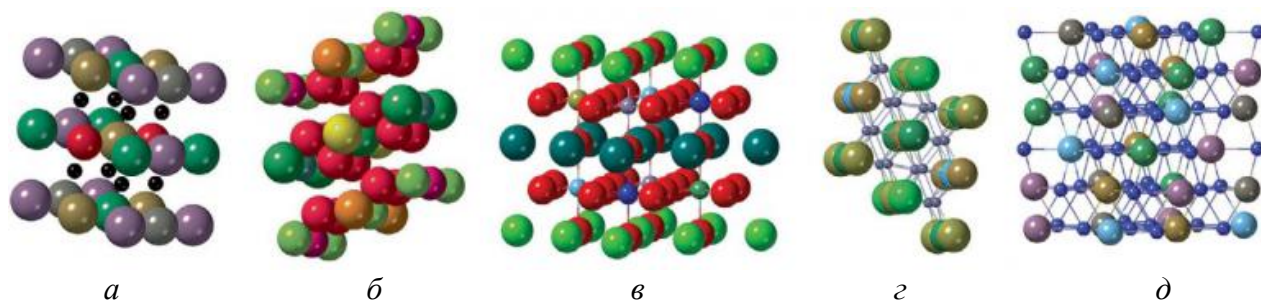


Рисунок 1 – Классификация и примеры энтропийной керамики [9]

Одним из направлений, которое сейчас активно исследуется и развивается в области материаловедения, являются высокоэнтропийные свойства материалов. В настоящее время их можно найти во многих типах соединений.

1.3 Типы однофазной высокоэнтропийной керамики

Однофазная высокоэнтропийная керамика в основном включает сплавы каменной соли, оксиды флюорита, сложные оксиды типа перовскита, другие оксиды и бориды, карбиды, нитриды и силициды. Структуры этих соединений показаны на рисунке 2 [10].



а) Каменная соль состав; б) Флюорит состав; в) Перовскит состав;
г) $A1B_2$ шестиугольный состав; д) C40 состав

Рисунок 2 – Высокосимметричная структура высокоэнтропийной керамики

Сплав (MgCoNiCuZn)O со структурой каменной соли

В центре внимания находится синтез MgCoNiCuZn и его производных. Его пути синтеза включают твердофазную реакцию, распылительный пиролиз, пламенный пиролиз, соосаждение и улучшенный синтез горения раствора. Относительно однофазного (MgCoNiCuZn)O того, может ли это быть достигнуто только с помощью механохимического синтеза, и повлияет ли это на его каталитические характеристики, существуют противоречивые сообщения. В двух исследованиях использовались различные прекурсоры оксида кобальта: каменная соль CoO и шпинель Co_3O_4 для синтеза однофазной каменной соли (MgCoNiCuZn)O в условиях высоких температур, что указывает на то, что термическая обработка является необходимым средством преодоления структурного несоответствия. Другое исследование [2] объединило LiF с (MgCoNiCuZn)O с помощью механохимического синтеза и отметило, что некоторые аморфные материалы также могут образовываться. Среди катионов (MgCoNiCuZn)O Cu является наиболее аномальным. Медь отвечает за формирование прочности, ширины и формы пика Брэгга, которые отличаются от идеальной структуры каменной соли. При различных условиях термообработки и закалки Cu имеет тенденцию к образованию кластеров и

разделению фаз на CuO (800 °C) и Cu₂O (1100 °C). Cu вызывает большее искажение анионной подрешетки. Увеличение концентрации Cu уменьшает долю высокоспинового Co²⁺ (превращает его в низкоспиновый Co³⁺) и снижает интенсивность антиферромагнитного взаимодействия в системе; CuO – это самый медленный оксид, добавляемый к однофазной структуре. Аномалия проистекает из эффектов размера и поведения Джейн-Теллер. Структурная деформация не является синергической (т.е. Вытянутой в одном направлении), включая тетрагональное растяжение и сжатие, и обычно показывает небольшое наклонное искажение.

Изучение магнитного порядка (MgCoNiCuZn)O было сначала выполнено в тонкой пленке, и целью было обнаружение антиферромагнетизма трех соединений (CoO, NiO и CuO). Учитывая сильный беспорядок этого соединения, мы не можем считать само собой разумеющимся, что оно имеет какой-либо магнитный порядок, хотя может иметь состояние, подобное спиновому стеклу. Однако (MgCoNiCuZn)O демонстрирует долговременное антиферромагнитное поведение при температуре (TN) в диапазоне 106 – 140 К. Такой большой диапазон TN, а также пониженное TN и упорядоченные магнитные моменты по сравнению с его составными частями, указывают на то, что беспорядок и/или магнитная фрустрация ингибируют медленный магнитный переход, дополнительно подтверждая краткосрочные магнитные флуктуации выше TN [2].

Оксид флюорита

Основным компонентом флюорита является фторид кальция, и его структура показана на рисунке 3. Катионы металла Ca²⁺ в элементарной ячейке плотно упакованы и расположены, образуя гранецентрированную кубическую структуру. Анион F⁻ занимает все тетраэдрические промежутки в гранецентрированной кубической структуре. Каждый катион согласован с 8 анионами, а каждый анион согласован с 4 катионами. Оксиды флюоритного

типа представляют собой оксиды со структурой флюоритового типа, такие как кубический диоксид циркония, оксид церия и т.д.

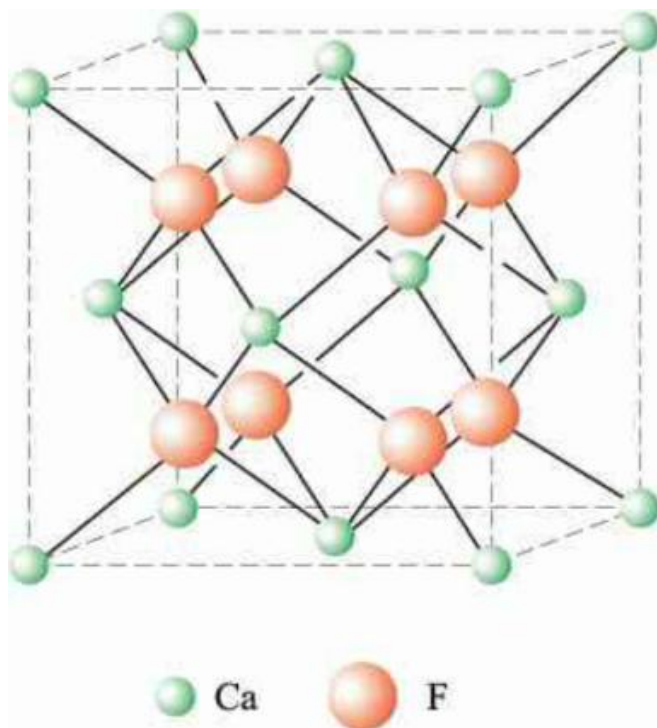
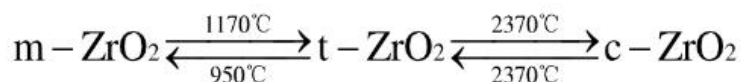


Рисунок 3 – Схема структуры типа флюорита

ZrO_2 является основным оксидом циркония. Он имеет молекулярную массу 123,22, температуру плавления около 2680 °С и температуру кипения 4300 °С. Он мало растворим в соляной и азотной кислотах, медленно растворим в плавиковой кислоте и почти не растворим в воде. Коррозионные неорганические неметаллические материалы. Могут быть три кристаллические формы ZrO_2 при нормальном давлении, моноклинная сингония ($m-ZrO_2$) при низкой температуре, плотность 5,65 г/см³, высокая температура, тетрагональная сингония ($t-ZrO_2$), плотность 6,10 г/см³, при более высоких температурах это кубическая сингония ($c-ZrO_2$) с плотностью 6,27 г/см³. Зависимость взаимного превращения и температура превращения следующие:



Допирование соответствующими стабилизаторами может изменить температуру фазового перехода ZrO_2 , например легирование CaO, MgO, Y_2O_3 и т.д. или другими оксидами редкоземельных элементов, так что ZrO_2 может

стабильно существовать в тетрагональной и кубической фазах при комнатной температуре. Он может не только поддерживать структуру основной фазы, но и изменять внутреннюю структуру кристалла. Этот вид керамики ZrO_2 со стабильной структурой может выдерживать высокие температуры, хорошую химическую стабильность и низкую теплопроводность, что делает его идеальным высокотемпературным изоляционным материалом. Среди нескольких стабилизаторов Y_2O_3 имеет лучший стабилизирующий эффект, а стабильная кубическая фаза ZrO_2 может быть получена путем добавления 8 моль 1% Y_2O_3 .

CeO_2 – наиболее представительный оксид церия, церий имеет валентность +4, его молекулярный вес составляет 172,11, температура плавления составляет 2400 °С, а температура кипения составляет 3500 °С. Он обладает сильными окислительными свойствами и не растворяется в воде. CeO_2 – это типичный оксид кубической фазы флюоритового типа [11].

Оксид флюорита в основном включает систему из трех-шести катионов со структурой флюорита типа CaF_2 , которая соответствует структуре CeO_2 . Соединение с 7-валентным катионом дополнительно прокаливает с образованием кубической структуры с более низкой симметрией, которая соответствует пространственной группе Y_2O_3 . ($Ce \{RE\}$) Компонент $O_{2-\delta}$ не образует однофазной структуры Ce , поэтому он не является высокоэнтропийно устойчивым. Напротив, $(HfZrCeTiSn)O_2$ демонстрирует свидетельство стабильности энтропии: переход от многофазной к однофазной является обратимым. Плотность соединения $(HfZrCe)(\{M\})O_{2-\delta}$, синтезированного с помощью SPS, достигает 100% [2].

Составной оксид типа перовскита

Общая формула структуры перовскита может быть выражена через ABO_3 , а кристаллическая структура представляет собой кубическую кристаллическую систему, которая представляет собой своего рода сложный оксид металла. Ион А-сайта: обычно ион щелочноземельного или

редкоземельного металла $r_A > 0,090$ нм; Ион В-сайта: обычно ион переходного металла $r_B > 0,051$ нм.

Типичным материалом структуры перовскита является CaTiO_3 , и его кристаллическая структура показана на рисунке 4:

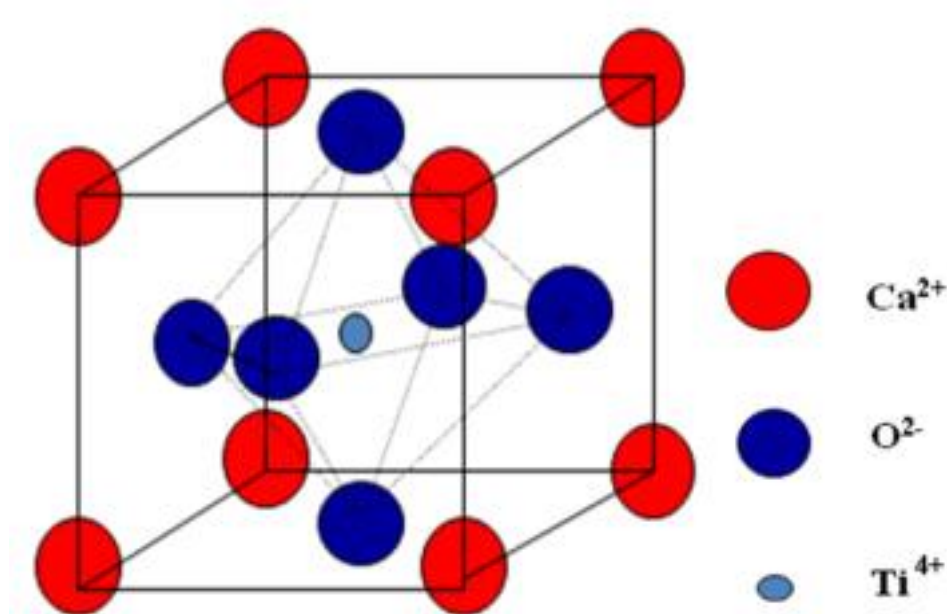


Рисунок 4 – Кристаллическая структура CaTiO_3

Структура перовскита соединена кислородными октаэдрами во всех вершинах, образуя трехмерную сеть, которая, согласно правилам координационных полиэдральных соединений Полинга, более устойчива, чем со-реберные и компланарные связи. Структурные характеристики показаны на рисунке 5.

Общее верхнее соединение делает зазор между кислородными октаэдрическими сетками больше, чем общее краевое соединение и копланарное соединение, позволяя заполнить ионы большего размера. Даже если образуется большое количество кристаллических дефектов или требования к размеру и геометрии составляющих ионов сильно различаются, структура все равно может оставаться стабильной; это способствует диффузии и миграции кислорода и дефектов.

Согласование радиуса ионов в структуре перовскита должно удовлетворять следующему соотношению:

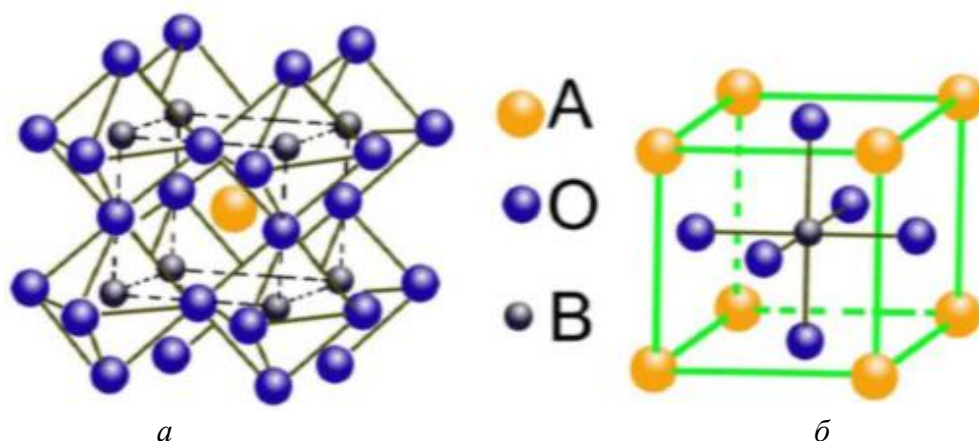
$$R_A + R_O = \sqrt{2} (R_B + R_O)t \quad (5)$$

где R_A , R_B и R_O представляют ионные радиусы А, В и О соответственно, а t называется коэффициентом допуска. Когда $t = 1$, это идеальная структура, и ионы А, В и О находятся в контакте друг с другом. Идеальная структура появляется только при t , близком к 1 или высокой температуре. При $t = 0,77 - 1,1$ соединение ABO_3 имеет структуру перовскита; при $t < 0,77$ оно существует как ферротитан; при $t > 1,1$ оно существует как кальцит или арагонит.

Радиусы ионов А и О относительно близки, а ионы А и О вместе образуют кубическую плотноупакованную структуру. Цена на электроэнергию положительных и отрицательных ионов должна соответствовать принципу нейтральности, а сумма цен на электроэнергию положительных ионов в положениях А и В должна быть в среднем +6. Кроме того, поскольку коэффициент толерантности t имеет широкий диапазон, структура обладает высокой адаптируемостью, и множество положительных ионов с разными радиусами и валентностями можно использовать для замены ионов А-сайта или В-сайта [12].

Простые: $A^{1+}B^{5+}O_3$, $A^{2+}B^{4+}O_3$, $A^{3+}B^{3+}O_3$

Сложные: $A(B'_{1-x}B''_x)O_3$, $(A'_{1-x}A''_x)BO_3$, $(A'_{1-x}A''_x)$, $(B'_{1-y}B''_y)O_3$



а) кислородный октаэдр; б) ячейка

Рисунок 5 – Структурные характеристики перовскита

Материал со структурой перовскита является первым примером высокоэнтропийного материала с по крайней мере двумя катионными

подрешетками. В настоящее время в основном сообщается о двух структурах. Во-первых, композиция $(\{Sr, Ba\})(\{M\})O_3$. Во-вторых, б-катион $(\{RE\})(\{TM\})O_3$, где $\{TM\}$ – переходный металл [2].

Другие оксиды

Были реализованы различные другие оксидные системы, в том числе ферримагнитные $(CoCrFeMnNi)_3O_4$, ферромагнитные $(CoCrFeMnZn)_3O_4$ и $(CoCrFeNiZn)_3O_4$ соединения шпинели, магнетит $BaFe_6$, биксбиит $(GdTbDyHoEr)_2O_3$, редкоземельный кремний, пирофосфат кремния, куб., б-катионный пирохлор $(\{Ce, Nd, Sm, Gd, Y\})_2Zr_2O_7$ и $10La_2O_3-20TiO_2-10Nb_2O_5$ -аморфные сферы [2].

Бориды, карбиды, нитриды и силициды

Высокоэнтропийные бориды, карбиды, нитриды, карбонитриды, бор-углеродные соединения и силициды синтезируются с использованием SPS, карботермического восстановления оксидов металлов и низкотемпературных механически индуцированных самоподдерживающихся реакций. Из-за изменений в доступности систем упрочнения твердого раствора или систем скольжения решетки твердость этих материалов часто выше, чем предсказывается правилами смешивания. Карбиды и нитриды обычно образуются на структуре каменной соли, а бориды образуются на гексагональной структуре AlB_2 с чередованием 2d-боридов и высокоэнтропийных катионных слоев. Силицид образует относительно низкосимметричную структуру на основе кристаллической структуры C40.

Одним из направлений исследований, которое в настоящее время активно развивается в современном материаловедении, является получение и изучение высокоэнтропийных свойств твердых растворов карбидов, боридов и оксидов металлов. С точки зрения создания новых керамических материалов, энтропийная стабилизация многокомпонентных систем является одним из перспективных направлений. Поэтому особенно важно изучить методы приготовления керамики, которые сохраняют свою структуру и состав при

высоких температурах и при этом являются более удобными, эффективными и экономичными.

1.4 Комплексные свойства энтропийной керамики

В последние годы энтропийной керамике уделяется все больше внимания, но ее углубленные исследования все еще относительно невелики. Обычные энтропийные керамики включают многокомпонентные оксиды, бориды и карбиды. Они характеризуются несколькими металлическими элементами, занимающими катионные позиции в равных атомных соотношениях, в то время как неметаллические элементы (O, B или C) занимают анионные позиции. Среди них многокомпонентная энтропийная карбидная керамика обладает некоторыми уникальными физическими свойствами, являющимися результатом стабилизации энтропии, такими как значительное искажение решетки. Эти уникальные физические свойства включают более низкую теплопроводность, более высокую нанотвердость и лучшую стойкость к окислению, чем бинарные структуры, и лучшую стойкость к окислению, чем бинарные карбиды переходных металлов, такие как ZrC. Кроме того, предполагается, что многокомпонентная керамика из энтропийных карбидов наследует другие физические свойства бинарных карбидов, такие как высокая температура плавления и коррозионная стойкость [13].

Энтропийные материалы в большинстве проведенных исследований, представлены металлами 4-й подгруппы (Ti, Zr, Hf) и 5-й подгруппы (V, Nb, Ta) периодической таблицы Менделеева, то есть металлами, образующими монокарбиды с кубической структурой типа NaCl, где металлы, скорее всего, имеют общую катионную подрешетку с гранцентрированной кубической (ГЦК), а углерод находится в анионной подрешетке [14].

Теперь исследуем структуру и свойства трехкомпонентной среднеэнтропийной керамики (Zr, Hf, Nb)C. Керамика со средней энтропией, согласно определению в предыдущем разделе, обычно относится к многокомпонентной твердорастворной керамике с эквимольным составом из 3 или 4 катионов. Эта керамика имеет структуру каменной соли, сильные характеристики ковалентной связи и высокую температуру плавления и может

использоваться в различных экстремальных условиях. Твердый раствор ионов различных металлов в кристалле также значительно расширяет виды керамики [1].

Будь то высокоэнтропийная керамика, популярная сегодня в области энтропийной керамики, или среднеэнтропийная керамика, которую мы хотим изучить, особые свойства, которые были обнаружены в этих материалах, включают твердость и модуль упругости, превышающие среднее значение, и более низкую теплопроводность, чем у всех компонентов. Sarker и др. [15] измерили модули упругости и твердость 6 различных высокоэнтропийных карбидов, которые превышали среднее значение каждого компонента, что может быть связано с беспорядком кристаллической решетки. Идеальная упорядоченная решетка считается дислокационным волноводом с однородным сопротивлением и распространением дислокаций без отражения и рассеивания. Неупорядоченная решетка изменяет это явление, а неравномерное сопротивление дислокаций приводит к отражению и рассеиванию энергии, а макроскопические характеристики заключаются в том, что пластическая деформация, создаваемая дислокациями, сопротивляется. Кроме того, еще одной причиной может быть твердорастворное упрочнение, т. е. искажение решетки препятствует движению дислокаций или изменяет ее систему скольжения.

Yan и др. [16] обнаружили, что теплопроводность керамики $(\text{Ti}_{0,2}\text{Zr}_{0,2}\text{Nb}_{0,2}\text{Hf}_{0,2}\text{Ta}_{0,2})\text{C}$ была намного ниже, чем среднее значение пяти однокомпонентных карбидов, и была сравнима с теплопроводностью самой нижней фазы NbC. Фононы вносят большой вклад в теплопроводность карбидов, и в случае полного упорядочения катионы и анионы занимают каждый набор подрешеток ГЦК, а в высокоэнтропийной системе пять катионов будут случайным образом занимать подрешетку ГЦК с наименьшим беспорядком, в то время как анионы будут снимать координацию, вносимую катионом, и заряд на искажении подрешетки. Искажение, которое приводит к рассеянию фононов,

что уменьшает вклад фононов в теплопередачу и, таким образом, снижает теплопроводность [1].

Короче говоря, комплексные свойства энтропийной карбидной керамики, как правило, лучше, чем карбидные свойства отдельных компонентов.

1.5 Способы получения многокомпонентной энтропийной керамики

В настоящее время распространенными методами получения объемной керамики из смеси порошков являются обычное спекание, горячее прессование, реакционное спекание, искровое плазменное спекание (SPS), а также методы, позволяющие получать материал с более гомогенной структурой, с использованием органических и неорганических [17]. В этой статье представлен обзор искрового плазменного спекания (SPS) и горячего прессования, двух методов получения объемной керамики.

1.5.1 Искровое плазменное спекание

Искровое плазменное спекание (SPS) – это метод спекания, который позволяет сжимать и уплотнять материалы до высокой плотности. Системы, предназначенные для искрового плазменного спекания, используют импульсы постоянного тока для генерирования энергии искры между частицами материала. В отличие от других процессов спекания, которые связаны только с обработкой металлов, искровое плазменное спекание может применяться к керамике, композитам и наноструктурам. Процесс основан на принципе электрического искрового разряда, при котором высокоэнергетический импульсный ток создает искровую плазму между частицами материала. Эта искровая плазма существует при чрезвычайно высоких температурах в 10000 °С и вызывает потенциальное окисление или испарение загрязняющих веществ с поверхности частиц. Поверхности частиц также нагреваются, в результате чего эти участки расплавляются и сплавляются вместе, образуя структуру «шейки». Со временем «шейка» превращается в пространства, в некоторых случаях увеличивая общую плотность материала до более чем 99%. Преимущества процесса искрового плазменного спекания включают короткое время выполнения, низкие эксплуатационные расходы, широкий спектр применения, а также хорошие структурные и материальные результаты. В силу особенностей процесса, искровое плазменное спекание обычно занимает менее 20 минут. Стоимость метода также обычно низкая, поскольку пульсирующий

ток не требует высокого напряжения и процесс не занимает много времени. Такое короткое время цикла в сочетании с низкой стоимостью делает процесс универсальным [18].

В этом методе пресс-форма и прессуемый порошок нагреваются с помощью пропускания электрического тока. Подача электроэнергии происходит от специального генератора импульсов постоянного тока, параметры которого (длительность, амплитуда, форма) могут изменяться оператором. В результате пропускания электрического тока происходят частичный нагрев межзеренных границ прессуемого порошка и образование электрического поля с эффектом плазмы.

1.5.2 Горячее прессование

Горячее прессование – это наиболее часто используемый метод изготовления плотной неоксидной монокристаллической керамики и ее композитов. В процессе горячего прессования к порошковому компакт, помещенному в матрицу, одновременно прикладываются температура и давление. Нагрев обычно осуществляется с помощью индукционных катушек и графитовой матрицы, в то время как давление часто прикладывается гидравлически. Под действием давления в местах контакта между частицами возникает очень высокое напряжение, что увеличивает скорость локальной диффузии. Как и при любой другой форме уплотнения, размер частиц, температура, давление, скорость нагрева и время выдержки влияют на плотность и микроструктуру горячепрессованных компактов, а для не оксидов требуется контролируемая атмосфера. Карбиды, бориды и силициды часто подвергаются горячему прессованию в вакууме или инертном газе, таком как аргон, в то время как нитриды обычно уплотняются в атмосфере азота. Часто давление подается при достижении максимальной температуры спекания, хотя его можно увеличивать через определенные промежутки времени по мере повышения температуры [19].

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель данной ВКР – исследование влияния метода на структуру и свойства изделия из многокомпонентного керамического твердого раствора методами искрового плазменного спекания и горячего прессования соответственно. Для достижения массового производства многокомпонентной керамики необходимо найти оптимальный метод синтеза, повысить эффективность производства и сэкономить затраты.

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

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования


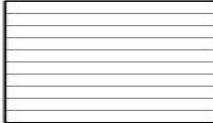


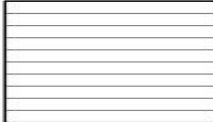




В области изготовления композиционных материалов, работающих при высоких температурах, одной из перспективных групп материалов является

керамика. Керамика обладает высокой термостойкостью, а также коррозионной стойкостью, это позволяет ей работать в агрессивных средах, с которыми металлы с трудом справляются.

С точки зрения создания новых керамических материалов энтропийная стабилизация многокомпонентных систем является одним из перспективных направлений. Минимизация свободной энергии Гиббса обеспечивает термодинамическую устойчивость высокоэнтропийных систем при высоких температурах и аномальных физических свойствах. Использование многокомпонентной керамики в ракетостроении принесет качественный скачок в развитии отрасли, в том числе повысит допустимую рабочую температуру, а значит и мощность силовой установки. Это связано с уникальным сочетанием свойств, присущих керамическим материалам, которые выгодно отличают их от металлов: высокая температура плавления, низкий удельный вес, высокая прочность и жесткость. Потенциальными потребителями результатов этого исследования могут быть компании-производители машин, в том числе аэрокосмической, военной и автомобильной промышленности.

Для выявления потенциальных потребителей результатов исследования критериев построена карта сегментирования рынка, таблица 3.

Таблица 3 – Карта сегментации рынка

		Сфера		
		Медицинская	Аэрокосмическая	Машиностроительная
Группа потребителей	Исследователи, учёные (вузы, НИИ, лаборатории)			
	Производители, изготовители (предприятия)			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

В результате проведенного сегментирования рынка в качестве основного сегмента рынка можно выделить машиностроительное производство.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.

Первый конкурент – разработка многокомпонентных энтропийных керамических материалов на основе обычного спекания для быстрого и экономичного достижения ($B_{к1}$). Второй конкурент – разработка многокомпонентных энтропийных керамических материалов на основе реакционного спекания ($B_{к2}$).

Таблица 4 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,11	4	2	3	0,44	0,22	0,33
2. Энергоэкономичность	0,09	5	2	4	0,45	0,18	0,36
3. Точность измерительного прибора	0,14	5	3	3	0,7	0,42	0,42
4. Надежность	0,17	4	3	4	0,68	0,51	0,68
5. Проста эксплуатации	0,13	3	4	4	0,39	0,52	0,52
6. Эффективность работы	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
7. Безопасность	0,2	4	2	4	0,8	0,2	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,04	2	5	4	0,08	0,02	0,16
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
3. Срок выхода на рынок	0,01	4	4	3	0,04	0,04	0,03
Итого	1	40	31	36	3,42	2,44	3,71

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

3.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки, таблица 5. Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходило на

основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. По сравнению с методом приготовления результаты исследований очень точны.</p> <p>С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С3. Простота изготовления.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Широкое применение в различных отраслях промышленности.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p> <p>Сл2. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл3. Нехватка приборов исследования.</p> <p>Сл4. Высокая степень ошибки.</p> <p>Сл5. Незнание студентами правильности выполнения работы, т.к. нет опыта в подобных экспериментах.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В2. Возможность получения нового материала используя керамику в роли композиционного материала.</p> <p>В3. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии материаловедения.</p> <p>В4. Прогресс в промышленности за счет дополнительной конкуренции у материалов.</p> <p>В5. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p>	<p>Угрозы</p> <p>У1. Не получение ожидаемых результатов</p> <p>У2. Появление нового материала с лучшими показателями</p>

На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 6–9.

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

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

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

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

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

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

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

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

Результаты анализа сведены в итоговую таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. По сравнению с методом приготовления результаты исследований очень точны.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p>
--	--	---

	<p>С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С3. Простота изготовления.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Широкое применение в различных отраслях промышленности.</p>	<p>Сл2. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл3 Нехватка приборов исследования.</p> <p>Сл4. Высокая степень ошибки.</p> <p>Сл5. Незнание студентами правильности выполнения работы, т.к. нет опыта в подобных экспериментах.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В2. Возможность получения нового материала используя керамику в роли композиционного материала.</p> <p>В3. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии материаловедения.</p> <p>В4. Прогресс в промышленности за счет дополнительной конкуренции у материалов.</p> <p>В5. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С1С2С3С4С5 – Технический метод имеет точные результаты, высокую экономическую и энергетическую эффективность и соответствует потенциальному спросу на дальнейшее материаловедение и технологии и внедрение технологий в аэрокосмической области.</p> <p>В2С1С2С3С4С5 – Ее развитие будет усиливаться за счет удачной сочетаемости керамических свойств.</p> <p>В3С1С2С3С4С5 – Керамика обладает хорошими механическими свойствами и отвечает потенциальным</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В5Сл5 – Решить эти проблемы может усиление профессиональной трудовой подготовки студентов.</p>

	<p>потребностям в дальнейшем материаловедении и внедрении технологии.</p> <p>В4С1С2С5 – Развитие конкуренции лучший двигатель процесса.</p> <p>В5С1С2С5 – Отличные свойства и экономическая доступность керамики отвечают дополнительным требованиям результатов исследований в области образования.</p>	
<p>Угрозы</p> <p>У1. Не получение ожидаемых результатов</p> <p>У2. Появление нового материала с лучшими показателями</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У2С1С5 – По сравнению с другими техническими маршрутами результаты исследований более точны, а по сравнению с аналогичными зарубежными технологиями результаты исследований более свежие.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5 – Так как развитие керамики до сих пор в процессе и в работе участвуют неопытные студенты на старом оборудовании, которое отличается от современной своей точности.</p> <p>У2Сл1Сл2Сл4Сл5 – Это может произойти у конкурентов раньше благодаря лучшей техники.</p>

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

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер, научный руководитель
	7	Проведение эксперимента	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Инженер, научный руководитель
	9	Оценка эффективности результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (4)$$

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

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

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

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 5 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5)$$

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

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

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

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

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (6)$$

где $T_{ки.инж}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

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

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48, \quad (7)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 12.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}i$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения НИР	1	2	2	4	1,4	2,8	2,1	3
3. Обзор научной литературы	-	14	-	21	-	16,8	16,8	25
4. Выбор методов исследования	1	14	2	21	1,4	16,8	9,1	13
5. Планирование эксперимента	4	60	7	90	5,2	72	38,6	57
6. Подготовка образцов для эксперимента	3	5	4	7	3,4	5,8	4,6	7
7. Проведение эксперимента	5	14	14	21	8,6	16,8	12,7	19

8. Анализ полученных результатов	1	5	2	7	1,4	5,8	3,6	5
9. Оценка эффективности результатов	-	5	-	18	-	10,2	10,2	15
10. Составление пояснительной записки	-	7	-	21	-	12,6	12,6	19
Итого	16	126	33	210	22,8	159,6	111,7	165

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта, таблица 13.

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	2														
2	Календарное планирование выполнения НИР	Исп1 Исп2	3														
3	Обзор научной литературы	Исп2	25														
4	Выбор методов исследования	Исп1 Исп2	13														
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	57														
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп1 Исп2	7														
7	Проведение эксперимента	Исп1 Исп2	19														
8	Анализ полученных результатов	Исп1 Исп2	5														
9	Оценка эффективности результатов	Исп2	15														
10	Составление пояснительной записки	Исп2	19														

Примечание:

|||| – Исп 1 (научный руководитель)

||||| – Исп 2 (инженер)

3.2.3 Бюджет научно-технического исследования

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

3.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Таблица 14 – Затраты на получение образца многокомпонентной керамики

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Порошок карбида циркония, кг	0,164	120	19,68
Порошок карбида гафния, кг	0,185	210	38,85
Порошок карбида ниобия, кг	0,213	150	31,95
Вода дистиллированная, л	1	14	14
Рукавицы специальные, термостойкие – 6 мес.	1	15	15
Перчатки резиновые, технические, пар	1	35	35
Очки защитные, шт.	1	58	58
Мыло туалетное, шт.	1	12	12
Итого:			134

3.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Таблица 15 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Планетарная шаровая мельница	1	5	5	5

2	Горячий пресс	1	10	25	25
3	Пресс искрового плазменного спекания	1	10	35	35
4	Сканирующий электронный микроскоп	1	20	80	80
Итого:					145 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

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

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

Расчитаем амортизацию для планетарной шаровой мельницы, с учётом, что срок полезного использования 5 лет:

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Планетарная шаровая мельница:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 5000}{12} \cdot 4 = 333 \text{ руб.}$$

Горячий пресс:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 25000}{12} \cdot 4 = 833 \text{ руб.}$$

Пресс искрового плазменного спекания:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 35000}{12} \cdot 4 = 1167 \text{ руб.}$$

Сканирующий электронный микроскоп:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 80000}{12} \cdot 4 = 1333 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 333 + 833 + 1167 + 1333 = 3666 \text{ руб.}$$

3.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{37700 \cdot 10,3}{246} = 1578,5 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{30940 \cdot 11,2}{213} = 1626,9 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

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

– для инженера:

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

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

Таблица 16 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	37700	1578,5	22,8	35989,8
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	30940	1626,9	159,6	259653,24
Итого:								295643,04

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 35989,8 = 5398,47 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 259653,24 = 38947,99 \text{ руб.},$$

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

3.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (35989,8 + 5398,47) = 12416,48 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (259653,24 + 38947,99) = 89580,37 \text{ руб.},$$

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

3.2.3.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (\text{сумма статей}1 \div 6) \cdot k_{нр} \\ &= (3666 + 134 + 295643,04 + 44346,456 + 101996,85) \cdot 0,2 \\ &= 89157,27 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование структуры и механических свойств многокомпонентной керамики» по форме, приведенной в таблице 18.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Статьи, руб.							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
3666	134	295643,04	44346,456	101996,85	445786,34	89157,27	534943,61

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

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

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

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (8)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} = \frac{552463,2}{552463,2} = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} = \frac{546211,31}{552463,2} = 0,99,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} = \frac{534943,61}{552463,2} = 0,97.$$

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

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

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент	Вар.1	Вар.2	Вар.3
----------	---------------------	---------------------	-------	-------	-------

	параметра			
1. Физико-механические свойства	0,15	3/0,45	3/0,45	5/0,75
2. Стабильность работы	0,15	4/0,6	3/0,45	4/0,6
3. Безопасность при использовании установки	0,2	3/0,6	4/0,8	4/0,8
4. Энергосбережение	0,2	3/0,6	5/1	5/1
5. Материалоемкость	0,3	5/1	3/0,9	5/1
ИТОГО	1	22/3,25	28/3,6	23/4,15

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p-\text{Вар.1}} = 3,25;$$

$$I_{p-\text{Вар.2}} = 3,6;$$

$$I_{p-\text{Вар.3}} = 4,15.$$

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

$$I_{\text{Вар.}i} = \frac{I_{p-\text{Вар.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{Вар.}i}} \quad (9)$$

$$I_{\text{Вар.1}} = \frac{I_{p-\text{Вар.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}}} = \frac{3,25}{1} = 3,25,$$

$$I_{\text{Вар.2}} = \frac{I_{p-\text{Вар.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}}} = \frac{3,6}{0,99} = 3,64,$$

$$I_{\text{Вар.3}} = \frac{I_{p-\text{Вар.3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта, таблица 20.

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99	0,97

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,25	3,6	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	3,25	3,64	4,28
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,89 Вар. 1/Вар. 3 = 0,76	Вар. 2/Вар. 1 = 1,12 Вар. 2/Вар. 3 = 0,85	Вар. 3/Вар. 1 = 1,32 Вар. 3/Вар. 2 = 1,18

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 165 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, – 159,6; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 22,8;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 534943,61 руб;

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

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,97, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,15, по сравнению с 3,25 и 3,6;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,28, по сравнению с 3,25 и 3,64, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.