

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Получение армированных нановолокнами Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и углеродными нанотрубками композитов на основе ZrO <sub>2</sub> с повышенной трещиностойкостью

УДК-620.22-419.8:620.18

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ли Цзин		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

**«Материаловедение и технологии материалов»**

Код результат а	<b>Результат обучения</b> (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде.
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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

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

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
154Б62	Ли Цзин

Тема работы:

Получение армированных нановолокнами  $Al_2O_3$  и углеродными нанотрубками композитов на основе  $ZrO_2$  с повышенной трещиностойкостью

Утверждена приказом директора (ИШНПТ)    № 59-87/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

29 мая 2020

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследование керамических композитов на основе диоксида циркония с добавками нановолокон $Al_2O_3$ и одностенных углеродных нанотрубок.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исследование морфологии исходных материалов.</li> <li>2. Приготовление и исследование композиционных порошков <math>ZrO_2</math> + нановолокна <math>Al_2O_3</math> и <math>ZrO_2</math> + углеродные нанотрубки.</li> <li>3. Получение спеченных композитов одноосным прессованием с последующим свободным спеканием.</li> <li>4. Исследование микроструктуры спеченных композитов.</li> <li>5. Изучение влияния различных концентраций добавок на относительную плотность, микротвердость и трещиностойкость композитов.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	-

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна, к.т.н, доцент, доцент
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович, д.т.н., Профессор ООД ШБИП

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20 мая 2020
---	-------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О.Л.	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б62	Ли Цзин		

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

Студенту:

Группа 154Б62	ФИО Ли Цзин
------------------	----------------

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

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

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

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

1. Анализ конкурентных технических решений (НИИП)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИИП)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета научно-исследовательского проекта (НИИП)	Расчет бюджетной стоимости НИИП по разработке программного обеспечения
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИИП)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

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

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03 мая 2020
--	-------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Ли Цзин		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
154Б62	Ли Цзин

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

<b>Получение армированных нановолокнами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и углеродными нанотрубками композитов на основе ZrO<sub>2</sub> с повышенной трещиностойкостью</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: ZrO <sub>2</sub> , ОУНТ, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Область применения: медицина, технологии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Превышение уровня шума и вибрации, 2. Отклонение показателей микроклимата, 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны, 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Пожар в лаборатории

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	21 мая 2020
---	-------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
154Б62	Ли Цзин		

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения  
 Уровень образования – Бакалавриат  
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 29 мая 2020 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / Вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2020	Основная часть	75
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 94 страниц, 25 рисунка, 30 таблицы, 72 источников.

Ключевые слова: керамика  $ZrO_2$ , углеродные нанотрубки, нановолокна  $Al_2O_3$ , микроструктура, физико-механические свойства, трещиностойкость.

Объект исследования: керамика  $ZrO_2$ , нановолокна  $Al_2O_3$ , углеродные нанотрубки

Целью работы является исследование изменения микроструктуры и физико-механических свойств композитов на основе  $ZrO_2$  в зависимости от типа и содержания армирующей добавки для достижения максимальной трещиностойкости получаемых композитов.

В процессе исследований: Композиционные порошки получали смешиванием нанопорошка  $ZrO_2$  с углеродными нанотрубками или нановолокнами  $Al_2O_3$  с использованием ультразвукового диспергирования и магнитного перемешивания. Из приготовленных композиционных порошков, одноосным односторонним прессованием формировали компакты, которые затем подвергали свободному спеканию в вакууме.

В ходе исследований установлено, что трещиностойкость композитов  $ZrO_2$  с углеродными нанотрубками возрастает на 11 %, а композитов  $ZrO_2$  с нановолокнами  $Al_2O_3$  на 46 %.

Область применения: медицина, технологии

Экономическая эффективность/значимость работы: В нашей работе используются углеродные нанотрубки и нановолокна  $Al_2O_3$ , которые производятся российской компанией OCSiAl г. Новосибирск, и которые недавно появились на рынке и они намного дешевле зарубежных аналогов. По факту оценки эффективности ИР, значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,13, является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.



В будущем планируется: Композиты с нановолокнами  $Al_2O_3$  могут использоваться в медицине качестве зубных имплантатов; в промышленности в качестве режущих инструментов, термобарьерных покрытий, мелющих шаров. Композиты с УНТ могут использоваться в теплонагревательных элементах, кислородных датчиках.

## Содержание

Введение.....	12
1. Литературный обзор.....	13
1.1 Основные свойства и применение ZrO <sub>2</sub> .....	13
1.1.1 Нестабилизированный ZrO <sub>2</sub> .....	14
1.1.2 Стабилизированный Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - ZrO <sub>2</sub> .....	17
1.2. Основные свойства ОУНТ.....	18
1.2.1. Область применения УНТ.....	19
1.2.2 Влияние углеродных нанотрубок на свойства композитных керамических материалов.....	20
1.3 Основные свойства нановолокон Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22
1.3.1 Область применения нановолокон Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	23
1.3.2 Влияние нановолокон Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на свойства керамических материалов.....	26
2. Экспериментальная часть.....	28
2.1 Используемые материалы.....	28
2.2 Методика приготовления композиционных порошков.....	29
2.3 Микроструктурные исследования.....	30
2.4 Прессование и спекание.....	31
2.5 Шлифовка и полировка.....	33
2.6 Характеризация спеченных образцов.....	34
2.6.1 Определение относительной плотности.....	34
2.6.2 Определение микротвердости.....	35
2.6.3 Определение трещиностойкости.....	36
2.6.4 Определение размера зерен.....	37
3. Результаты и обсуждение.....	39
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	51
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	52
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	52
4.1.2. SWOT-анализ.....	53
4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	56
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	56
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	57
4.3 Бюджет научно-исследовательского проекта.....	60
4.3.1. Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта.....	60
4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования.....	61
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей НИП.....	63
4.3.4. Дополнительная заработная плата.....	65
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	65
4.3.6 Накладные расходы.....	65
4.4. Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования.....	66
Выводы по разделу.....	69
5 Социальная ответственность.....	70
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	70
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	70
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	71
5.2 Производственная безопасность.....	72

5.2.1 Анализ показателей шума и вибрации.....	72
5.2.2 Анализ показателей микроклимата.....	74
5.2.3 Анализ освещенности рабочей зоны.....	76
5.2.4 Анализ электробезопасности.....	79
5.3 Экологическая безопасность.....	81
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
5.5. Пожарная безопасность.....	82
Выводы по разделу.....	84
Заключение.....	85
Список публикаций.....	87
Список используемых источников.....	88

## **Введение**

Актуальностью исследования является создание керамических композитов, в которых сочетаются полезные свойства керамики с дополнительными приобретаемыми свойствами за счет введения в матрицу армирующих добавок, что делает композиты более легкими, менее дорогими и с функциональными свойствами, по сравнению традиционными керамическими изделиями.

Композиты могут использоваться, как рабочие материалы для различных структурных целей. Такие керамические композиционные материалы находят свое применение в автомобиле-, самолето- и ракетостроение; для создания железнодорожных конструкций и других видов конструкций транспортных средств; в качестве защитных материалов (газовые турбины, фрикционные материалы, нагревательные элементы и др.). В этом случае композиционный материал должен обладать высокой трещиностойкостью наряду с достаточной прочностью и относительно низкой плотностью.

Перспективным методом повышения трещиностойкости является введение волокнистых армирующих наполнителей в керамическую матрицу. В таком армированном материале происходит торможение трещины, изгиб и изменение направление трещины, соединение трещины мостиками. В тоже время, происходит разрушение волокнистой добавки или отслоение волокна от матрицы в процессе роста трещины. Во всех этих случаях поглощается энергия трещины и тем самым замедляется ее рост. Даже при малых волокнистых добавках, композиционный материал разрушается не так легко, как исходный материал матрицы композита.

## 1. Литературный обзор

### 1.1 Основные свойства и применение $ZrO_2$

Материалы на основе  $ZrO_2$  имеют широкое применение во многих отраслях промышленности. В качестве технического материала в процессе производства используется как сырье или инструмент. Помимо функций конструкционных материалов, керамика на основе  $ZrO_2$  может применяться в качестве покрытия на поверхности металлов или композитных материалов [1].

Керамика на основе  $ZrO_2$  относится хоромами физико-механическими свойствами, который применяется во многих областях промышленности. Во-первых, биосовместимость и химическая инертность, во-вторых, высокая твердость и высокая температура плавления, в-третьих, при температуре около  $900^\circ C$  у  $ZrO_2$  появляется ионная проводимость, в-четвертых,  $ZrO_2$  свойственно фазовым полиморфизмам, который открывается для контроля работоспособности готового продукта при комнатной температуре, чистый  $ZrO_2$  находится в моноклинной фазе ( $m-ZrO_2$ ), при нагревании которого происходит фазовый переход (рисунок 1,1).

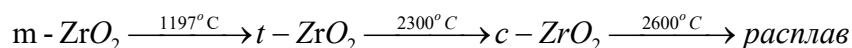


Рис. 1,1 Фазовые переходы в чистом  $ZrO_2$ : моноклинная ( $m-ZrO_2$ ), тетрагональная ( $t-ZrO_2$ ), кубическая ( $c-ZrO_2$ ).

Если переход от ( $t-ZrO_2$ ) к  $c-ZrO_2$  проходит через диффузионный механизм, то переход от  $m-ZrO_2$  к тетрагональной  $t-ZrO_2$  имеет ярко выраженный мартенситный характер. Фазовый переход  $ZrO_2$  из моноклинной фазы ( $m-ZrO_2$ ) в тетрагональную ( $t-ZrO_2$ ) сопровождается значительными изменениями объема, вплоть до 4-5% [2], что приводит к растрескиванию и деформированию керамики  $ZrO_2$ , что делает эту керамику непригодной для использования. Эквивалентный катион анионов, введенный в решетку, приводит к росту концентрации вакансий кислорода, что позволяет определить стабильность тетрагонального модифицированного  $ZrO_2$  при комнатной температуре, под действием механических напряжений фазы  $t-$

ZrO<sub>2</sub> могут происходить переход t-m, сопровождается большим эффектом объемного расширения. Это явление лежит в основе механизма превращения закаленной керамики, основной причиной которого является изменение энергии фазового перехода. В процессе появления диффузии и трещин под действием внешних напряжений зерна фазы t-ZrO<sub>2</sub> получают достаточную энергию перехода в стабильную фазу m-ZrO<sub>2</sub>, в результате чего увеличивается объем материала, что ведет к увеличению объема материала, в свою очередь предотвращает распространение трещин и повышает прочность и трещиностойкость керамики.

### 1.1.1 Нестабилизированный ZrO<sub>2</sub>

Как сообщалось выше, ZrO<sub>2</sub> характеризуется полиморфизмом. Наличие большого количества фазовых состояний, выделяют по три структуре: моноклинную, тетрагональную и кубическую материалы ZrO<sub>2</sub>, имеющих следующие параметры:  $a=5.169\pm 0.008$  А,  $b=5.232\pm 0.008$  А,  $c=5.341\pm 0.008$  А,  $\beta=99^\circ 15' \pm 10'$  4 молекулы и элементарная ячейка ZrO<sub>2</sub>.

Согласно [3], фаза тетрагонального фазового превращения является моноклинной, имеет следующие характеристики: нагревательный эффект высокотемпературного тетрагонального диоксида циркония до моноклинного диоксида циркония, при котором скорость становится максимальной; время достижения максимальной скорости превращения (пика), фазовый переход в тетрагональном диоксиде циркония составляет около 40-50%.

Переход к низкотемпературной стабильной моноклинной циркониевой высокотемпературной тетрагональной фазе происходит при температуре 1160°C, в то время как обратный переход происходит при температуре 960°C, пыль и примеси могут изменять характеристики материала для достижения этой цели.

Тетрагональный  $ZrO_2$  имеет нестационарное изменение этих параметров сети (температура  $1250^\circ C$ ):  $a=3,64 \text{ \AA}$ ,  $c=5,27 \text{ \AA}$ , в элементарной решетки содержит два молекулы  $ZrO_2$ . Температурная зависимость параметров решетки тетрагонального и кубического  $ZrO_2$  показана на рисунке 1,2 [3].

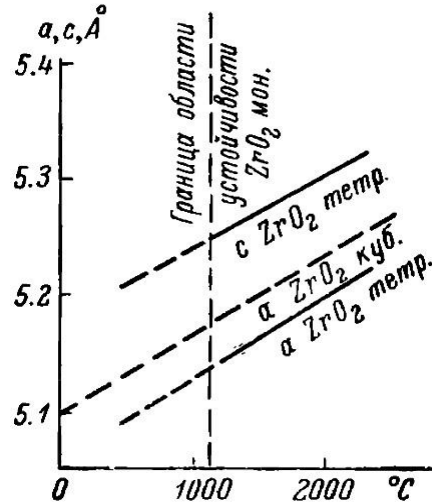


Рис. 1,2 Температурная зависимость параметров решетки тетрагонального и кубического  $ZrO_2$

Исследования [4, 5] показали, что при низких температурах возможно присутствие тетрагональной фазы в нестационарном порошке диоксида циркония, что связано с размерным фактором. Когда размер зерна проходит определенный порог, большая часть тетрагональной фазы  $ZrO_2$  переходит в моноклинную. Ниже приведена гистограмма, иллюстрирующая поведение нестационарного фазового состава  $ZrO_2$  (рис.1,3а), а также размер микрокристаллов (рис.1,3б) зависит от температуры отжига.

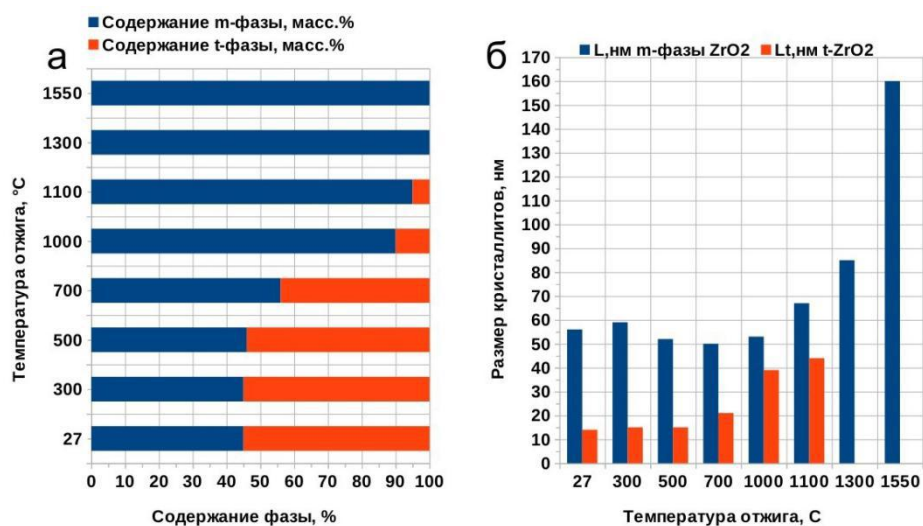


Рис. 1,3 Влияние термического отжига на переменные  $ZrO_2$  порошковой фазы композиции: а - влияние термического отжига на фазовый состав порошкового образца, б - влияние термического отжига на размер кристаллитов.

На рисунке 1,3-а. Показано, что при низких температурах невозможно получить стабильную тетрагональную модифицированную керамику  $ZrO_2$ . Поэтому стабилизирующие добавки очень важны для керамической промышленности и часто являются оксидами металлами:  $La_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Y_2O_3$ , и др. В исследовании  $Y_2O_3$  было добавлено как стабилизирующая добавка к керамике  $ZrO_2$ .

Третье крупное изменение циркониевой сетки происходит в твердой фазе, она переходит при нагревании до  $2300^\circ C$ . Кроме того, как описано выше, происходит переход от моноклинных кристаллов к тетрагональным кристаллам, имеющим мартенситную природу, тогда переход тетрагональных кристаллов в твердые кристаллы происходит через систему пропускания.

Согласно [3], диаграмма «давление-температура  $ZrO_2$ », представленный на рисунке 1,4.



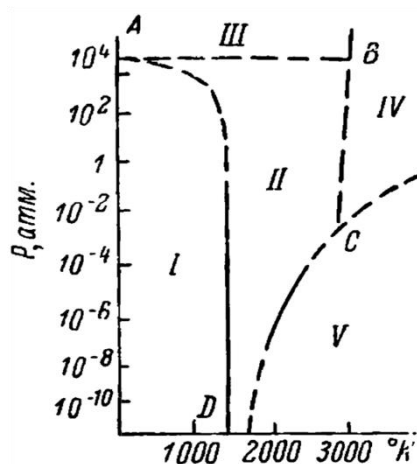


Рисунок 1,4. Диаграмма «Давление-температура  $ZrO_2$ ». I – моноклинная фаза; II – тетрагональная фаза; III – кубическая фаза; IV – расплав; V – пар.

Точка А –  $T=0K$ ,  $P>4100$  МПа.

Точка В –  $T=2973^{\circ}K$ ,  $P=4000$  МПа;

Точка С –  $T=2983^{\circ}K$ ,  $P=0,088$  МПа.

Точка D –  $T=1478^{\circ}K$ .

### 1.1.2 Стабилизированный $Y_2O_3 - ZrO_2$

Как упоминалось выше, для получения высокопрочной керамики  $ZrO_2$  очень важно стабилизировать высокотемпературные фазы, это осуществляется путем введения определенного количества  $Y_2O_3$  в кристаллическую решетку  $ZrO_2$ .

Согласно[3],  $ZrO_2$  является твердым раствором, который имеет тетрагональную модификацию и моноклинные модификации. При введении  $Y_2O_3$  в решетку  $ZrO_2$  температура полиморфного превращения диоксида циркония резко снижается. Например, введение всего на 1 %  $Y_2O_3$  меньше температуры фазового перехода около  $200^{\circ}C$ .

На рис. 1,5 показана влияние температуры полиморфного перехода моноклинной фазы  $ZrO_2$  в тетрагональный кристалл от концентрации  $Y_2O_3$  в твердом растворе [6].

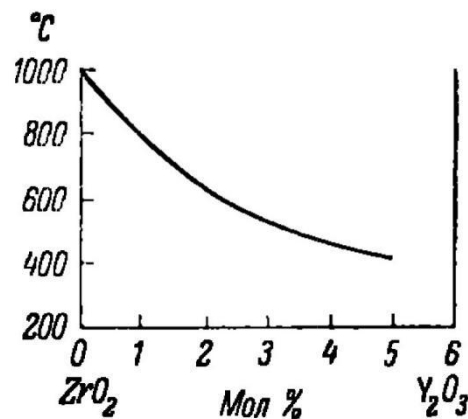


Рис. 1,5 Зависимость  $Y_2O_3$  от температуры полиморфного фазового перехода моноклинной фазы  $ZrO_2$  в тетрагональную.

В этой работе используется порошок, в котором концентрация стабильных примесей не превышает 5%.

## 1.2. Основные свойства ОУНТ

Идеальный ОУНТ состоит из цилиндра диаметром в единицы десятков нанометров и длиной до нескольких сотен микрон, получаются складывающиеся графитовые листы.

Углеродные нанотрубки очень прочны и жестки, которые обладают рекордно высокими значениями предела модуля Юнга ( $\approx 1$  ГПа) и прочности на растяжение ( $\sim 60$  ГПа). Это связано с тем, что химическая связь между атомами углерода в нанотрубки является ковалентной связью, а гибридная орбиталь-гибридизацией  $SP^2$ , тем самым усиливая и улучшая структуру углеродных нанотрубок.

УНТ превосходная теплопроводность вдоль оси. В то же время, теплоизолирующие характеристики отображаются по всей оси нанотрубки. Согласно моделированию, УНТ может распространяться до  $6000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ . Например, готовый к работе медный теплопроводник удерживается в диапазоне  $385 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ .

УНТ обладает очень высокой термической стабильностью, до  $2800^\circ\text{C}$ -в вакууме и до  $750^\circ\text{C}$  - в воздухе. УНТ может быть, как проводником, так и полупроводником. Углеродные нанотрубки типа «кресло» являются

векторами [7, 8]. Еще одно преимущество нанотрубок, поскольку холодная эмиссия электронов происходит при приложении электрического поля вдоль оси УНТ.

### 1.2.1. Область применения УНТ

Совокупность уникальных свойств, которая в свою очередь регулирует широкий спектр процессов путем изменения состава или способов переработки сырья или промежуточных продуктов (так называемых прокуроров). Основные направления коммерческого использования УНТ приведены в таблице 1[9].

Таблица 1 – Коммерческое применение полимерных композитов на основе УНТ

Рынок	Применение	Способность составов на основе углеродных нанотрубок
Автомобили	Наружные детали электрического цвета (бамперы, корпуса зеркал, крышки топливных баков). Аксессуары топливной системы и топливопроводы (трубки разъемы, кольца, трубки),	Обрабатываемость емкостью больших частей, Улучшите управление баланса, Сопротивление к деформации
контакты и связь	Защита электронного оборудования от электромагнитных помех, где отражающее покрытие и материалы	Защита электромагнитным излучением более эффективно, Хорошие механические свойства
Строительство	Для защиты людей от электромагнитного излучения. Фильтруйте изображение, цвет, краску, обои, Жидкие обои.	Увеличение экранирующие свойства

Электроника	Технологические инструменты, Конвейерная лента, Оборудование для чистых помещений	Волокном улучшается чистота смеси, Контроль удельного сопротивления поверхности, Устойчивость к деформации.
Медицина	Имплантаты, Фильтры Адсорбенты	Улучшает биосовместимость имплантата, Способные перевязки адсорбировать вредные вещества-метаболиты
	Биосенсоры	Аллергия на некоторые вещества и ферменты

### 1.2.2 Влияние углеродных нанотрубок на свойства композитных керамических материалов

Благодаря выдающимся свойствам УНТ они уже более двух десятилетий используются для создания новых композитных материалов, с целью регулирования структуры и свойств. Для керамических матриц основной задачей является повышение вязкости разрушения (трещиностойкости), контроль электропроводности или теплопроводности [10-12]. Хотя большинство исследований связано с композитами оксид алюминия/УНТ, некоторые авторы использовали стабилизированный иттрием диоксид циркония в качестве матрицы, в которую были добавлены многостенные УНТ (МУНТ) [13] или одностенные УНТ (ОУНТ) [14]. Как показано на рисунке 1,6, исследованы изменения механических свойств композитов на основе тетрагонального диоксида циркония стабилизированного 3 мол.%  $Y_2O_3$  с содержанием ОУНТ 2,5; 5 и 10 об. %.

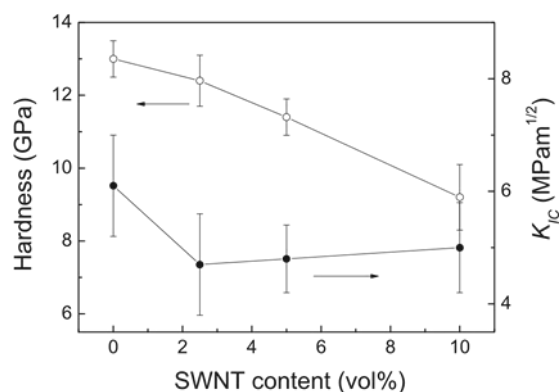


Рисунок 1,6 Твердость и трещиностойкость при вдавливании композитов  $ZrO_2$ /ОУНТ.

По сравнению с чистой керамикой  $ZrO_2$  композиты имеют меньшую твердость. С другой стороны, различное содержание ОУНТ на самом деле существенно не влияет на величину вязкости разрушения. Этот результат не согласуется с повышением вязкости разрушения композита  $ZrO_2$ /ОУНТ, о котором сообщили Shin и Hong. Причина в том, что для упрочнения керамической матрицы  $ZrO_2$  используется более низкое содержание ОУНТ (до 1,0 мас.%). В работе [15, 16] при добавке 0,1 мас.% ОУНТ в матрицу  $ZrO_2$  наблюдается повышение трещиностойкости с  $3,54 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  до  $4,17 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , т.е. на 18 %. Однако микротвердость снижается с 13,62 ГПа до 13,08 ГПа. Увеличение трещиностойкости на 36 % наблюдалось в композите на основе  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ [17]. Композит  $Al_2O_3$  содержащий 3 об.% ОУНТ имел повышенные значения трещиностойкости (на 12 %) по сравнению с неармированной керамикой  $Al_2O_3$  [18].

Авторы, исследующие композиты  $ZrO_2$ /МУНТ, также сообщают о подобных усиливающих эффектах, повышая трещиностойкость при низком содержании МУНТ и уменьшая вязкость разрушения при высоком содержании МУНТ. Композит на основе частично стабилизированного иттрием диоксида циркония с 10 мас.% МУНТ полученный электроимпульсным плазменным спеканием имел трещиностойкость на 44% выше, чем керамики  $ZrO_2$  без добавок [19]. Увеличение трещиностойкости на 102 % наблюдалось для композита  $ZrO_2$  с добавкой 12 об.% МУНТ [20], что

объяснялось механизмами упрочнения УНТ, которые включали в себя разрыв УНТ, отклонение трещин на УНТ и т.д. Композит  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с 3 об.% МУНТ имел значение трещиностойкости равное  $4,93 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  [21, 22, 23], что в два раза больше выше значений трещиностойкости ( $2,41 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ) керамики  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [24].

Однако в стабилизированном диоксиде циркония прочность и вязкость разрушения неоднородны, т.е. для низкой прочности можно получить более высокую вязкость разрушения, и наоборот, для низкой вязкости разрушения можно получить более высокую прочность [25]. Оценка прочности на изгиб и вязкости разрушения необходима для оценки возможности использования композиционных материалов  $\text{ZrO}_2/\text{УНТ}$  вместо стабилизированного  $\text{ZrO}_2$ , особенно для биомедицинских применений [26]. В некоторых работах также показано, что композиты  $\text{ZrO}_2/\text{УНТ}$  с зернами 100 нм имеют низкий коэффициент трения [27].

### **1.3 Основные свойства нановолокон $\text{Al}_2\text{O}_3$**

Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) является одной из наиболее часто используемых технических керамик благодаря своей относительно высокой прочности, теплопроводности, максимальной рабочей температуре, высокой химической инертности, высоким диэлектрическим свойствам и низкой стоимости по сравнению с другими техническими керамиками [28]. Оксид алюминия имеет одну термодинамическую стабильную форму  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (корунд) и несколько метастабильных полиморфов (также называемых «переходными» полиморфами), включая  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (кубическая шпинель),  $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (либо тетрагональную, либо орторомбическую) и т.д. [29]. Общие способы обработки для получения различных метастабильных полиморфных модификаций оксида алюминия и последующего фазового превращения в стабильную фазу  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  приведены на рисунке 1,7.

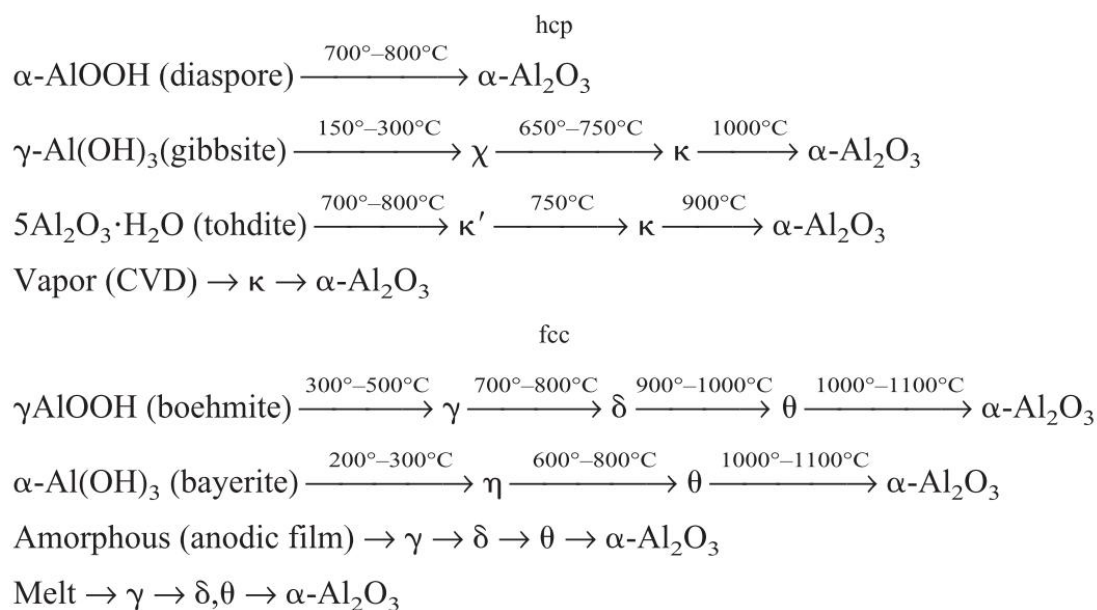


Рис. 1,7 Общие способы обработки для получения различных фаз  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Переходные структуры оксида алюминия необратимо превращаются в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при нагревании до температур выше  $1200^{\circ}\text{C}$ . Кристаллическая структура  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  является гексагональной и имеет плотное расположение ионов кислорода. Однако следует учитывать, что свойства материалов на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , как и других керамических изделий, сильно зависят от свойств исходного порошка, таких как: чистота, дисперсность, активность и технология, используемая для консолидации материала.

### 1.3.1 Область применения нановолокон $\text{Al}_2\text{O}_3$

Будучи термодинамически стабильным,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  является наиболее подходящим для технических и структурных применений. Может использоваться для изготовления уплотнительных дисков, печатных плат, режущих инструментов, насадок для пескоструйной обработки, защитных трубок для термопар, свечей зажигания, подшипников, клапанов, нитенаправителей для текстильных машин, элементов насоса, контактных колец, имплантатов для медицины, форсунок горелок. Тигли, вращающиеся шпиндели и т.д. [30].

Оксид алюминия часто используется в различных областях, особенно в качестве добавки к матричной основе, для создания композитных материалов. Наноматериалы добавляются в мелкозернистый бетон, чтобы улучшить его свойства. Особый интерес представляет применение нанодисперсных усилителей в мелкозернистых бетонах, что означает усиление вязкости бетона, достижение эффекта с добавлением небольшого количества добавок[31]. Обычно эти добавки включают волокнистые материалы[32].

Результаты исследований представляет собой зависимость различных нановолокон от свойства мелкозернистой бетонной смеси. В мелкозернистый бетон на модуль упругости увеличивается с 18,3 до 40,9 гПа, эффект зависит от концентрации добавки. Установлено, что масса нановолокон достигает 8 кг. За счет увеличения пор полученного композиционного материала и наличия низкоэнергетических свойств, а также введения всего лишь 13% по массе. Прочностные характеристики волокна увеличились до 25% [33]. В эксперименте авторы изучают изменение степени деформации бетона при одновременном добавлении различных добавок в течение 28 суток(рис.1,8).

Добавление нановолокна  $AlOON$  и  $Al_2O_3$  в качестве добавки к мелкозернистому бетону дает положительный эффект. Таким образом, добавление нановолокна  $Al_2O_3$  минимизирует деформацию бетона



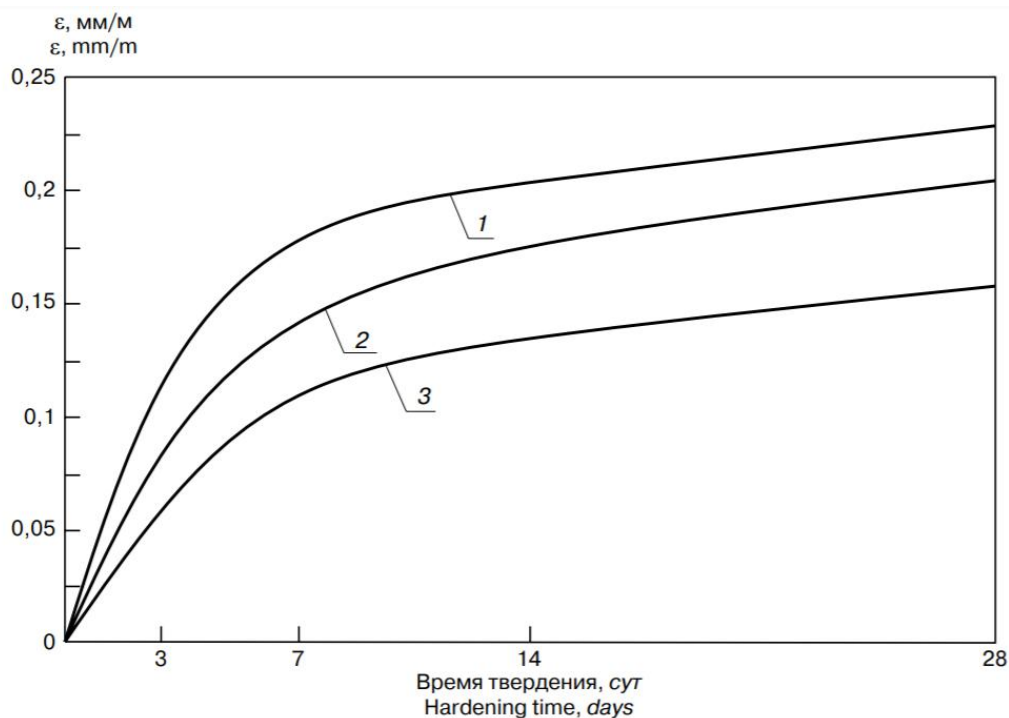


Рис.1,8. Деформация усадки бетона при твердения: 1 – без нановолокон AlOOH или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2 – с нановолокнами AlOOH; 3 – нановолокнами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Керамика, как правило, имеет плохую прочность на разрыв и низкую трещиностойкость, что ограничивает ее применение. Это заставило исследователей сосредоточиться на разработке керамических композитов. Например, путем добавления волокнистого армирующего материала [34] можно получить улучшения прочности. Контроль свойств керамических материалов становится все более важным, когда они интегрируются в человеческое тело, в виде стоматологических применений или замены костей [35]. Керамические композиты обладают особым преимуществом химической инертностью по сравнению с металлическими материалами [36]. Среди различных керамических композитных систем, система ZrO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оказалась потенциальным кандидатом на стоматологическую реабилитацию и применение типа головка бедренной кости при эндопротезировании тазобедренного сустава [37].

### 1.3.2 Влияние нановолокон $Al_2O_3$ на свойства керамических материалов

Хотя широко известно, что армирование материалов керамическими волокнами может повысить трещиностойкость во много раз, насколько нам известно, до сих пор сообщалось о некоторых сообщениях, в которых исследовались композиты из диоксида циркония, армированные волокнами  $Al_2O_3$ . В композитном материале  $ZrO_2-Al_2O_3$ , содержащем 30% оксида алюминия, замена около 10% зернистого оксида алюминия на вискеры может повысить твердость; за этим твердость уменьшается, когда вискеры полностью заменяют зернистый оксид алюминия с очень плохой твердостью [38]. Основной причиной этого, по-видимому, является проблема агломерации вискероов, возникающей во время диспергирования вискероов. Сравнение экспериментальных исследований авторов Muhammad Abdullah показало влияние содержания волокон оксида алюминия на механические свойства керамических композитов.

Muhammad Abdullah указанно, что механические свойства композиционного материала на основе стабилизированного диоксида циркония увеличены путем введения в качестве армирующих волокон оксида алюминия. В процессе прокаливания волокна гидроксида аммония карбоната алюминия (ААСН) разлагаются на месте с образованием волокон оксида алюминия. Сформированные таким образом волокна аморфны и преобразуются в  $\alpha-Al_2O_3$  в процессе спекания при 1450 °С. Твердость образцов спеченных композитов увеличивается на 10% с увеличением содержания оксида алюминия, а затем уменьшается. Максимально твердость наблюдается при добавлении 1,0 % цетилтриметилбромида аммония (СТАВ), который дополнительно увеличивает твердость до 14,4 ГПа. Повышение механической прочности композиционных материалов обусловлено уменьшением в четыре раза объема глиноземных волокон при превращении ААСН в оксид алюминия, относительно низким коэффициентом длины волокон ААСН и антифокулянтным эффектом СТАВ. Рис. 1,9 показано изменение относительной плотности и микротвердости образцов.

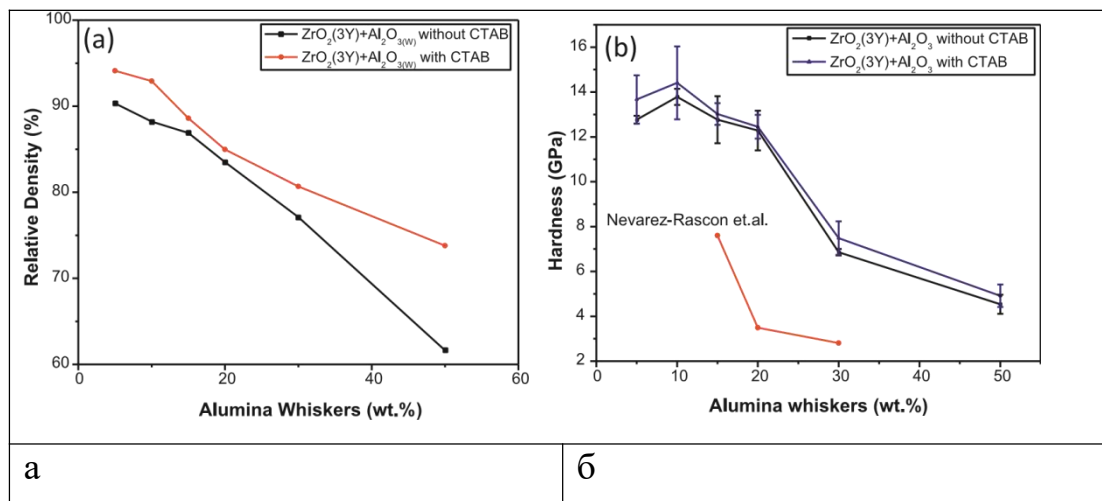


рис.1,9. (а) относительной плотности и (Б) твердости по Виккерсу спеченных образцов.

Как показано на рис. 1,9 (а), относительная плотность спеченного керамического материала уменьшается с увеличением содержания оксида алюминия. Однако добавление СТАВ приводит к несколько более высокой плотности. То есть улучшение дисперсии волокон оксида алюминия матрице диоксида циркония может увеличить образование относительно компактных композиционных материалов. На рис. 1,9 (б) показано, что твердость спеченных образцов  $ZrO_2-Al_2O_3$  зависит от содержания оксида алюминия, добавленного в суспензию предшественника или без добавления СТАВ. Максимальная твердость около 14 ГПа наблюдается в композите с 10 % волокон  $Al_2O_3$ . Во всех случаях добавление СТАВ приводит к относительно высокой твердости, что связано с улучшенной плотностью композитных материалов. Возможно, по аналогичным причинам (например, повышенная пористость) при добавлении 20 % волокон оксида алюминия, твердость значительно снижается. Таким образом, достижимая высокая твердость, по видимому, связана с улучшенной дисперсией и плотностью.

В работах [39, 40] исследовались спеченные электроимпульсным плазменным методом композиты на основе  $ZrO_2$  с добавками нановолокон  $Al_2O_3$ . Было показано, что по мере увеличения нановолокон в композитах до 10 мас.%, увеличивается микротвердость и относительная плотность.

Композит  $ZrO_2$  с 10 мас.% нановолокон  $Al_2O_3$  имел микротвердость 16,27 ГПа, что выше микротвердости керамики  $ZrO_2$  на 11 %. Постепенное повышение микротвердости композитов возможно связано с более высокой микротвердостью  $Al_2O_3$  и эффектом упрочнения нановолокнами  $Al_2O_3$ . Повышенные значения микротвердости также связаны с внутренней деформируемостью керамических и микроструктурных параметров, таких как многофазность, размер зерна и ориентация и граничное строение. Вязкость разрушения композитов находилась в диапазоне 3,82-4,40 МПа\*м<sup>1/2</sup> и была несколько выше, чем у чистого диоксида циркония (3,56 МПа\*м<sup>1/2</sup>). Зерна  $Al_2O_3$  могут эффективно способствовать отклонению трещин на границах зерен, повышая вязкость разрушения. Вязкость разрушения композита с 1 мас.% была самой высокой и составляла 4,40 МПа\*м<sup>1/2</sup>.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1 Используемые материалы

В качестве исходного сырья для создания композитов использовали нанопорошок частично стабилизированного иттрием (3 мол.%) Диоксида циркония  $ZrO_2$  (Tosoh, Япония), нановолокна  $Al_2O_3$  марки «Fibrall» (OCSiAl, Россия) и одностенные углеродные нанотрубки марки «Tuball» (OCSiAl, Россия). В таблице 2 приведены их характеристики (размер частиц, теоретическая плотность и форма частицы), а также микроструктура.

Таблице 2. Характеристики исходного сырья (размер частиц, теоретическая плотность и форма частицы).

Исходное сырьё	Размер частиц (средний) нм	Теоретическая плотность г/см <sup>3</sup>	Форма частицы
Нанопорошок диоксида циркония (НП $ZrO_2$ )	110	6,10 [41]	Сферическая
Нановолокон оксида алюминия (НВ $Al_2O_3$ )	10-15	3,99 [42]	Волокнистая
Одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ)	2	1,80 [43]	Трубчатая

## 2.2 Методика приготовления композиционных порошков

Для получения керамических порошков на основе  $ZrO_2$  с добавками одностенных углеродных нанотрубок и нановолокон  $Al_2O_3$  использовали методы ультразвукового диспергирования и магнитного перемешивания, используя методику, описанную в работах [44, 45, 46]. Эксперимент состоял из пяти этапов: 1) взвешивание необходимого количества порошковых материалов по отдельности; 2) 30 минутное ультразвуковое диспергирование ОУНТ и НВ  $Al_2O_3$  в среде этилового спирта в ультразвуковой ванне Град 28-35, для разделения пучков и тяжёлой ОУНТ на отдельные нанотрубки или более мелкие пучки и разбиения агрегатов НВ на первичные нановолокна  $Al_2O_3$ ; 3) Добавление нанопорошка  $ZrO_2$  к диспергированным суспензиям ОУНТ и НВ и ультразвуковое диспергирование композиционных суспензий  $ZrO_2+OУНТ$  и  $ZrO_2+НВ$  еще в течение 30 минут; 4) магнитное перемешивание композиционных суспензий  $ZrO_2+OУНТ$  и  $ZrO_2+НВ$  на магнитной мешалке в течение 30 минут; 5) высушивание композиционных суспензий  $ZrO_2+OУНТ$  и  $ZrO_2+НВ$  при  $120\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 3 часов и растирание полученного материала в порошок в ступке. Массовые доли для составов  $ZrO_2+OУНТ$  приведены в таблице 3, а для составов  $ZrO_2+НВ\ Al_2O_3$  приведены в таблице 4. Таким образом, получили композиционные порошки на основе  $ZrO_2$  с 0,1; 0,5 и 1 мас.% ОУНТ и порошки на основе  $ZrO_2$  с 1; 5 и 10 мас.% НВ  $Al_2O_3$

Таблице 3. Массовая доля НП  $ZrO_2$  и ОУНТ.

Массовая доля, %	Масса НП $ZrO_2$ , мг	Масса ОУНТ, мг
0,1	4995	5
0,5	4975	25
1	4950	50

Таблице 4. Массовая доля НП  $ZrO_2$  и НВ  $Al_2O_3$

Массовая доля, %	Масса НП $ZrO_2$ , мг	Масса НВ $Al_2O_3$ , мг
1	4950	50
5	4750	250
10	4500	500

### 2.3 Микроструктурные исследования

Для исследования микроструктуры композиционных порошков и спеченных композитов, используется методом сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) на микроскопе JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). JSM-7500F – автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп ультравысокого разрешения (рис. 2,1). При низком ускоряющем напряжении он поддерживает сверхвысокое разрешение (1,4 нм при 1кВ). Поэтому JSM-7500F представляет собой прекрасный инструмент для анализа текстуры наноструктурных объектов, особенно тех, которые чувствительны к воздействию электронных пучков.



Рис. 2,1. Общий вид микроскопа JSM 7500F.

Таблица 5. Основные технические характеристики.

Пространственное разрешение	1,0 нм при 15 кВ; 1,4 нм при 1 кВ; 0,6 нм при 30 кВ (достижимо)
Электронная пушка	С холодным катодом на полевой эмиссии
Ускоряющее напряжение	От 0,1кВ до 30 кВ

Диапазон токов пучка	От $10^{-12}$ до $2 \cdot 10^{-9}$ А
Диапазон увеличений	От $\times 25$ до $\times 1000000$ (в пересчете на фотопластинку 9 см*12 см)
Максимальный размер образца	Диаметром до 200 мм, высотой до 10 мм

Кроме того, микроструктурные особенности исходных порошков и микроструктуру композитов исследовали методом просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ) на микроскопе JEM-2100F (JEOL, Япония).

#### 2.4 Прессование и спекание

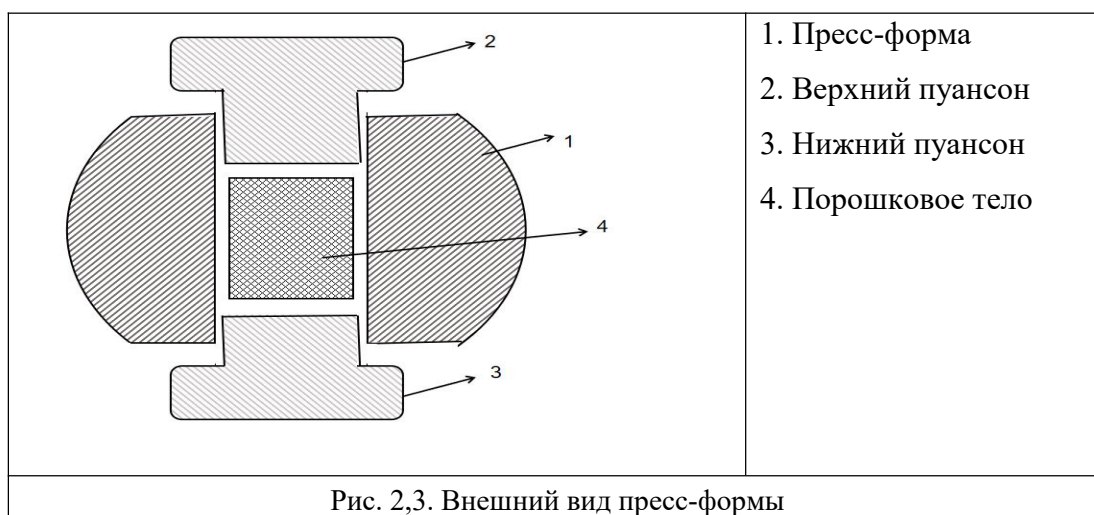
Из полученных композиционных порошков изготавливали компакты одноосным односторонним прессованием в закрытых жестких пресс-формах при 100 МПа, используя пресс ИП-500М-авто (ЗИПО, Россия), внешний вид которого, представлен на рис. 2,2.



Рис. 2,2. Внешний вид пресса ИП-500М-авто.

Для этого использовали пресс-форму диаметром 10 мм, протирали ее безворсовым полотенцем смоченным этиловым спиртом, для того чтобы удалить остатки порошка после предыдущего процесса прессования. Затем в

нижнюю часть пресс-формы вставляли пуансон (рис. 2,2) и засыпали в пресс-форму засыпку порошка в количестве 0,5 г. Потом пресс-форму с порошком обстукивали молотком, для того чтобы он утрясся и чтобы порошковое тело было более уплотненное. Верхним пуансоном закрываем пресс-форму с порошком и помещаем ее в пресс. После одностороннего прессования производили выпрессовку сформированного компакта и аккуратно извлекали его из пресс-формы. Процесс прессования осуществляли для всех композиционных порошков и для чистого порошка  $ZrO_2$ .



Спрессованные компакты подвергали свободному вакуумному спеканию, используя высокотемпературную вакуумную печь VHT 8/22-GR (Nabertherm, Германия), которая имеет следующие характеристики:

- Максимальная температура: 2200 °С;
- Рабочий объем камеры: 8 л;
- Мощность: до 27 кВт.





Рис. 2,4. Внешний вид вакуумной печи VHT 8/22-GR.

Спрессованные компакты помещали в графитовую кювету, заполненную отожжённым порошком нитрида бора, затем компакты сверху также засыпались слоем нитридом бора. Такая засыпка необходима для того, чтобы предотвратить при высокой температуре взаимодействие углерода (графитовая кювета) со спекаемыми компактами.

Режим свободного вакуумного спекания: нагрев до 1500 °С со скоростью 300 °С/ч; спекание при 1500°С с выдержкой в течение 2 часов; охлаждение до комнатной температуры со скоростью 600 °С/ч.

## 2.5 Шлифовка и полировка

На шлифовальном станке EcoMet 300 Pro (Buehler, Германия) поверхности образцов шлифовали на абразивной бумаге с зёрнами различных размеров. Сначала проходили шлифование на шкурке с более крупными абразивными зёрнами. Затем переходили на шкурку с более мелким абразивным зёрном. Образец фиксируется на вращающемся круге с различными зёрнами, и образец перемещается в противоположном

направлении с помощью шлифовального диска до полного исчезновения рисок. Общее время шлифования 1 час.



Рис. 2,5. Внешний вид шлифовального станка EcoMet 300 Pro.

Полирование поверхности образцов после шлифования. Оставшиеся после шлифования мелкие риски на поверхности образца удаляют полированием. Через обработанную поверхность образца для того чтобы получить блеск зеркала. Операция следующая; закрепите круг диаметром 200-250 мм на полировальной машине; прижмите образец тканью к вращающемуся кругу; начните полировать образец; до полного исчезновения краски и получения зеркальной поверхности, для тщательной полировки поверхности требуется 30 минут.

## **2.6 Характеризация спеченных образцов**

### **2.6.1 Определение относительной плотности**

Плотность исследуемых образцов измерялась гидростатическим взвешиванием с использованием дистиллированной воды в качестве иммерсионной среды. Сначала образец взвешивался в сухом состоянии ( $m_1$ ), затем он помещался в специальный контейнер дистиллированной водой и

взвешивался таким образом ( $m_2$ ). После этого образец вынимался из воды, протирался безворсовым полотенцем и взвешивался еще раз ( $m_3$ ). Плотность рассчитывалась по следующей формуле:

$$\rho_{\text{образца}} = \rho_{\text{вода}} \left( \frac{m_1}{m_3 - m_2} \right)$$

Где  $\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды при 25 °С равная 0,99707 г/см<sup>3</sup>.

Теоретическую плотность композитов рассчитывали по правилу смесей, используя теоретические плотности используемых материалов, которые представлены в таблице 2. Относительную плотность рассчитывали по формуле:

$$\rho_{\text{отн}} = (\rho_{\text{образца}}/\rho_{\text{теор}})*100$$

Где  $\rho_{\text{образца}}$  – плотность образца, определенная гидростатическим взвешиванием,  $\rho_{\text{теор}}$  – теоретическая плотность.

## 2.6.2 Определение микротвердости

Образец для испытания помещали на столик микротвёрдомера ПМТ-3М (ЛОМО, Россия) так, чтобы испытываемая поверхность была строго перпендикулярна к направлению перемещения пирамидки Викакса при вдавливании.



Рис. 2,6. Внешний вид микротвёрдомера ПМТ-3М.

Установив необходимую нагрузку 500 г (4,9 Н), столик с образцом поворачивали под пирамидку Виккерса. Далее образец медленно нагружали в течение 10 секунд. По окончании выдержки, снимали нагрузку, и столик с образцом плавно поворачивали под микроскоп, для измерения отпечатка.

Значение микротвердости (HV) вычисляли по нижеприведенной формуле, где  $P$  – нагрузка выражена в граммах,  $D$  – усреднённая величина диагонали в микрометрах;

$$H = \frac{1854P}{D^2}$$

Для того чтобы перевести значение микротвердости в МПа, нужно воспользоваться соотношением  $1 \text{ МПа} = 9,81 \text{ кг/мм}^2$ .

### 2.6.3 Определение трещиностойкости.

Образец помещали на столик твердомера ТП-7Р-1 (ЗИП, СССР) и устанавливали нагрузку 5 кг (49 Н). Затем производили нагруженные образца алмазной пирамидкой Виккерса до звукового сигнала.



Рис. 2,7. Внешний вид твердомера ТП-7Р-1.

Образец с отпечатками перемещали на столик микротвердомера ПМТ-3М под микроскоп и производили измерения диагоналей отпечатка и длин

трещин. Для расчета трещиностойкости образцов используются уравнения Anstis.

$$K_{IC} = 0.016 \left( \frac{E}{H_V} \right)^{1/2} \times \left( \frac{P}{C^{3/2}} \right)$$

Где F – нагрузка на пирамидку в Ньютонах, C – длина трещины от центра углубления до кончика трещины в метрах, E – модуль Юнга в ГПа (210 ГПа для  $ZrO_2$ ),  $H_V$  – твердость по Виккерсу в ГПа.

#### 2.6.4 Определение размера зерен.

Наблюдали спеченные поверхности разрушения образцов  $ZrO_2$ ,  $ZrO_2 + 1$  мас.% ОУНТ и  $ZrO_2 + 10$  мас.% НВ  $Al_2O_3$ , оценивали размер зерен по изображениям сканирующей электронной микроскопии (SEM JEOL JSM-5910-LV.), показанное на рисунке 2,8.



Рис. 2,8 Прибор электронной микроскопий JEOL JSM-5910-LV

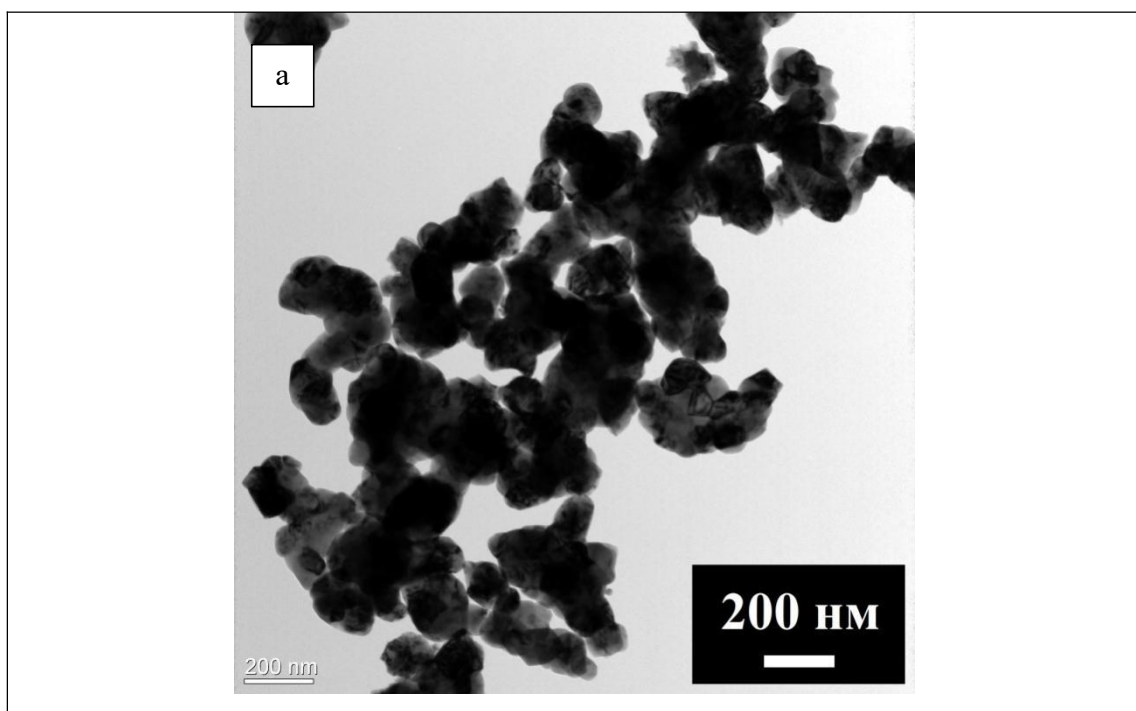
Исследование образцов в нанометровом масштабе осуществляется с помощью высокоточного и высокостабильного 5-аксонометрического углометра с пьезоэлектрическим движением. Этот прибор позволяет очень ровному и точному движению для того чтобы получить образец с увеличением около 500 000 раз в наноразмере. Используя этот принцип, получается микроскопическое изображение.

По изображению исследуемого порошка провести измерения размеров частиц в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью

программного обеспечения Altami Studio. Рассчитать диаметры частиц. Построить распределение частиц по размерам и кумулятивную зависимость средствами MS Excel

### 3. Результаты и обсуждение

Используемый частично стабилизированный нанопорошок  $ZrO_2$  (рис. 3,1а) содержит наночастицы формой близкой к равноосной и содержит агрегаты наночастиц нерегулярной формы. В работе [47] исследованы размерные характеристики этого используемого нанопорошка  $ZrO_2$ . Исходные ОУНТ (рис. 3,1б) представляют собой пучки уплощенной, лентообразной формы размерами от 10 нм до 40 нм, встречаются и крупные пучки размером более 200 нм. Нановолокна  $Al_2O_3$  (рис. 3,1в) имеют игольчатую форму диаметром от 5 нм до 15 нм.



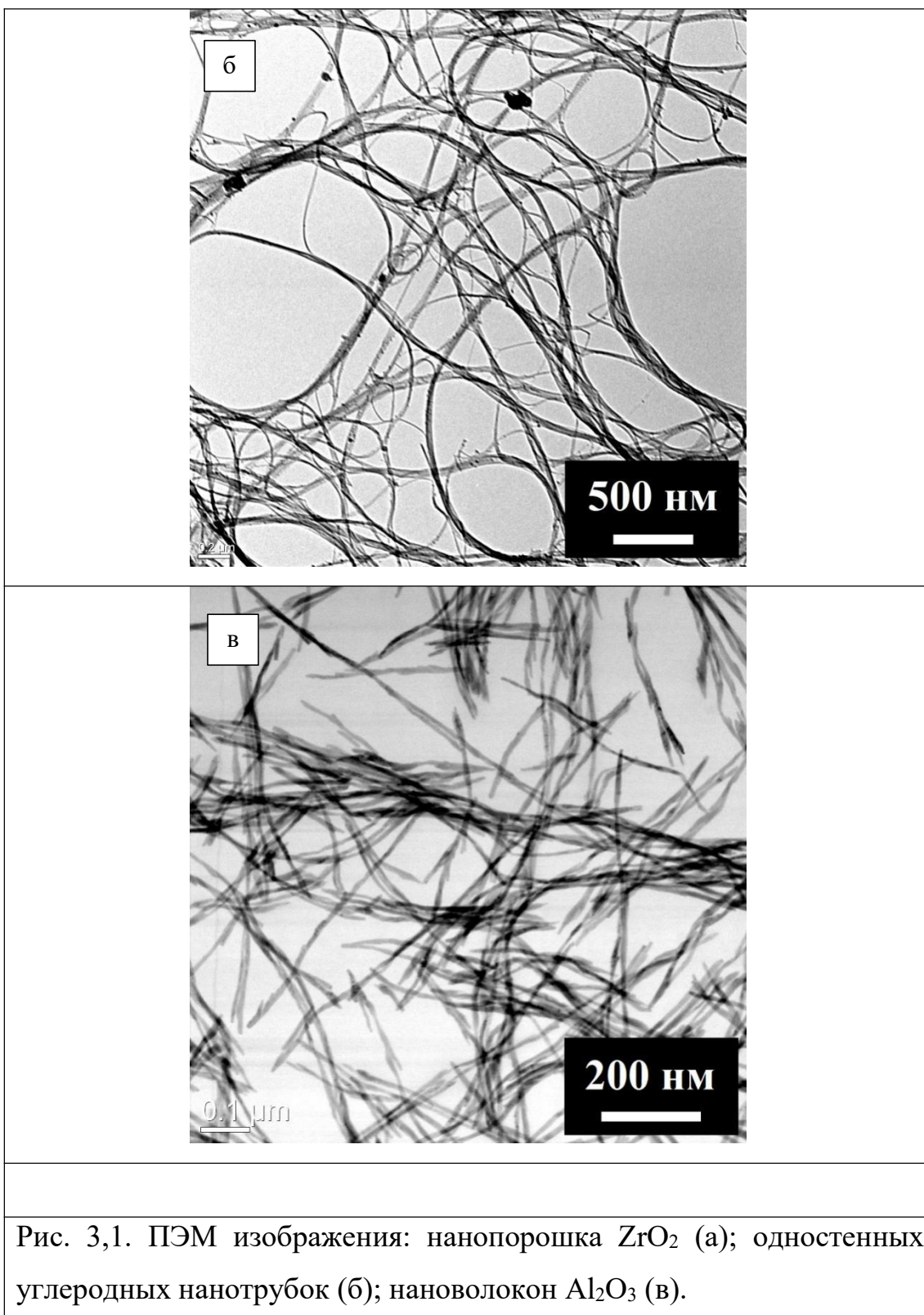


Рис. 3,1. ПЭМ изображения: нанопорошка  $ZrO_2$  (а); одностенных углеродных нанотрубок (б); нановолокон  $Al_2O_3$  (в).

На рис. 3,2а представлено СЭМ изображение приготовленного композитного порошка  $ZrO_2$  с 1мас.% ОУНТ, из которого видно, что пучки ОУНТ не разделились на отдельные нанотрубки, а только разделились на более мелкие пучки. Пучки ОУНТ хорошо распределены среди наночастиц



$ZrO_2$ , они опутывают отдельные наночастицы  $ZrO_2$  и их ансамбли, тем самым создавая сетчатые каркасные структуры. Из СЭМ изображения для композитного порошка  $ZrO_2$  с 5 мас.% НВ  $Al_2O_3$  (рис. 3,2б) видно, что нановолокна спонтанно ориентированы и достаточно равномерно распределены в объеме матрицы  $ZrO_2$ .

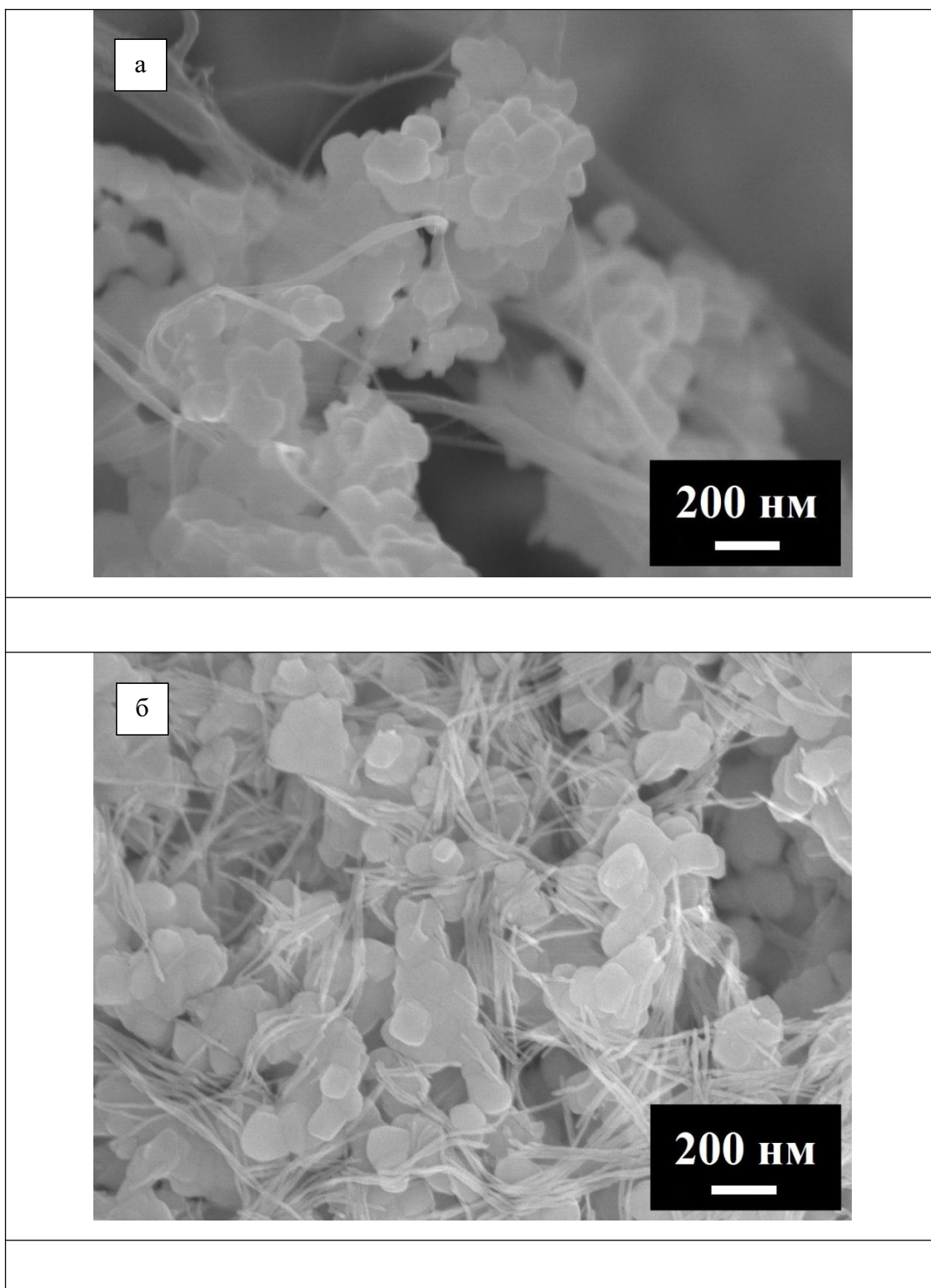


Рис. 3,2. СЭМ изображения: композитного порошка  $ZrO_2$  с 1мас.% ОУНТ (а) и композитного порошка  $ZrO_2$  с 5 мас.% НВ  $Al_2O_3$  (б).

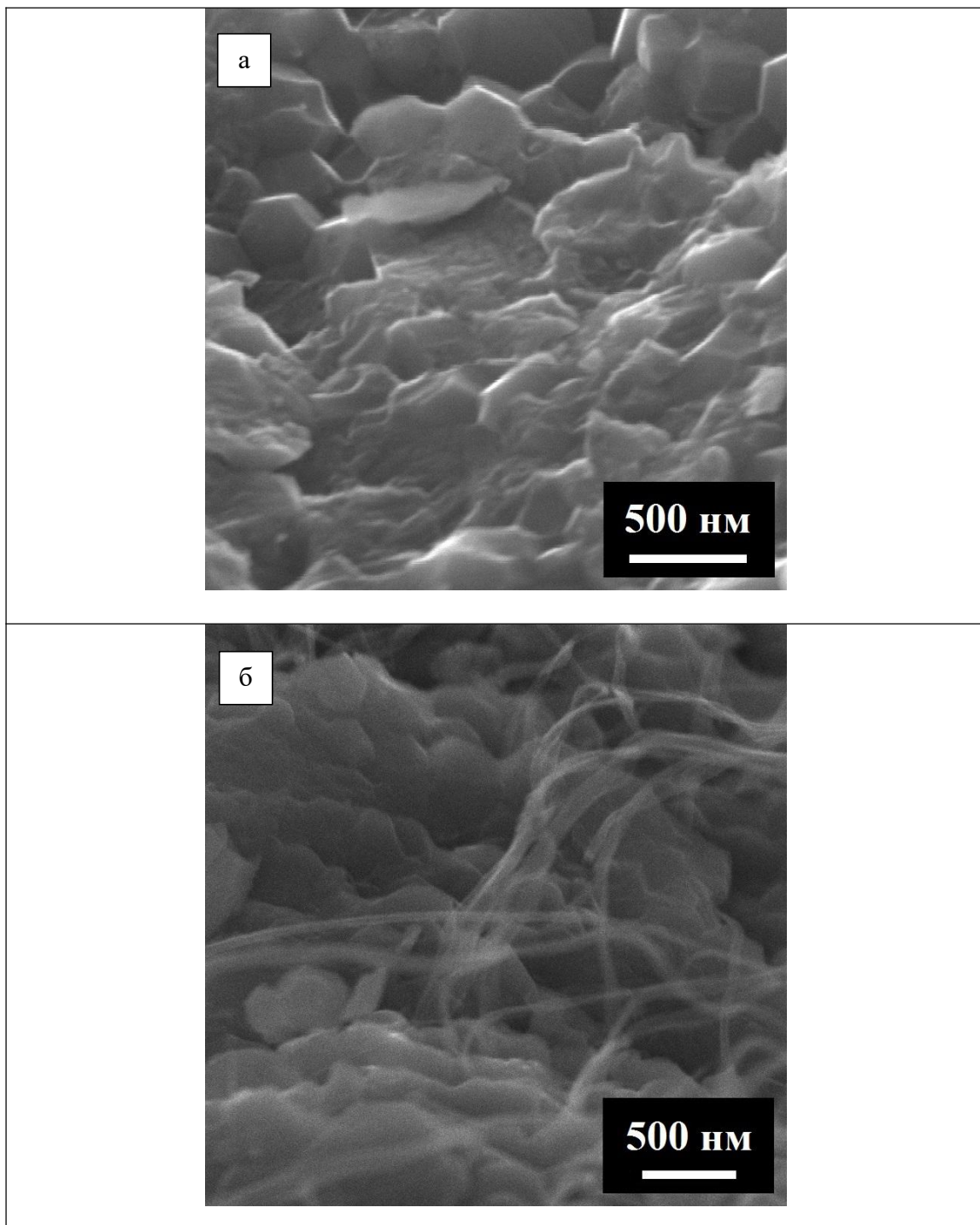
При исследовании микроструктуры спеченных образцов, установлено, что в керамике  $ZrO_2$  проявляется преимущественно транскристаллитный характер разрушения (рис. 3,3а), а в композите с ОУНТ (рис. 3,3б) наблюдается разрушение смешанного характера (межкристаллитное и транскристаллитное). Из рис. 3,3б видно, что ОУНТ сохраняют свою структуру после высокотемпературного спекания и, что пучки ОУНТ располагаются не только по границам зерен, некоторые встроены в объем зерна [48, 49]. Из рис. 3,3в видно, что нановолокна  $Al_2O_3$  спекаются в зерна нерегулярной формы, в некоторых случаях сложной вытянутой формы. При анализе размеров зерен образцов получены следующие размерные характеристики, указанные в таблице 6.

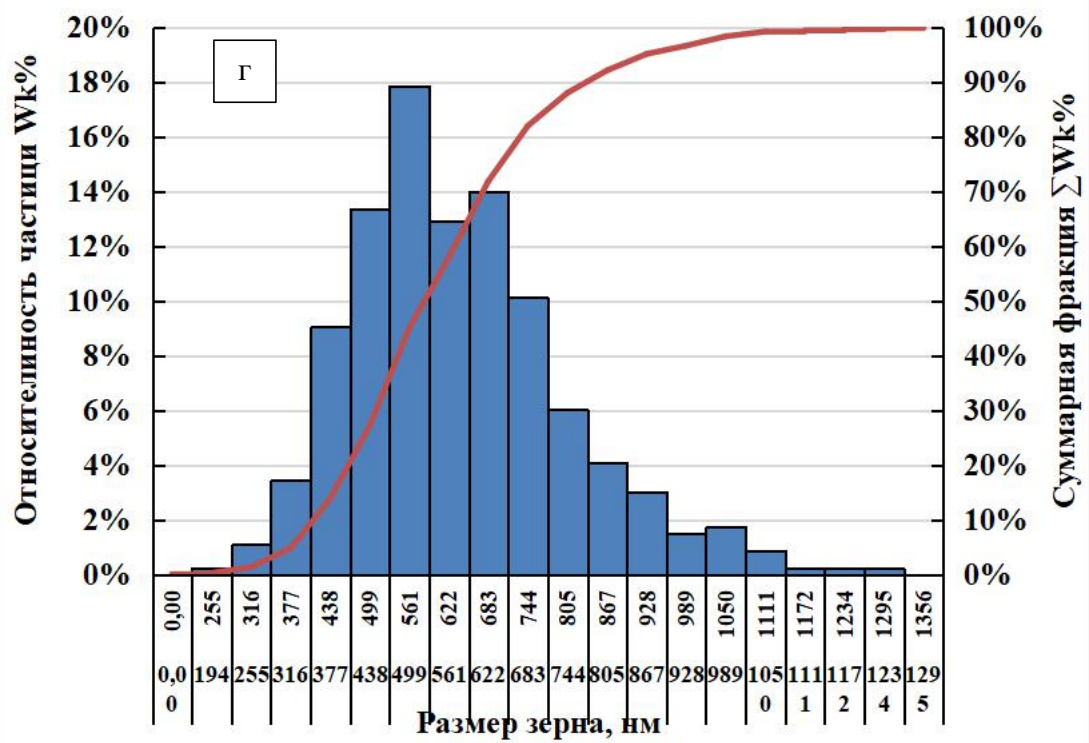
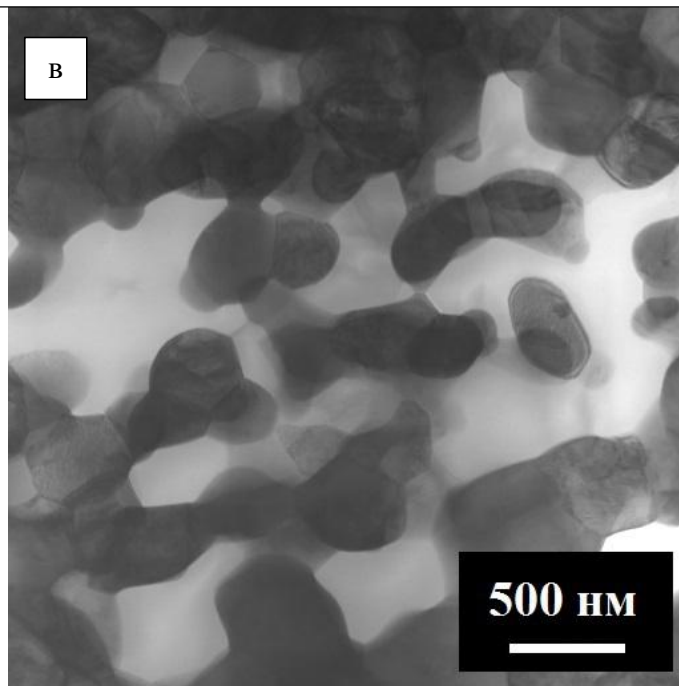
Таблица 6. Размерные характеристики, полученные при анализе микроструктуры образцов.

Характеристика / Образец	$ZrO_2$	$ZrO_2$ + 1 мас.% ОУНТ	$ZrO_2$ + 10 мас.% НВ $Al_2O_3$
Средний диаметр, нм	548	469	439
Модальный диаметр, нм	561	446	414
Медианный диаметр, нм	530	399	393

Средний размер зерна керамики составляет 548 нм, композита  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ – 469 нм, композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  – 439 нм. Сниженный размер зерна композитов указывает на то, что ОУНТ и НВ могут

эффективно влиять на эту характеристику, так как ОУНТ располагаются по границам зерен, препятствуют их росту.





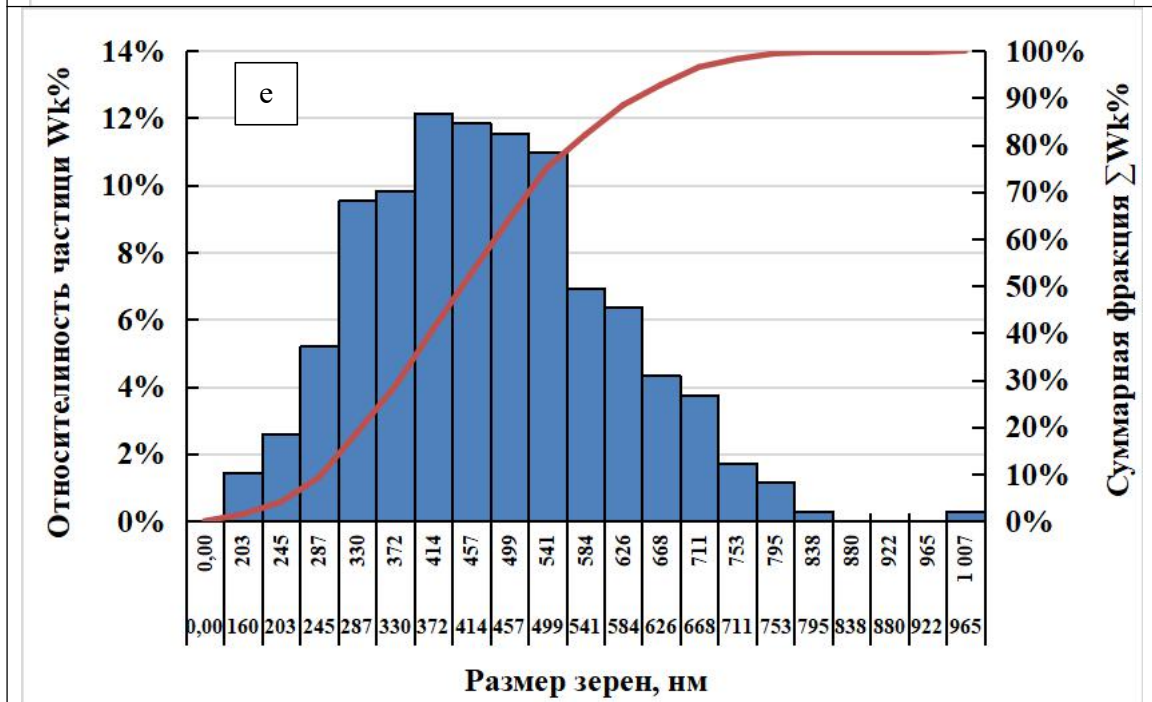
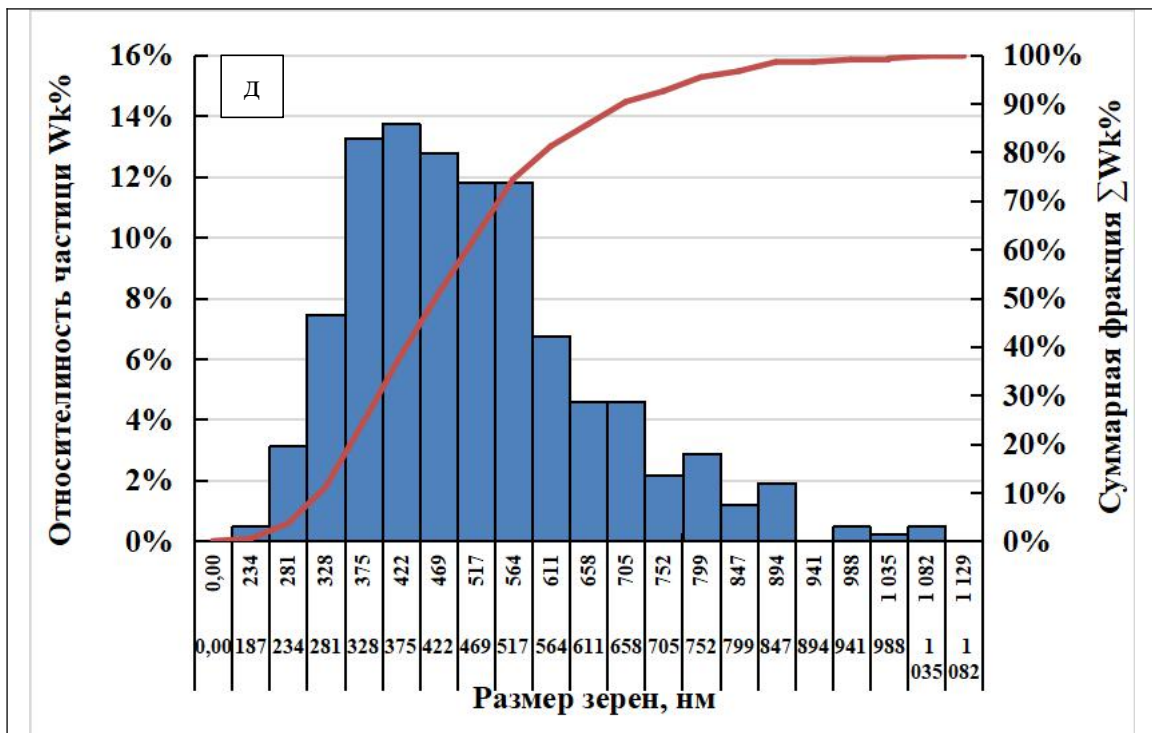


Рис. 3,3. СЭМ изображения поперечных сколов, показывающие микроструктуру: керамики  $ZrO_2$  (а) и композита  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ (б); ПЭМ изображение, показывающее микроструктуру композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  (в).  
 Распределение зерен по размерам для керамики  $ZrO_2$  (г), композита  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ (д) и композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  (е).

На рис.3,3г-е представлены распределения зерен по размерам для исследуемых образцов, из которых видно, что все распределения имеют одномодальный вид с модальными диаметрами 561 нм (рис. 3,3г), 446 нм (рис. 3,3д) и 414 нм (рис. 3,3е) для керамики  $ZrO_2$ , композита  $ZrO_2$  с 1 мас.%

ОУНТ и композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$ , соответственно. Для керамики  $ZrO_2$  распределение зерен по размерам лежит в диапазоне от 194 нм до 1356 нм, для композита  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ от 187 нм до 1129 нм, композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  от 160 нм до 1007 нм.

Спеченная керамика  $ZrO_2$  без добавок имела достаточно высокую относительную плотность, порядка 99,20 % (рис. 3,4а и 3,4б). Малые добавки ОУНТ и НВ  $Al_2O_3$ , 0,1 мас.% и 1 мас.%, соответственно, приводят к небольшому увеличению относительной плотности. Возможно, это связано со сниженной композиционной теоретической плотностью. Однако дальнейшее увеличение количества вводимых добавок приводит к плавному снижению относительной плотности до 97,52 % для композита с 1 мас. % ОУНТ (рис. 3,4а) и до 95,01 % для композита с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  (рис. 3,4б) при увеличении армирующих добавок до максимального значения в выбранных диапазонах концентраций. Высокие концентрации волокнистых, армирующих добавок подавляют проскальзывание и перегруппировку наночастиц  $ZrO_2$  в процессе уплотнение/спекание композитов, что приводит к остаточной пористости и, следовательно, к низкой плотности.

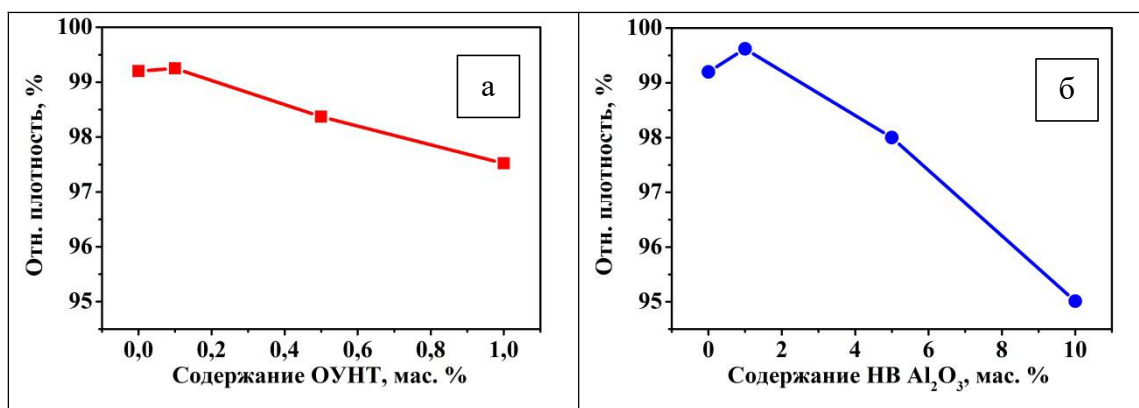
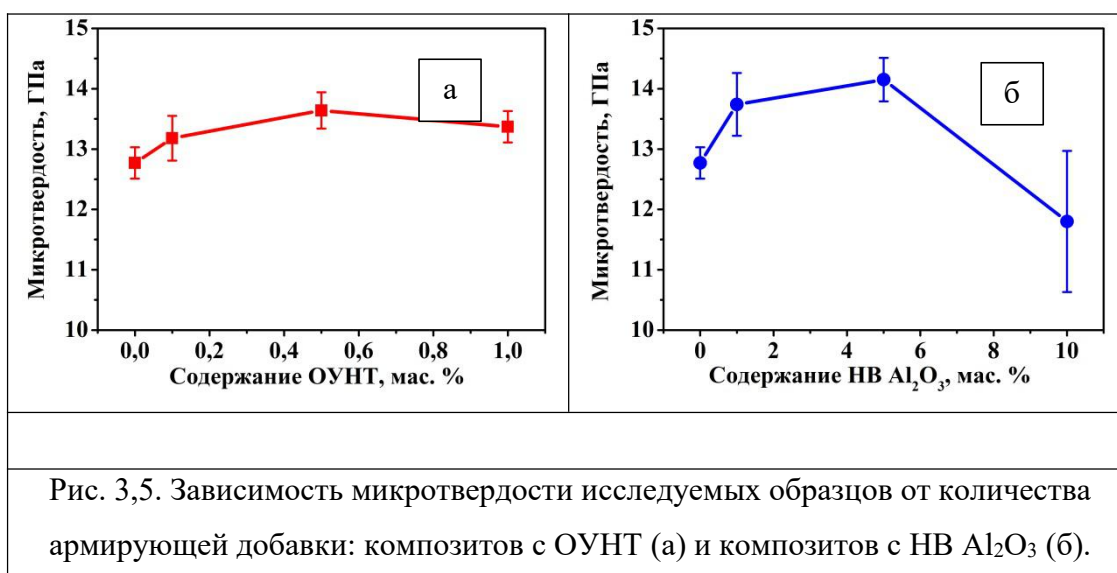


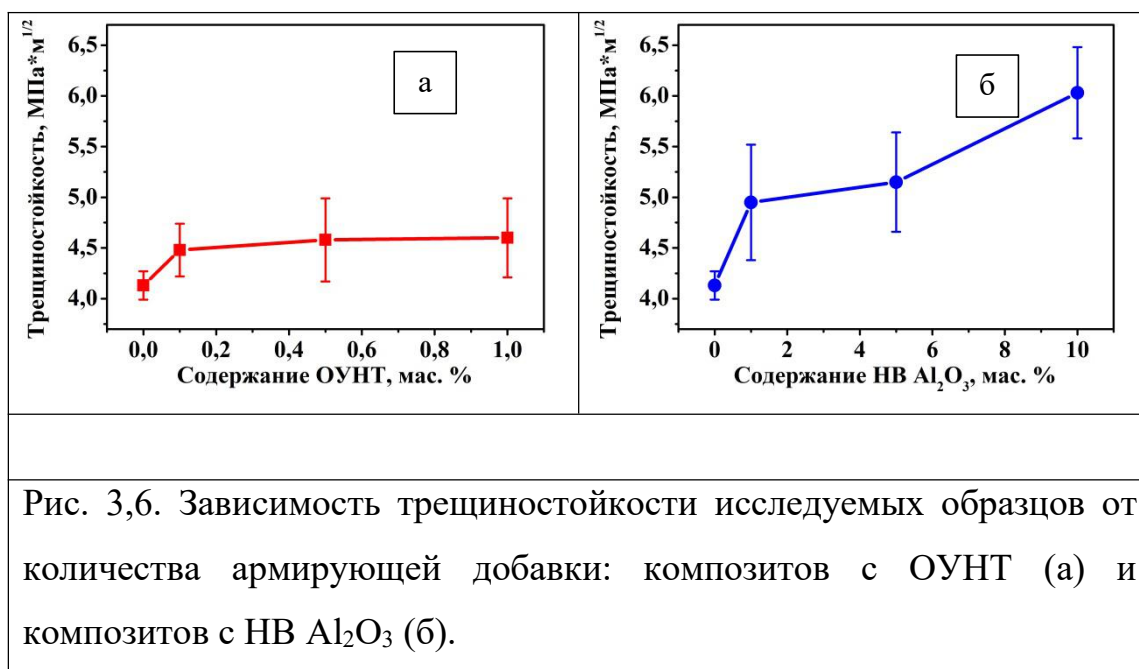
Рис. 3,4. Зависимость относительной плотности исследуемых образцов от количества армирующей добавки: композитов с ОУНТ (а) и композитов с НВ  $Al_2O_3$  (б).

На рис.3,5 представлены зависимости микротвердости образцов от массового содержания армирующих добавок. Микротвердость керамики  $ZrO_2$  составляет 12,77 ГПа. Из рис. 3,5а видно, что микротвердость композитов с ОУНТ, выше микротвердости керамики  $ZrO_2$ . Например, наибольшее увеличение микротвердости наблюдается для композита с 0,5 мас.% ОУНТ, микротвердость возрастает на 7 %. Увеличение микротвердости композитов вероятно связано с меньшим зерном. Для композита  $ZrO_2$  с 5 мас. % НВ  $Al_2O_3$  микротвердость возросла на 11 % по сравнению с микротвердостью керамики  $ZrO_2$  (рис. 3,5б). Однако композит  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  имеет микротвердость ниже, чем у керамики  $ZrO_2$ , что связано со сниженной относительной плотностью (рис. 3,5б).



Из рис. 3,6а видно, что трещиностойкость композитов с ОУНТ выше трещиностойкости керамики  $ZrO_2$ , однако при увеличении содержания ОУНТ, трещиностойкость практически не изменяется и колеблется около среднего значения  $4,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ . Наибольшее увеличение трещиностойкости наблюдалось для композита  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ, коэффициент  $K_{IC}$  составлял  $4,60 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , что на 11 % выше значения  $K_{IC}$  соответствующего для керамики  $ZrO_2$ . Композит  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ полученный из этого же композитного порошка электроимпульсным плазменным спеканием имел

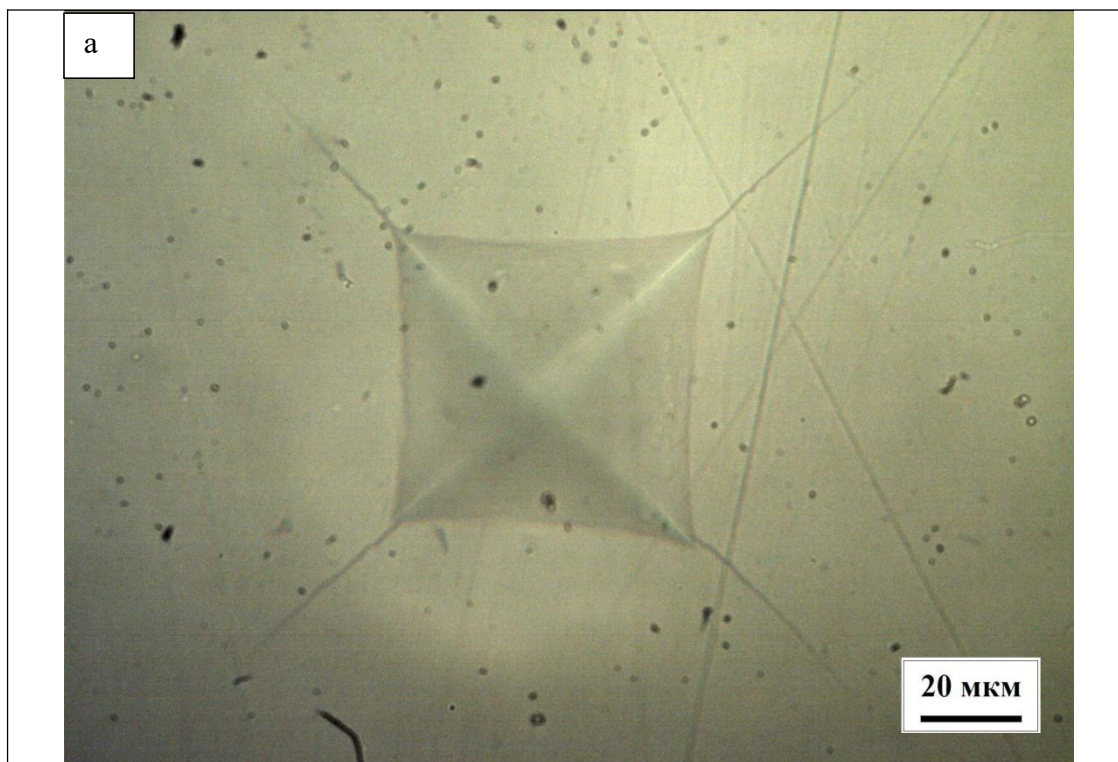
значение трещиностойкости равное  $5,48 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  [50, 51], что выше такого для композита полученного свободным спеканием. По мере увеличения содержания НВ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в композитах наблюдается повышение трещиностойкости (рис. 3,6б) с достижением максимального значения  $6,03 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  при добавке 10 мас.% НВ  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что на 46 % выше значения трещиностойкости, полученного для керамики  $\text{ZrO}_2$  ( $4,13 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ). Не смотря на то, что композит  $\text{ZrO}_2$  с 10 мас. % НВ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет пониженную относительную плотность и микротвердость, что вызвано остаточной пористостью, это способствовало еще лучшему повышению трещиностойкости.



На рис. 3,7а представлено оптическое изображение, показывающее отпечаток пирамидки Виккерса сделанный для определения трещиностойкости керамики  $\text{ZrO}_2$ . Из рис. 3,7а видно, что прямые трещины, без изгибов, четко выходят из углов отпечатка, что характерно для распространения трещин в хрупкой керамике. В отпечатке для композита  $\text{ZrO}_2$  с 1 мас.% ОУНТ (рис. 7б) наблюдается торможение трещины на пучке ОУНТ (верхняя красная стрелка) и перераспределение направления трещины в параллельном ее смещении (красная стрелка слева). Пучки ОУНТ, которые были обнаружены в



микроструктуре композита с ОУНТ (рис.3,3б), ответственны за такие изменения распространения трещин, что приводит к уменьшению длины трещины и соответственно к повышению трещиностойкости. На рис. 3,7в показано оптическое изображение отпечатка, полученного для композита  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$ , из которого видно, что помимо мелких зерен  $Al_2O_3$ , которые были обнаружены методом ПЭМ (рис. 3,3в), в микроструктуре встречаются более крупные зерна, размерами более 30 мкм. При столкновении кончика трещины с зерном  $Al_2O_3$  может происходить несколько случаев распространения трещины. 1. Как и в случае с трещинами в композите с ОУНТ, т.е. торможение роста трещины на зерне  $Al_2O_3$  и параллельное смещение распространения. 2. Разветвление трещины, показано на рис. 7в синей стрелкой. 3. Трещина либо вообще не появляется, либо появляется очень короткая и тонкая (желтая стрелка на рис. 3,7в). Во всех перечисленных случаях, трещины в композите с НВ  $Al_2O_3$  очень короткие в длине, что подтверждает высокую трещиностойкость данного композита.



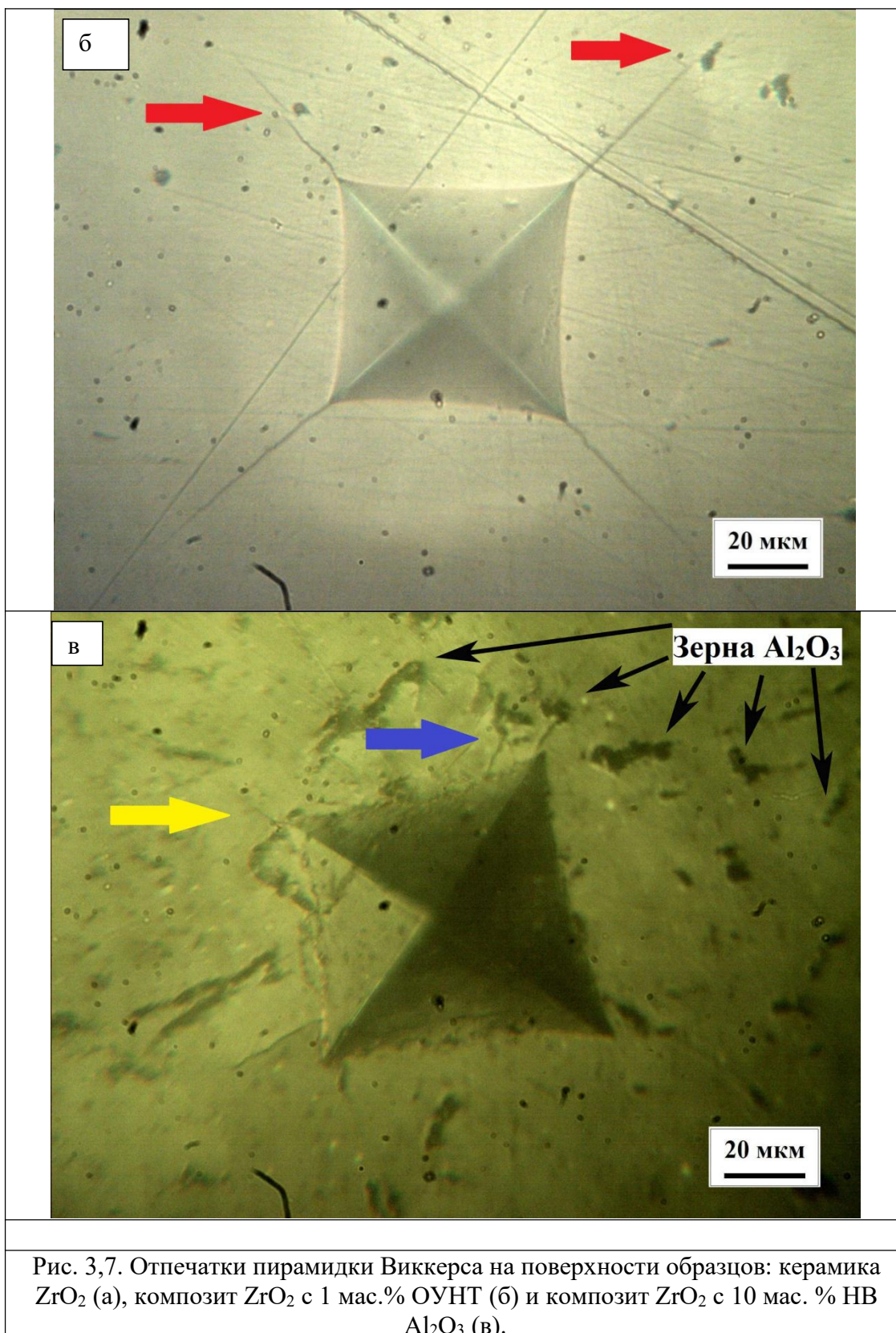


Рис. 3,7. Отпечатки пирамидки Виккерса на поверхности образцов: керамика  $ZrO_2$  (а), композит  $ZrO_2$  с 1 мас.% ОУНТ (б) и композит  $ZrO_2$  с 10 мас. % НВ  $Al_2O_3$  (в).

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Основные задачи данного раздела представляет собой оценка перспектив развития и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках исследовательского проекта. Коммерческая ценность оценивается не только существуют технологические преимущества в развитии конкуренции, но и тем, будет ли продукт востребован на рынке, какой бюджет научного исследования, какова будет его цена, и т.д.

В связи с тем, что экономика бывает неотъемлемой, постоянной и динамично развивающейся частью жизни, необходимо постоянно проводить маркетинговые исследования и мониторинг. Поиск конкурсных проектов позволяет определить необходимость и значимость новых разработок, а также их эффективность в случае успешной реализации конечного продукта...

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 работы – исследование изменения микроструктуры и физико-механических свойств композитов на основе  $ZrO_2$  в зависимости от типа и содержания армирующей добавки для достижения максимальной трещиностойкости получаемых композитов.

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

### 4.1.1. Анализ конкурентных технических решений

Необходимо проводить систематический детальный анализ развития рынка конкуренции, так как рынок постоянно меняется.

Этот анализ помогает адаптировать исследовательские проекты к успешному сопротивлению их конкурентам. Анализ конкурентных технических решений необходимо оценить сравнительный эффект научных разработок и определить направления дальнейшего совершенствования с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В процессе работы рассматривались три варианта методов спекания.

Вариант 1- Свободное спекание в вакууме.

Вариант 2- Электроимпульсное плазменное спекание.

Вариант 3-Горячее изостатическое давление.

Анализ конкурентных технических решений проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и Экономические показатели делятся на 5 шкале, из которых самый низкий-1, а самый сильный-5. Сумма веса всех показателей должен быть 1.

Таблица 7 – Оценочная таблица для сравнения технических решений на конкурентных рынках

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		В.1	В.2	В.3	В.1	В.2	В.3
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4

Стабильность срабатывания	0,1	4	5	1	0,4	0,5	0,1
Степень автоматизации	0,1	3	4	1	0,3	0,4	0,1
Наличие модуля оптимизации	0,12	3	1	5	0,3	0,12	0,6
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,13	4	3	1	0,72	0,39	0,13
Безопасность	0,13	4	4	1	0,72	0,72	0,13
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Затраты на ремонт	0,07	4	3	3	0,28	0,21	0,21
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Итого	1	41	35	26	4,32	3,64	2,52

Как видно из оценочных графиков, метод вакуумного спекания, который мы используем, является относительно конкурентоспособным на российском рынке. То же самое с конкурентами, контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования, удобство в эксплуатации, стабильность срабатывания, степень автоматизации, Наличие модуля оптимизации и т.п. Однако, как с точки зрения затрат, так и с точки зрения операций, по сравнению с конкурентами лучше чем два других метода.

Анализ конкурентных технологических решений показал, что вакуумное спекание является наиболее эффективным и оптимальным по сравнению с отечественными конкурентами.

#### **4.1.2.SWOT-анализ**

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа созданы интерактивные матрицы проекта, В ходе анализа анализируется соответствие каждого параметра SWOT каждому из них. В таблице 8-11 представлены их параметрические отношения, как показано в таблице 8-11.

Таблица 8 –Возможности проекта и сильные стороны.

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

Таблица 9 – Возможности проекта и слабые стороны.

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

Таблица 10 – Угрозы проекта и сильные стороны

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

Таблица 11 – Угрозы проекта и слабые стороны

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

Окончательная матрица SWOT-анализа приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>C1. Низкая стоимость исходного сырья</p> <p>C2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции</p> <p>C3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками</p> <p>C4. Экологичность технологии</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных</p>
--	--	--

	С5. Квалифицированный персонал	ситуаций Сл4. Вероятность получения брака
<b>Возможности</b> В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Внедрение технологии в производство В4. Участие в грантах В5. Выход на зарубежные рынки	<b>Направления развития</b> В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	<b>Сдерживающие факторы</b> В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака
<b>Угрозы</b> У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	<b>Угрозы развития</b> У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	<b>Уязвимости:</b> У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

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

## 4.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ представляет собой определение участников каждого вида работ, определение структуры работ по проведению научного исследования, построение графика проведения исследований, установление продолжительности работ, Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР показывается в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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



#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

На данном этапе основным исследованием проекта является трудовые затраты, необходимо определить трудоемкость работы каждого участника проекта.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ож\ i}$  оценивается по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

Где  $t_{min\ i}$  – Минимальное возможное время для выполнения задания исполнителем ( при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн. ;

$t_{max\ i}$  – Максимальное возможное время для выполнения задания исполнителем ( при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

По расчетам ожидаемой трудоемкости работ, следует определять продолжительность каждой работы в течение рабочего дня  $T_{р\ i}$ :

$$T_{р\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

Где  $Ч_i$  – количество исполнителей который одновременно выполнять поставленную задачу, чел.

$T_{р\ i}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 14.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{р\ i}$	Длительность работ в календарных днях $T_{к\ i}$
	$t_{min}$ , Чел-дни		$t_{max}$ , Чел-дни		$t_{ож\ i}$ , 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	2		4		2.8		2.8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	2	2	4	4	2.8	2.8	2.8	4
3. Обзор научной литературы	2	4	4	8	2.8	5.6	5.6	6
4. Выбор методов исследования		8		15	0	10.8	10.8	12
5. Планирование эксперимента		8		15	0	10.8	10.8	12
6. Проведение эксперимента		8		15	0	10.8	10.8	12
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8	0	5.6	5.6	6
8. Оценка эффективности результатов	1	2	1	4	1	2.8	2.8	4
9. Составление пояснительной записки	2	3	4	9	2.8	5.4	5.4	8
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		7		10	0	8.2	8.2	12
11. Социальная ответственность		10		13	0	11.2	11.2	17
<b>Итого</b>	<b>9</b>	<b>56</b>	<b>17</b>	<b>101</b>	<b>12</b>	<b>74</b>	<b>76.8</b>	<b>105</b>

После произведенных расчетов, представленных в таблице 4, строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 15.

Таблица 15 – Календарный план график проведения НИП

№ ра бо ты	Вид работы	Исполнитель	Тк, дн.	Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
				1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель	4	■							
2	Календарное планирование выполнения ВКР	инженер	4		▨										
3	Обзор научной литературы	инженер	6			▨									
4	Выбор методов исследования	инженер Руководитель	12				▨								
5	Планирование эксперимента	инженер	12					▨							
6	Проведение эксперимента	инженер	12						▨						
7	Анализ полученных результатов НИР	инженер	6							▨					
8	Оценка эффективности результатов	инженер	4								▨				
9	Составление пояснительной записки	инженер Руководитель	8									▨			
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	инженер	12										▨		
11	Социальная ответственность	инженер	17											▨	

▨ – Инженер ■ – Руководитель

В результате выполнения данного подраздела разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из участников проекта.

### 4.3 Бюджет научно-исследовательского проекта

#### 4.3.1. Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. 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 16).

Таблица 16 – Затраты на получение образца порошковой системы ZrO<sub>2</sub> - (1%-10%) Нановолокон Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> - (0,1%-1%) ОУНТ

Наименование статей	Кол-во/1 изд.	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Порошок оксида циркония ГОСТ 21907 - 76, кг	0,035	8000	280
Нановолокон Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , кг.	0,008	81767,5	654,1
ОУНТ ГОСТ 58356 - 2019. г	0,00008	511142,4	40,9
Спирт ГОСТ 5962-2013, л	1	690	690
Клей ГОСТ 12172-2016, л	1	34	34
Рукавицы специальные, термостойкие – 6 мес.	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546- 2002 ГОСТ 790-89	1	35	35
Очки защитные ГОСТ Р 12.4.013-97, шт.	1	58	58

Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			1831

#### 4.3.2. 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 17).

Таблица 11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Ноутбук	1	3	60	60
2	Аналитические весы DA-124	1	3	86,303	86,303
3	Ультразвуковая ванна ОДА Сервис 1.3л ODA-M13	1	5	6,035	6,035
4	Магнитная мешалка MS-3000 ЛТК	1	10	9,968	9,968
5	Электронный микроскоп FEG SEM: JEOL JSM 2100F	1	15	16000	16000
6	Гидравлическая машина прессования (ИП-500-пресс ЗИПО	1	35	1119,489	1119,489
7	Высокотемпературная вакуумная печь (Nabertherm VHT 8/22-GR	1	15	1750	1750
8	Шлифованный станок (Eco Met 300 Pro Buehler)	1	10	1290,15	1290,15
9	Микротвердомера ПМТ - 3МЛОМО	1	10	1500	1500
10	ТвердомерТП-7Р-1 ЗИП	1	10	895	895
11	Рентгеновский Дифрактометра XRD – 7000	1	20	3700	3700
Итого				26416,945	

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

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

Где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

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

Где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Ноутбук:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 60}{12} \cdot 4 = 6,6 \text{ тыс. руб.}$$

Аналитические весы:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 86,303}{12} \cdot 4 = 9,5 \text{ тыс. руб.}$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 6,035}{12} \cdot 4 = 0,4 \text{ тыс. руб.}$$

Магнитная мешалка:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 9,968}{12} \cdot 4 = 0,33 \text{ тыс. руб.}$$

Электронный микроскоп:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,07 \cdot 16000}{12} \cdot 4 = 355,6 \text{ тыс. Руб.}$$

Гидравлическая машина прессования:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,03 \cdot 1119,489}{12} \cdot 4 = 11,2 \text{ тыс. Руб.}$$

Высокотемпературная вакуумная печь:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot M = \frac{0,07 \cdot 1750}{12} \cdot 4 = 40,8 \text{ тыс. Руб.}$$

Шлифованный станок:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot M = \frac{0,1 \cdot 1290,15}{12} \cdot 4 = 43 \text{ тыс. Руб.}$$

Микротвердомера:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot M = \frac{0,1 \cdot 1500}{12} \cdot 4 = 50 \text{ тыс. Руб.}$$

Твердомер:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot M = \frac{0,1 \cdot 895}{12} \cdot 4 = 29,8 \text{ тыс. Руб.}$$

Рентгеновская дифрактометра:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot M = \frac{0,05 \cdot 3700}{12} \cdot 4 = 61,7 \text{ тыс. Руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 6,6 + 9,5 + 0,4 + 0,33 + 355,6 + 11,2 + 40,8 + 43 + 50 + 29,8 + 61,7 = 808,93 \text{ тыс. Руб.}$$

#### 4.3.3. Основная заработная плата исполнителей НИП

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 считается 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 8).

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

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

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):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

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

– для инженера:

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

Где  $Z_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – 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 18 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m, \text{руб}$	$Z_{дн}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	12	25767,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	93	162108,3
Итого:								187875,9



#### 4.3.4. Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 25767,6 = 3865,1 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 162108,3 = 24316,245 \text{ руб.}$$

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

Суммарная дополнительная заработная плата:

$$Z_{доп} = 3865,1 + 24316,245 = 28181,345 \text{ руб.}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внед} = K_{внед} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (25767,6 + 3865,1) = 8889,8 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{внед} = K_{внед} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (162108,3 + 24316,245) = 55927,37 \text{ руб.}$$

Где  $k_{внед}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Суммарные отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внед} = 8889,8 + 55927,37 = 64817,17 \text{ руб.}$$

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладными расходами включает прочие затраты организации, например: оплата услуг связи, печать и ксерокопирование документов, и т.д.

Накладные расходы считаются по формуле

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (\text{сумма} / 6) \cdot k_{нр} = 808,93 + 1831 + 187875,9 + 28181,345 + 64817,17) \cdot 0,2 \\ &= 287514,345 \cdot 0,2 = 57502,869 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Где  $k_p$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Для полученных данных по отдельным статьям затрат определяется калькуляция плановой себестоимости НИ «Получение армированных нановолокнами  $Al_2O_3$  и углеродными нанотрубками композитов на основе  $ZrO_2$  с повышенной трещиностойкостью» по форме, приведенной в таблице 20.

Таблица 20 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация, руб.	Сырье, материалы, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Отчисления на социальные нужды руб.	Итого без накладных расходов, руб.	Накладные расходы, руб.	Итого бюджетная стоимость, руб.
808000,93	1831	187875,9	28181,345	64817,17	287514,3	57502,9	28183176

#### 4.4. Определение финансовой, бюджетной 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.

В качестве аналогов данной НТР рассмотрены:

Вариант 1- Свободное спекание в вакууме.

Вариант 2- Электроимпульсное плазменное спекание.

Вариант 3-Горячее изостатическое давление.

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} = 32500 / 35000 = 0.92$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} = 34500 / 35000 = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} = 35000 / 35000 = 1.$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 1 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НТР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,1	4/0,4	4/0,4	4/0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5/0,75	3/0,45	4/0,6
3. Стабильность срабатывания	0,15	4/0,6	5/0,75	1/0,15
4. Степень автоматизации	0,20	3/0,6	4/0,8	1/0,2
5. Наличие модуля оптимизации	0.12	3/0,36	1/0,12	5/0,6
6. Простота конструкции и ремонтпригодность	0.13	4/0,52	3/0,39	1/0,13
7. Безопасность	0.15	4/0,6	4/0,6	1/0,12
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>27/3,8</b>	<b>28/3,51</b>	<b>23/1,6</b>

$$I_{p-вар1} = 3,8;$$

$$I_{p-вар2} = 3,51;$$

$$I_{p-вар3} = 1,6.$$

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

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{финр}}$$

$$I_{вар1} = \frac{3,8}{0,92} = 4,13, \quad I_{вар2} = \frac{3,51}{0,98} = 3,58, \quad I_{вар3} = \frac{1,6}{1} = 1,6.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 22).

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,92	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,51	1,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,13	3,58	1,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 1,09 Вар. 1/Вар. 3= 2,1	Вар. 2/Вар. 1 = 0,91 Вар. 2/Вар. 3 = 0,92	Вар. 3/Вар. 1 = 0,47 Вар. 3/Вар. 2 = 0,52

После сравнения среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов указывается о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным представляет собой вариант 1 (данная разработка), потому что 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: 93 дней - общее количество дней для выполнения работы ; 93 - общее количество дней, в течение которых работал студент (инженер); 12 - количество дней, в течение которых работал научно-руководитель. 3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 345017,2 руб.;

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

- 1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,92, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;
- 2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 3,8, по сравнению с 3,51 и 1,6;
- 3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,13, по сравнению с 3,58 и 1,6, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

При проведении исследования проводилась работа в лаборатории Томского политехнического университета (ауд. 201. 15 корпуса) с использованием микротвердомера, вакуумной печи, шлифованной установки, твердомера по Виккерсу, рентгеновского дифрактометра, электронного микроскопа и т.п.

Объектом исследования являются образцы  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , ОУНТ.

Данный раздел ВКР составляет анализ процесса исследования в нанотехнологической лаборатории, с тем чтобы выявить степень влияния основных техносферных опасностей и вредностей, которые могут возникнуть при проведении исследования. В разделе содержится оценка степени воздействия данных факторов на человека, общество и природную среду, предложены способы минимизации данных воздействий и защиты от них.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

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

На предприятии следует руководствоваться Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 но.197-ФЗ [52].

Некоторые виды деятельности в нанотехнологической лаборатории относятся к видам работ в тяжелых и вредных условиях. Работа во вредных условиях приводит к следующим гарантиям и компенсациям: к повышенной оплате труда, к сокращенной продолжительности рабочего времени, к увеличению оплачиваемого отпуска, обеспечению лечебно-профилактическим питанием, к досрочному назначению трудовой пенсии.

Основанием для установления гарантий и компенсаций являются Трудовой кодекс, локальные нормативные акты, коллективный договор, трудовой договор.

### 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Рабочее место располагается на втором этаже в лаборатории, помещение представляет собой длина - 4 м, ширина - 3 м, высота - 3 м, общая площадь - 12 м<sup>2</sup>, общий объем - 36 м<sup>3</sup>, 2 окон выходящих на север, в помещении находится 3 единиц технологического оборудования, 4 стола работы эксперимента, 6 стульев, один шкаф. Соответственно, там, где организуют рабочее место инженера, должны соблюдать требования ГОСТ 12.2.032-78 [53] и ГОСТ 12.2.033-78 [54].

1. Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты.
2. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ.
3. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними.
4. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае.
5. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам.
6. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов.
7. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

## 5.2 Производственная безопасность

Были выявлены потенциальные вредные и опасные производственные факторы ГОСТ 12.0.003-2015 [55], которые могут воздействовать на исследователя в процессе изучения свойств композитов диоксида циркония углеродными нанотрубками (таблица 23)

Таблица 23 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [55]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу атация	
1. Превышение уровня шума и вибрации		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [56] ГОСТ 12.1.029-80 [57] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [58]
2. Отклонение показателей микроклимата		+		СанПиН 2.2.4.548-96 [59] ГОСТ 12.1.005-88 [60]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+		+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [61] СП 52.13330.2016 [62]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [63] ГОСТ 12.1.038-82 [64]

### 5.2.1 Анализ показателей шума и вибрации.

Нормативы по шуму установлены в ГОСТ-12.1.003-2014 [56] в СН2.2.4/2.1.8.562-96 [58] (таблица 2).

Таблица 24 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая	Средняя физическая	Тяжелый труд	Тяжелый труд	Тяжелый труд



	нагрузка	нагрузка	1 степени	2 степени	3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Работа исследователя в лаборатории относится к категории работ со средней степенью напряженности и с легкой физической нагрузкой. Для работников предельно допустимый уровень шума составляет 70 дБА [58].

Одним из приборов в лаборатории, издающих шум, является шлифовальный станок.

Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативным. Если уровень шума превышает нормы, необходимо принимать меры по снижению уровня шума и защите людей от его воздействия в соответствии [58]:

- звукоизолирующие и звукопоглощающие элементы,
- индивидуальные средства защиты.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ вибрации не исключает нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц.

Требования СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [55] предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в таблице 3:

Таблица 25 – Допустимые уровни вибрационного воздействия в октавных полосах частот

Рабочее помещение	Уровень вибрационного воздействия давления в октавной полосе со среднегеометрическими частотами, дБ.								Мах уровень виброускорения, дБ
	Среднегеометрическая частота, Гц								
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
Лаборатория	123	123	129	135	141	147	153	159	126
Лаборатория	115	109	109	109	109	109	109	109	виброскорости, дБ
									112

Общая вибрация в лаборатории относится категория 3, тип «в» допустимые уровни вибрационного воздействия соответствует по СН 2.2.4/2.1.8.566-96[55].

### 5.2.2 Анализ показателей микроклимата

Микроклимат является следующими показателями: скоростью движения воздуха, температурой и относительной влажностью, интенсивностью теплового излучения.

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения по [51] указаны в таблице 26.

Таблица 26 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %			Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допустимая		оптимальная	на рабочих местах постоянных и непостоянных помещений	оптимальная, не более	на рабочих местах постоянных и непостоянных	
		верхняя граница	нижняя					

		граница							
		на рабочих местах							
		посто- янных	не- посто- янных	пос- тоян- ных	не- посто- янных				
Холод- ный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2

От микроклимата зависит физическое состояние человека, а также качество его работы. Так, например, с низкой влажностью связано пересыхание слизистой оболочки дыхательных путей.

Лаборатория, в которой проводилось исследование, находится в подвальном помещении. В таких помещениях есть опасность высокого уровня влажности, а также недостаточности скорости движения воздуха в связи с отсутствием больших окон. Также лаборатория оснащена большим количеством техники, что может быть причиной снижения уровня влажности в помещении и повышения температуры воздуха

Создание благоприятных условий труда и повышение производительности за счет поддержания оптимальных параметров микроклимата производственных помещений. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование.

Чтобы обеспечить требуемые показатели микроклимата, следует измерять показатель по требованиям СанПин 2.2.4.548-96 [59].

К улучшению микроклимата в лаборатории приводит регулирование движения воздуха с помощью вентиляции и увлажнение воздуха.

### 5.2.3 Анализ освещенности рабочей зоны

Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причиной во многих случаях являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли также могут быть вызваны пульсацией освещения, что для газоразрядных ламп в основном представляет собой результат использования электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, работающих на частоте 50 Гц.

Нормы освещения научно-технических лабораторий, в том числе физических, стилометрических, спектрографических и т.п., по [61] представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

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

Изучение свойств диоксида циркония связано со зрительными работами малой точности (1–5 мм, V разряд). Нормы разных видов освещения для промышленных помещений со зрительными работами пятого разряда [62]

представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории VГ)

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

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 [67] и СП 52.13330.2016 [62] норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения КЕО=1,2 %, для совмещенного освещения КЕО=2,1 %. Для искусственного освещения при общем освещении норма 300-500 лк, при коэффициенте пульсации не более 10 %

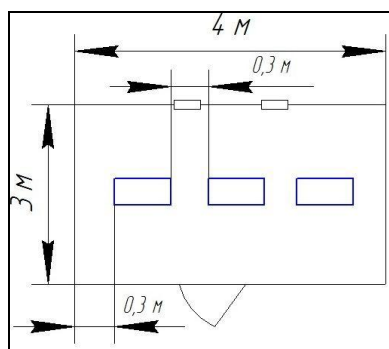


Рисунок 5,1 – План размещения светильников

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны:

$q_{\text{п}} = 70 \%$ ,  $q_{\text{с}} = 50 \%$ ,  $q_{\text{з}} = 10 \%$ . Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$H = h - h_{\text{р}} - h_{\text{с}},$$

$$H = 3 - 0,80 - 0 = 2,20 \text{ м},$$

где  $h$  – высота потолков, м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности, м;

$h_c$  – расстояние светильников от перекрытия, м.

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

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$n = B/L = 3/3,08 = 0,97,$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

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

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{12}{1 \cdot (4 + 3)} = 1,7.$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 43 \%$ .

Световой поток лампы ЛБ составляет  $F_0 = 2480$  лм. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп  $F = 4960$  лм.

Необходимое число светильников в ряду:  $\frac{6210 \text{ лм}}{4265,6 \text{ лм}} \approx 3$ .

Далее рассчитывается фактическое освещение в помещении.

Число светильников в ряду 3 (число ламп 2):

$$\Phi = 2850 \cdot 3 \cdot 2 = 17100 \text{ лм.}$$

Фактическое освещение в помещении  $\Phi = 17100$  лм для одного ряда светильников, т. е. для трех светильников с двумя лампами. Рассчитывается фактическое значение освещения в помещении по формуле:

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \eta \cdot \phi}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{4960 \cdot 3 \cdot 43\%}{12 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 100\%} = 309 \text{ лк.}$$

Согласно расчётам, фактическое значение освещения укладывается в диапазон освещённости искусственным светом 300-500 лк:  $E_{\text{факт}} = 309$  лк

Для правильного освещения рабочего места необходимо верно выбрать вид освещения, количество и расположение ламп, тип осветительных приборов. В лаборатории используются люминесцентные лампы, расположенные на потолке в виде прерывистых линий. Расположенное в лаборатории освещение обеспечивает достаточную освещённость рабочей поверхности, освещённость стабильная, без блёскости и без теней.

При необходимости выполнения более тонких зрительных работ используется имеющееся в лаборатории дополнительное местное освещение (светильники, настольные лампы).

Специальное оборудование для лабораторных исследований (твердомер) снабжено встроенным осветительным прибором

#### **5.2.4 Анализ электробезопасности**

В качестве источников поражения электрическим током выступают открытые металлические участки электроприборов, поврежденная проводка, выключатель, розетка

Основными причинами воздействия тока на человека являются:

- 1) появление напряжения в результате повреждения изоляции,
- 2) появление напряжения вследствие ошибочного включения оборудования,
- 3) напряжение на поверхности в результате замыкания провода на этой поверхности [68].

Электрический ток является причиной негативных термических реакций (ожог, функциональное расстройство органов в результате их нагрева.), электролитических реакций (разложение органических жидкостей), механических (разрыв, расслоение тканей организма.), биологических (судорога, сокращения мышц, приводящие к нарушению деятельности органов дыхания и кровообращения) [69] Согласно таблице 29. класс электробезопасности помещения относится к мало опасные помещения

Таблице 29 Классификация помещений по опасности поражения электрическим током (ПУЭ)

<u>Категория помещений</u>	Классификация помещений по опасности поражения электрическим током (ПУЭ)
Особо опасные помещения	- Постоянно 100 % влажность (особо сырое помещение); - наличие химически активной среды; - либо: наличие более 2 факторов помещения повышенной опасности
Помещения повышенной опасности поражения электрическим током	повышенная температура воздуха ( $t = + 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ); - повышенная влажность ( $> 75 \%$ ); - наличие токопроводящей пыли; - наличие токопроводящих полов; - возможности прикосновения одновременно и к электроустановке и к заземлению или к двум электроустановкам одновременно
Мало опасные помещения	Отсутствуют признаки и факторы, характерные для двух предыдущих классов

В таблице 30 показано предельно допустимое значение электрического тока при нормальном режиме работы электроприборов [64].

Таблица 30 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Электробезопасность представляет собой совокупность технических и организационных средств и мероприятий, которые обеспечивают защиту людей от взаимодействия тока.

Обеспечению электробезопасности служит следующее: 1) указатели напряжения, 2) диэлектрические перчатки, 3) инструменты с изолирующими



ручками, 4) изолирующие подставки [62]

### 5.3 Экологическая безопасность

В связи с тем, что опыт по улучшению свойств композиционных материалов на основе наночастиц  $ZrO_2$  с нанотрубками и с  $Al_2O_3$  включает смешивание диоксида циркония и нанотрубки, шлифовку и полировку образца  $ZrO_2$  с нанотрубками и с  $Al_2O_3$ .

Серьезная проблема представляет собой электропотребление оборудования. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, приходится увеличивать мощность и количество электростанций, который приводит к нарушению экологической обстановки. Эта проблема бывает мировой. Еще одним способом решения данной проблемы представляет собой использование энергосберегающих систем. В настоящее время во многих странах внедрены альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра).

Одним из вероятных вредных факторов для атмосферы при получении композиционных материалов на основе  $ZrO_2$  с ОУНТ и с  $Al_2O_3$  является испарение суспензии и распространение порошков в воздушной среде. К средствам защиты атмосферного воздуха от выбросов относятся очистка выбросов от примесей в специальных аппаратах (цинка фильтры и т.п.), рассеивание очищенных выбросов в атмосферном воздухе. Испарения и выбросы, появляющиеся при проведении исследования, не превышают ПДК, установленные в ГН 2.1.6.3492-17 [70].

Для проведения исследования используются чашка Петри и ёмкость для жидкости, на стеках которых могут быть остатки суспензии. При очистке оборудования вредные вещества через водопроводную систему могут попадать в почву и в воду. Для очистки воды от вредных веществ используются механические, химические, физико-химические, биологические и термические методы. Избыточное количество вредных веществ в воде опасно для людей, животных и растений. Количество отходов, попадающих в процессе исследования в воду, не превышает ПДК [ГН 2.15.1315-03] [71].

В ходе правления исследования образуются твердые отходы: образец, бумага для взвешивания, использованные перчатки и салфетки. Попадание порошковых материалов в почву может стать причиной изменения её состава, что отрицательно влияет на находящиеся там живые организмы. Утилизация вредных твёрдых отходов должна соответствовать действующему законодательству. Твердые отходы с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

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

Чрезвычайные ситуации является явлений, которые вызывают нарушения безопасности жизнедеятельности или совокупность опасных событий.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций делят на:

- 1) Внешние – воды технологических продуктов, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, стихийные бедствия и т.д.;
- 2) Внутренние – сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина и т. п.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. На случай возникновения чрезвычайной ситуации в лаборатории должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- 1) Необходимо эвакуировать людей или укрыть их людей в защитных сооружениях;
- 2) Обеспечить людей индивидуальными средствами защиты;
- 3) Организовать медицинскую помощь пострадавшим.

#### **5.5. Пожарная безопасность**

Наиболее распространённая вероятная ЧС в лаборатории – это пожар. Помещение лаборатории (таблица 9) по степени пожароопасности относится к классу В-2, так как в процессе исследования материал был  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , ОУНТ,

спирт и т. д. в нем присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [72].

Помещение лаборатории по пожарной опасности относится к категории ВЗ – Пожароопасная.

Возгорание может возникнуть по ряду причин, среди которых неисправная проводка, неисправное оборудование, неосторожное обращение с огнем. В хорошо вентилируемом помещении интенсивный приток воздуха может способствовать быстрому распространению пламени. Потому, при распространении огня, если возгорание не ликвидировано в первые несколько секунд, следует в первую очередь отключить вентилятор и закрыть вентиляционный канал. Последовательность действий при пожаре:

- 1) Подать сигнал о помощи;
- 2) Удалить из зоны горения все материалы, способные к воспламенению, в случае возможности, удалить источник воспламенения;
- 3) Обесточить электрооборудование, ставшее источником воспламенения или обесточить все помещение;
- 4) Применить первичные средства пожаротушения.

Лаборатория оснащена 2-мя углекислотными огнетушителями марки ОУ-2, которые предназначены для тушения возгораний химических веществ за исключением тушения щелочноземельных элементов, электрических приборов, работающих под напряжением ниже 1000 В.

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь планом пожарной эвакуации. В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание корпуса 15, в котором располагается аудитория 201, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а также

установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

### **Выводы по разделу**

Главным направлением обеспечения экологической безопасности нанотехнологий и наноматериалов является жесткий контроль нанопродуктов и их производных на всех стадиях жизненного цикла: от разработки и изучения в лаборатории до полной утилизации. Так как система гигиенического контроля и нормирования для наночастиц и наноматериалов на сегодняшний день еще не разработана, то при работе с наночастицами следует проводить мониторинг риска для каждого используемого материала. Целью такого мониторинга должно стать уменьшение до приемлемого уровня риска и снижение негативных воздействий исследуемых частиц на персонал и окружающую среду.

В данном разделе диссертационной работы рассмотрены основные требования к безопасности работы персонала на всех этапах работы с выбранными материалами для минимизации негативного воздействия. Организация работы по представленным протоколам также является основным минимумом для перехода от лабораторного производства к опытному, а затем и к массовому производству и использованию предложенных в работе идей в промышленности.

В работе рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. В итоге, установлено, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

## Заключение

Нанотехнологии позволяют создавать наноразмерные структуры, материалы и системы, которые с успехом используются в промышленности, здравоохранении, защите окружающей среды. Размерные эффекты дают возможность получать и керамические материалы с уникальными свойствами. Инженерная керамика на основе наноструктурированного диоксида циркония отличается высокой прочностью, трещиностойкостью, износостойкостью и биосовместимостью.

По окончании исследования получены следующие результаты: Изучена литература о структуре, свойствах, методах получения и применении углеродных нанотрубок, нановолокна  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$

Показано, что трещиностойкость композитов с ОУНТ увеличилась на 11 %, а композитов с нановолокнами  $Al_2O_3$  на 46%. Улучшение трещиностойкости композитов, связано с достаточно равномерным распределением армирующих добавок в объеме матрицы, где пучки ОУНТ и зерна  $Al_2O_3$  испытывает приложенную нагрузку индивидуально, нагрузка сосредоточена в граничной области между волокнистым наполнителем и матрицей.

В нашей работе используются углеродные нанотрубки и нановолокна  $Al_2O_3$ , которые производятся российской компанией OCSiAl г. Новосибирск, и которые недавно появились на рынке и они намного дешевле зарубежных аналогов. По факту оценки эффективности ИР, значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,13, является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

В работе рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. В итоге, установлено, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она

соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

## Список публикаций

1. Леонов А.А., Ли Цзин, Лю Хаоце. Упрочнение диоксида циркония одностенными и многостенными углеродными нанотрубками // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение: материалы III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 13-15 ноября 2019 г. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2019. – С. 78-79.
2. Леонов А.А., Лю Хаоце, Ли Цзин, Пайгин В.Д. Упрочнение циркониевой керамики многостенными углеродными нанотрубками // Современные материалы и технологии новых поколений: сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса, г. Томск, 30 сентября - 5 октября 2019 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – С. 121-123.
3. Леонов А.А., Пайгин В.Д., Лю Х., Ли Ц. Композиционный материал на основе диоксида циркония, упрочненный углеродными нанотрубками // Графен: молекула и 2D кристалл: программа и тезисы докладов третьей российской конференции, г. Новосибирск, 5-9 августа 2019 г. – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2019. – С. 71-72.

#### Список используемых источников

1. Девойно О.Г. Композиционный порошок на основе диоксида циркония, частично стабилизированный оксидом церия / О.Г. Девойно, В.В. Оковитый // Наука и техника. 2013. № 6. С. 3-8.
2. Матренин С.В. Техническая керамика. / С.В. Матренин, А.И. Слосман // Томск: изд-во ТПУ, 2004. – 75 с
3. Торопов Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем. / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, И.А. Бондарь, Ю.П. Удалов // Справочник. Выпуск второй. Металл-кислородные соединения силикатных систем. Изд. «Наука», Ленингр. отд. Л., 1969, 181-187
4. Васильев И.П. Диагностика полиморфных фазовых превращений в ультрадисперсных порошках диоксида циркония методами термического анализа / И.П. Васильев, С.Е. Тотьменинов // Ресурс эффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов II Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых: в 4 т., Томск, 8-12 Октября 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 34-38
5. Vasiljev I. P. Investigation of the structural-phase state of ultrafine plasmochemical ZrO<sub>2</sub>(Y) powders / I.P. Vasiljev , S.A. Gyngazov, T.S. Franguljyan, V.M. Khaydukova, T.S. Mylnikova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1, Article number 012021. - p. 1-5
6. Торопов Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем. / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева //Справочник. Выпуск первый. Двойные системы. Изд. «Наука», Ленингр. отд. Л., 1969, 437-440
7. Коледа П.А. Опыт применения цельнокерамических реставраций на депульпированные зубы / П.А. Коледа, С.Е. Жолудев, И.Н. Кандоба // Институт стоматологии. 2007. Т. 2. № 35. С. 50-53.
8. Эндопротез керамика-керамика основные характеристики и преимущества: [Электронный ресурс] // Эндопротезировании тазобедренного сустава в Москве, Санкт-Петербурге и Праге. Замена тазобедренного сустава и коленного сустава в Европе дешевле. 2008. URL: <http://msk-artusmed.ru/programma-lecheniya /keramicheskie-proves-utazobedrennogo- sustavaprochnye-i-nadezhnye/>. (Дата обращения: 25.12.2017).
9. G.D. Quinn, R.C. Bradt, On the Vickers indentation fracture toughness test, J. Am. Ceram. Soc. 90 (2007) 673–680.
10. J. Cho, A.R. Boccaccini, M.S.P. Shaffer, Ceramic matrix composites containing carbon nanotubes, J. Mater. Sci. 44 (2009) 1934–1951.



11. E. Zapata-Solvas, D. Gomez-Garcia, A. Dominguez-Rodriguez, Towards physical properties tailoring of carbon nanotubes-reinforced ceramic matrix composites, *J. Eur. Ceram. Soc.* 32 (2012) 3001–3020.
12. A. Peigney, A. Weibel, C. Laurent, Carbon nanotubes in ceramic–matrix nanocomposites, in: H.S. Nalwa (Ed.), *American Scientific Publishers, Valencia*, 2011, pp. 179–196.
13. J. Sun, L. Gao, M. Iwasa, T. Nakayama, K. Niihara, Failure investigation of carbon nanotube/3Y-TZP nanocomposites, *Ceram. Int.* 31 (2005) 1131–1134.
14. R. Poyato, A. Gallardo-Lopez, F. Gutierrez-Mora, A. Morales-Rodriguez, A. Munoz, A. Dominguez-Rodriguez, Effect of high SWNT content on the room temperature mechanical properties of fully dense 3YTZP/ SWNT composites, *J. Eur. Ceram. Soc.* 34 (2014) 1571–1579.
15. Leonov A.A. Microstructure and properties of single wall carbon nanotubes/zirconia composite // *Химическая технология функциональных наноматериалов: сборник материалов международной конференции со школой и мастер-классами для молодых ученых, Москва, 30 ноября - 1 декабря 2017. – Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. С. 35-37.*
16. Леонов А.А., Пайгин В.Д., Цуканов В.А. Влияние относительного содержания одностенных унт на механические свойства композитов на основе кубического диоксида циркония //
17. *Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, Томск, 20-23 мая 2019. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – С. 79–80.*
18. Леонов А.А., Цуканов В.А., Пайгин В.Д. Структура и свойства керамических композитов ZrO<sub>2</sub>, модифицированных различными армирующими наполнителями // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 7 т., г. Томск, 24-27 апреля 2018. - Томск: Изд. дом ТГУ, 2018 - Т.1. Физика. - С. 180-182.*
19. Леонов А.А., Бикбаева З.Г. Керамические композиты на основе оксида алюминия, модифицированные одностенными углеродными нанотрубками // *Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции, г. Томск, 26-30 ноября 2018. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – С. 190–191.*
20. Леонов А.А., Лю Хаоце, Ли Цзин, Пайгин В.Д. Упрочнение циркониевой керамики многостенными углеродными нанотрубками // *Современные материалы и технологии новых поколений: сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса, г. Томск, 30 сентября - 5 октября 2019 г. - Томск: Изд-во ТПУ, 2019. - С. 121-123.*

21. Hassan R., Nisar A., Ariharan S., et al. Multi-functionality of carbon nanotubes reinforced 3 mol% yttria stabilized zirconia structural biocomposites // *Materials Science and Engineering: A*. – 2017. – V. 704. – P. 329–343
22. Леонов А.А. Керамический композит корунд/многостенные углеродные нанотрубки, полученный по технологии электроимпульсного плазменного спекания // *Физика твердого тела: сб. материалов XVI Российской научной студенческой конференции, Томск, 17-20 апреля 2018.* – Томск: Изд-во НТЛ, 2018. – С. 68–70.
23. Леонов А.А. Влияние температуры спекания на микроструктуру и свойства композита на основе корунда, модифицированного многостенными углеродными нанотрубками // *Химическая технология функциональных наноматериалов: сборник материалов международной конференции со школой и мастер-классами для молодых ученых, Москва, 30 ноября-1 декабря 2017.* - Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. - С. 145-147.
24. Леонов А.А., Хасанов А.О., Данченко В.А., Хасанов О.Л. Спарк-плазменное спекание керамоматричного композита на основе  $Al_2O_3$ , армированного углеродными нанотрубками//*Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 9-13 Октября 2017.* - Томск: ТПУ, 2017. -С. 74-75.
25. J.R. Kelly, I. Denry, Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview, *Dent. Mater.* 24 (2008) 289–298.
26. J. Chevalier, What future for zirconia as a biomaterial?, *Biomaterials* 27 (2006) 535–543
27. A. Kasperski, A. Weibel, D. Alkattan, C. Estournes, V. Turq, C. Laurent, A. Peigney, Microhardness and friction coefficient of multi-walled carbon nanotube-yttria-stabilized  $ZrO_2$  composites prepared by spark plasma sintering, *Scr. Mater.* 69 (2013) 338–341
28. Maensiri S., Laokul P., Klinkaewnarong J. and Amornkitbamrung V. Carbon nanofibers-reinforced alumina nanocomposites: Fabrication and mechanical properties // *Materials Science and Engineering: A*. – 2007. – V. 477. – P. 44–50.
29. de Faoite D., Browne D.J., Chang-Díaz F.R., Santon K.T. A review of the processing, composition and temperature- dependent mechanical and thermal properties of dielectric technical ceramics. – *Materials Science*, 2012, 47 (10), 4211–4235. DOI:10.1007/s10853-011-6140-1.
30. Levin I., Brandon D., Metastable Alumina Polymorphs: Crystal Structures and Transition Sequences. – *Journal of the American Ceramic Society*, 1998, 81 (8), 1995–2012. DOI:10.1111/j.1151-2916.1998.tb02581.x.

31. Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // Арматур строение. 2011. № 4 (73). С.55-61.
32. Фаликман В.Р., Соболев К.Г. Простор за прелом, или как нанотехнологии могут изменить мир бетона Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2010. № 6. Т. 2. С. 17-31. [http://www.nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild\\_6\\_2010\\_RUS.pdf](http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_6_2010_RUS.pdf) (дата обращения 24.12.2014).
33. М. Р. Нуртдинов, В.Г. Соловьев, А. Ф. Бурьянов. Мелкозернистые бетоны, модифицированные нановолокнами AlOON и Al2O3. (129337, Москва, Ярославское ш., д.26).
34. T. Leutbecher, D. Hußsenberg, Oxide fiber reinforced glass: a challenge to new composites, *Adv. Eng. Mater.* 2 (2000) 93–99.
35. M. Guazzato, M. Albakry, S.P. Ringer, M.V. Swain, Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics, *Dent. Mater.* 20 (2004) 449–456.
36. L.L. Hench, Bioceramics: From concept to clinic, *J. Am. Ceram. Soc.* 74 (1991) 1487–1510.
37. J. Chevalier, What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 27 (2006) 535–543.
38. Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // Арматур строение. 2011. № 4 (73). С.55-614
39. Munz D., Fett T., Overview and Basic Properties, in: *Ceramics*, 1999 Springer, Berlin, Heidelberg, 1–7. DOI:10.1007/978-3-642-58407-7\_1.
40. Леонов А.А., Хасанов О.Л. Керамоматричный композит на основе диоксида циркония, армированный нановолокнами оксида алюминия // Третий Байкальский материаловедческий форум: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Ч.1., Улан-Удэ, 9-15 Июля 2018. - Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018 - С. 180-181.
41. Леонов А.А., Толкачёв О.С., Пайгин В.Д., Алишин Т.Р. Влияние нановолокон Al2O3 на физико-механические свойства композитов на основе ZrO2, полученных электроимпульсным плазменным спеканием // Новые материалы и перспективные технологии: сборник материалов пятого междисциплинарного научного форума с международным участием, в 2 т., г. Москва, 30 октября - 1 ноября 2019. - М: НПП "ИСИС", 2019 – Т.1. – С. 672-675.
42. Ali Ahmadi, Amir Ali Youzbashi, Ahmad Nozad Golikand et al. To evaluate the application of alkoxide sol-gel method in fabrication of 3YSZ-MWCNTs nanocomposites, in an attempt to improve its mechanical properties // *Journal of Nanomaterials*. – 2014. V. 2014. P. 867367. <https://doi.org/10.1155/2014/867367>

43. Hanzel O., Sedlacek J. and Sajgalik P. New approach for distribution of carbon nanotubes in alumina matrix // *Journal of the European Ceramic Society*, 2014. – V. 34. P. 1845-1851.
44. Shin J.H., Hong S.H. Microstructure and mechanical properties of single wall carbon nanotube reinforced yttria stabilized zirconia ceramics // *Materials Science and Engineering: A*, 2012. – V. 556. P. 382. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.07.001>
45. Леонов А.А. Получение композитных порошков ZrO<sub>2</sub>/ОУНТ и ZrO<sub>2</sub>/нановолокна Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // *Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Мая 2018.* - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – С. 90-91.
46. Leonov A. Effect of alumina nanofibers content on the microstructure and properties of ATZ composites fabricated by spark plasma sintering // *Materials Today: Proceedings*, 2019. V. 11, P. 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.12.108>
47. Leonov A.A. and Abdulmenova E.V. Alumina-based composites reinforced with single-walled carbon nanotubes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. V. 511, P. 12001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/511/1/012001>
48. Леонов А.А., Лю Х.Ц. Исследование размерных характеристик нанопорошка диоксида циркония // *Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 27-29 Ноября 2017.* - Томск: Изд-во ТПУ, 2017 - С. 72-73.
49. Leonov A.A., Khasanov A.O., Danchenko V.A. and Khasanov O.L. Spark plasma sintering of ceramic matrix composite based on alumina, reinforced by carbon nanotubes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, V. 286, P. 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/286/1/012034>.
50. Leonov A.A., Ivanov Yu.F., Kalashnikov M.P., Abdulmenova E.V., Paygin V.D. and Teresov A.D. Effect of electron beam irradiation on structural phase transformations of zirconia-based composite reinforced by alumina nanofibers and carbon nanotubes // *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, V. 1393, P. 012106. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1393/1/012106>
51. Leonov A.A., Dvilis E.S., Khasanov O.L., Paygin V.D., Kalashnikov M.P., Petukevich M.S. and Panina A.A. Ceramic composite based on zirconia reinforced by single-walled carbon nanotubes // *Nanotechnologies in Russia*, 2019, V. 14, P. 118-124. <https://doi.org/10.1134/S1995078019020095>
52. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
53. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).

54. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
55. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
56. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015)
57. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981)
58. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).
59. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
60. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989)
61. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003)
62. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (дата введения: 08.05.2017).
63. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).
64. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
65. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.)
66. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы (Дата введения 31 октября 1996 г. N 40.)
67. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. Изменения и дополнения N 1 к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03(Дата введения от 15 марта 2010 года N 20'0)
68. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 144 с
69. Куликов Г.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебник. – М.: МГУП, 2010. – 408 с

70. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (утв. 22.12.2017, с изменениями на 31.05.2018)
71. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (утв. 30.04.2003, с изменениями на 13.07.2017)
72. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"» от 10.07.2012 № 117-ФЗ.