

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование физико-механических свойств керамики на основе карбонитридов титана и циркония

УДК 666.3.017

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Ли Цзе		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ТПУ	Матренин С.В.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ТПУ	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ТПУ	Сечин А.И.	д.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Ваулина О.Ю.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП

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

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ О. Ю. Ваулина  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б81	Ли Цзе

Тема работы:

Исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе карбонитридов титана и циркония.

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 32-50/с от 01.02.2022
---	--------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29 мая 2022 года
--	------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования – керамика на основе карбонитридов титана и циркония. Изготовление керамических образцов осуществляется методом горячего прессования.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор</li> <li>2. Экспериментальная часть</li> <li>3. Результаты и обсуждение</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5. Социальная ответственность</li> <li>6. Заключение</li> <li>7. Список используемых источников</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности НИ</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Диаграмма Ганта</li> <li>4. Бюджет НИ</li> </ol>

	5. Основные показатели эффективности НИ
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В., к.т.н., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Сечин А.И., д.т.н., профессор ООД ШБИП
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:</b>	
1. Литературный обзор (русский язык)	
2. Экспериментальная часть (русский язык)	
3. Результаты и обсуждение (русский язык)	
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)	
5. Социальная ответственность (русский язык)	
6. Заключение (русский язык)	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ТПУ	Матренин С.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Ли Цзе		

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

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

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29 мая 2022 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2021	Литературный обзор	20
01.09.2021	Экспериментальная часть	20
30.03.2022	Результаты и обсуждение	20
25.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2022	Социальная ответственность	15
25.05.2022	Заключение	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ТПУ	Матренин С.В.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Ваулина О.Ю.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

Группа 154Б81	ФИО Ли Цзе
------------------	---------------

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

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

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

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

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

**Перечень графического материала**

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

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Ли Цзе		28.02.22

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 154Б81	<b>ФИО</b> Ли Цзе
-------------------------	----------------------

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

Тема ВКР:

**Исследование физико-механических свойств керамики на основе карбонитридов титана и циркония**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

**Введение**

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

*Объект исследования:* физические и механические свойства керамики на основе карбонитридов титана и циркония.  
*Область применения:* научные лаборатории.  
*Рабочая зона:* лаборатория ТПУ (ауд. 141 8 корпуса).  
*Размеры помещения:* 5\*8 м.  
*Количество и наименование оборудования рабочей зоны:* весы, компьютер, микроскоп ЛабоМет-И, наноиндентор, электропеч СНВЭ- 1.3.1/16.  
*Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:* анализ физико-механических свойств и определение элементного состава сплавов.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:**

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

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

**2. Производственная безопасность при эксплуатации:**

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

*Вредные производственные факторы:* шум на рабочем месте, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.  
*Опасные производственные факторы:* электрический ток.  
*Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:* противозумные наушники, вентиляция, кондиционирование воздуха, перчатки, респираторы.

**3. Экологическая безопасность при эксплуатации**

*Воздействие на селитебную зону:* при выполнении работ возникают шум, вибрация и другие вредные вещества. С учетом мероприятий по снижению вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека можно установить размеры ориентировочных санитарно-защитных зон: предприятия V класса — 50м.  
*Воздействие на литосферу:* неразлагаемые твердые металлические или пластиковые отходы, использованная наждачная бумага, макулатура, алмазные абразивы.  
*Воздействие на гидросферу:* сточные воды от оборудования для очистки лабораторий.  
*Воздействие на атмосферу:* испарение бензина было

	неизбежным во время пробоподготовки.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<i>Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: авария, взрыв, загрязнение атмосферы отравляющими веществами. Наиболее типичная ЧС: пожар в помещении лаборатории.</i>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б81	Ли Цзе		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 95 страниц, 27 рисунка, 39 таблицы, 35 источников.

Ключевые слова: структуры; физико-механические свойства; горячее прессование; наноиндентирование; карбонитриды титана и циркония

Объект исследования являются структурные, физические и механические свойства керамики на основе карбонитридов титана и циркония.

Целью работы является разработка полифункциональных керамических материалов нового поколения. В результате выполнения работы будут получены многокомпонентные керамические материалы и исследованы их физико-механические свойства.

Процесс исследования включает изучение различных технических свойств порошков, изучение процесса горячего прессования порошков и проведение наноиндентирования образцов.

В результате исследования методом горячего прессования были получены различные керамические образцы, были их физико-механические свойства.

Область применения: Авиакосмическая промышленность, радиоэлектроника, машиностроение, химическая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: Доказана высокая эффективность метода горячего прессования, среди нескольких групп образцов керамики разного состава выявлена лучшая группа показателей.

В будущем планируется исследовать другие физико-механические свойства керамических образцов.

## **Обозначения и сокращения**

НИ – Техника наноиндентирования

АСМ – Атомно-силовой микроскоп

СЗМ – Сканирующие зондовые микроскопы

ККМ – Керамические композиты

ГП – Горячее прессование

СО РАН – Сибирское отделение Российской академии наук

## Содержание

1 Литературный обзор.....	15
1.1 Свойства, получение и применения карбида и нитрида титана.....	15
1.2 Технология горячего прессования.....	24
1.3 Наноиндентирование.....	27
2 Экспериментальная часть.....	33
2.1 Исходные материалы, оборудовали и методики исследования.....	33
2.2 Подготовка исходного материала.....	36
2.3 Горячее прессование.....	37
2.4 Определение плотности керамических образцов.....	40
2.5 Наноиндентирование.....	42
3 Результаты и обсуждение.....	错误! 未定义书签。
3.1 Экспериментальные результаты определения насыпной плотности TiC и TiN.....	错误! 未定义书签。
3.2 Экспериментальные измерения различной керамики после горячего прессования.....	错误! 未定义书签。
3.3 Экспериментальные данные, полученные методом индентирования.....	错误! 未定义书签。
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	58
4.1.3 SWOT-анализ.....	59
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	63
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	63
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	64
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	67
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	67
4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	67
4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	69
4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
4.2.3.5 Накладные расходы.....	71
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	73
5 Социальная ответственность.....	错误! 未定义书签。
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	错误! 未定义书签。
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	错误! 未定义书签。
5.2 Производственная безопасность.....	错误! 未定义书签。
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	错误! 未定义书签。

5.2.1.1 Анализ показателей шума .....	错误! 未定义书签。
5. 2.1.2 Анализ показателей микроклимата .....	错误! 未定义书签。
5.2.1.3 Анализ электробезопасности .....	错误! 未定义书签。
5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны .....	错误! 未定义书签。
5.3 Экологическая безопасность .....	错误! 未定义书签。
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	错误! 未定义书签。
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	错误! 未定义书签。
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	错误! 未定义书签。

## ВВЕДЕНИЕ

Современная техника требует материалов с высоким уровнем эксплуатационных характеристик, в том числе стойкостью к агрессивным средам и износу, а также широким диапазоном рабочих температур. Карбид титана является перспективным материалом с высокими физико-химическими и механическими свойствами, такими как жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость, теплопроводность и электропроводность. Благодаря высокому уровню свойств карбид титана используется в химии, машиностроении, авиастроении, а также в режущих инструментах, абразивах, покрытиях и т.д. Нитрид титана представляет собой желто-коричневый материал, который в плотном состоянии имеет золотисто-желтый цвет. Порошок TiN обладает высокой твердостью, высокой температурой плавления, высокой химической стабильностью, высокой теплопроводностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Диссертационная работа посвящена производству композиционной керамики на основе карбонитридов титана и циркония. Армирующие компоненты керамики в виде волокон, тканей и вискероов позволили перейти к новому классу материалов — керамическим композитам (ККМ). Большим преимуществом керамических композитов является то, что механизмы их разрушения под нагрузкой отличаются от механизмов разрушения монолитных материалов, что привело к их растущему интересу и широкому спектру применения. В матрицу добавляют армирующие ингредиенты для улучшения прочностных свойств материала и снижения хрупкости керамики.

Целью работы является разработка полифункциональных керамических материалов нового поколения. В результате выполнения работы будут получены многокомпонентные керамические материалы и исследованы их физикомеханические свойства.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Свойства, получение и применения карбида и нитрида титана.

#### Свойства карбида титана

Карбид титана (TiC) представляет собой порошок стального серого цвета с металлическим блеском. Он тепло- и электропроводен, и его проводимость уменьшается с повышением температуры, поэтому он проявляет металлические свойства. Это очень твердое соединение с высокой температурой плавления, которое по твердости уступает только алмазу. Микротвёрдость составляет 2850 кг/мм<sup>2</sup> [1].

Кристаллическая структура TiC представляет собой квадратную кристаллическую систему типа NaCl с постоянной решетки  $a=4,173 \text{ \AA}$ . Плотность составляет 4,915 г/см<sup>3</sup>. Его плотность составляет 4,915 г/см<sup>3</sup> [2].

Таблица 1.1.1 – Основная информация о TiC [3]

Общие	
Систематическое наименование	Карбид титана
Химическая формула	TiC
Физические свойства	
Молярная масса	59,89 г/моль
Плотность	4,93 г/см <sup>3</sup>
Термические свойства	
Температура плавления	3260±150 °C
Температура кипения	4300 °C
Структура	
Кристаллическая структура	кубическая решетка (типа NaCl) параметр решетки 0.43270 нм

TiC, TiN и TiO имеют одинаковый тип решетки и одинаковые параметры, поэтому эти соединения могут образовывать непрерывный ряд твердых растворов друг с другом.

Соединения могут образовывать друг с другом серию непрерывных твердых растворов.

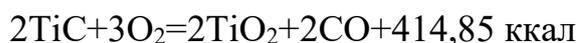
TiC постепенно обезуглероживается при нагревании в водороде до температуры более 1500 °С. TiC нагревается азотом при температуре 12 °С.

TiC реагирует с азотом при температуре выше 1200 °С с образованием смешанного карбонитрида титана Ti (C, N) переменного состава.

TiC медленно окисляется O<sub>2</sub> при 800 °С, но порошковый TiC сгорает в O<sub>2</sub> при 600 °С с образованием TiO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>.



Если он реагирует с O<sub>2</sub> при 1200 °С, образуются TiO<sub>2</sub> и CO.



TiC не взаимодействует с водой, но при температуре выше 700 °С он может взаимодействовать с водяным паром следующим образом:

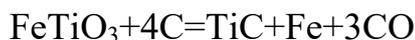


TiC не взаимодействует с CO, но реагирует с CO<sub>2</sub> при 1200 °С следующим образом:



TiC нерастворим в соляной кислоте и щелочи, но растворим в азотной кислоте и водной среде.

В промышленности карбид титана производится путем восстановления и плавки смеси ильменитового концентрата и углерода при температуре 1900-2000 °С следующим образом.



Поскольку восстановительная плавка проводится не в условиях изолированного воздуха, то фактически получается не чистый карбид, а соединение углерода и азота Ti (C, N) или оксид углерода и азота Ti (C, N, O). После дробления продукта карбонизации можно использовать электромагнитное обогащение для первого отделения Fe от TiC, а дальнейшее разделение производится путем выщелачивания Fe соляной кислотой. Когда TiC используется в качестве сырья для гидрогенизации с целью получения тетрахлорида титана, преимуществами являются низкая температура хлорирования (около 400 °С), быстрая скорость реакции, а также возможность

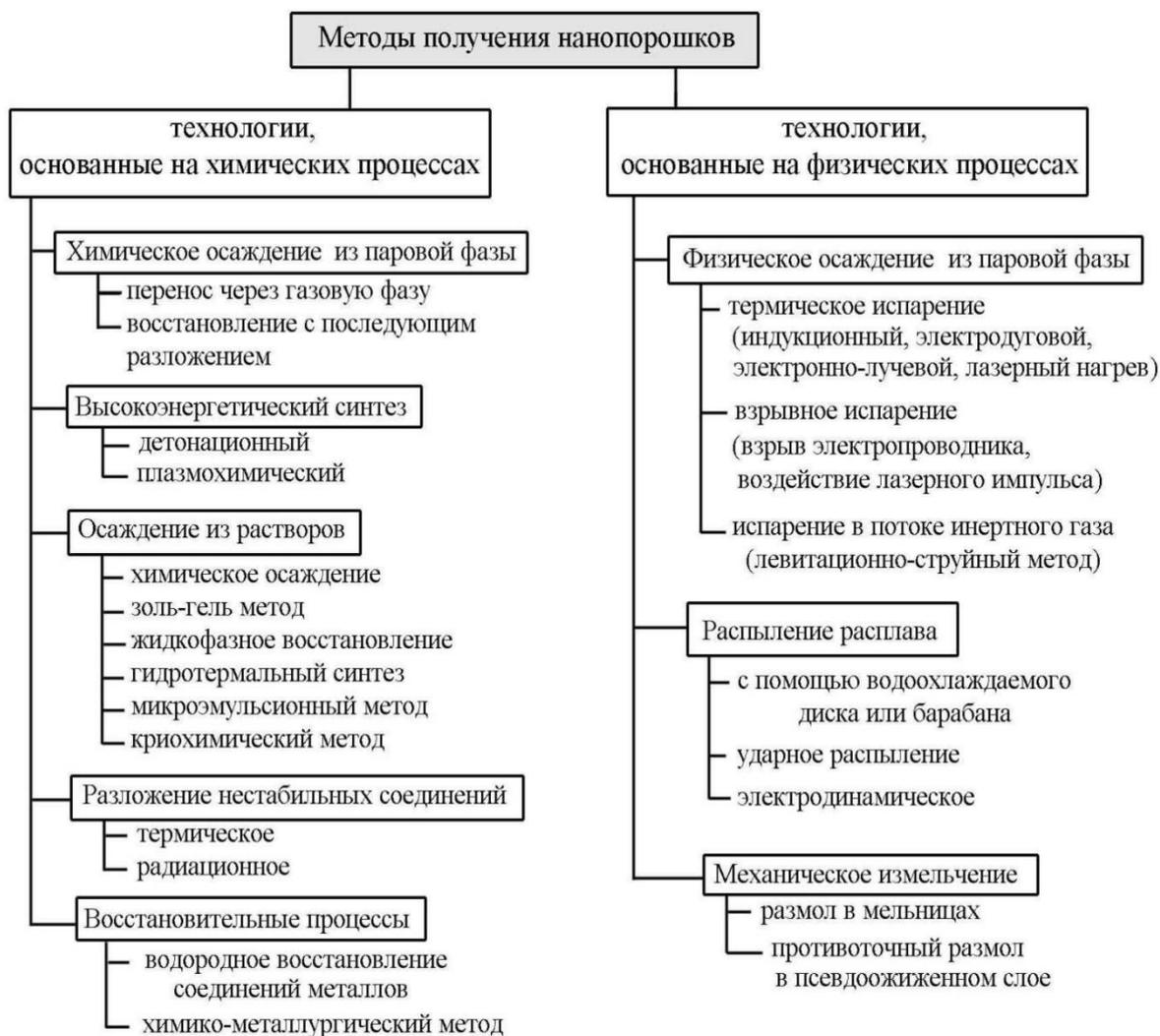
получения тетрахлорида титана. Процесс является сильно экзотермическим, и реакция может протекать в автотермическом режиме. Однако процесс производства карбида титана требует высокие температуры, высокое энергопотребление и сложный для непрерывной работы процесс. Отделение чугуна от твердого нитрида углерода Отделение чугуна от твердого нитрида углерода также является неполным [2].

### **Получение карбида титане**

Т. В. Носова и А. В. Калинин считают, что все методы получения нанопорошков можно разделить на две группы (рисунок 1). Первая группа химических процессов, вторая группа физических процессов. [4].

Одним из наиболее перспективных направлений получения нанодисперсных композиций на основе титана является метод плазмохимического синтеза. Схема установки приведена на рисунке 2. В качестве сырья используют порошок титана крупностью 0,3-0,5 мм. Источником углерода является природный газ. Благодаря высокой температуре плазмы (до 10000 К) и высокой скорости взаимодействия обеспечивается переход всех исходных частиц в газообразное состояние. Затем они взаимодействуют и агломерируют продукты в виде нанопорошков с частицами правильной формы размером от 10 до 200 нм.

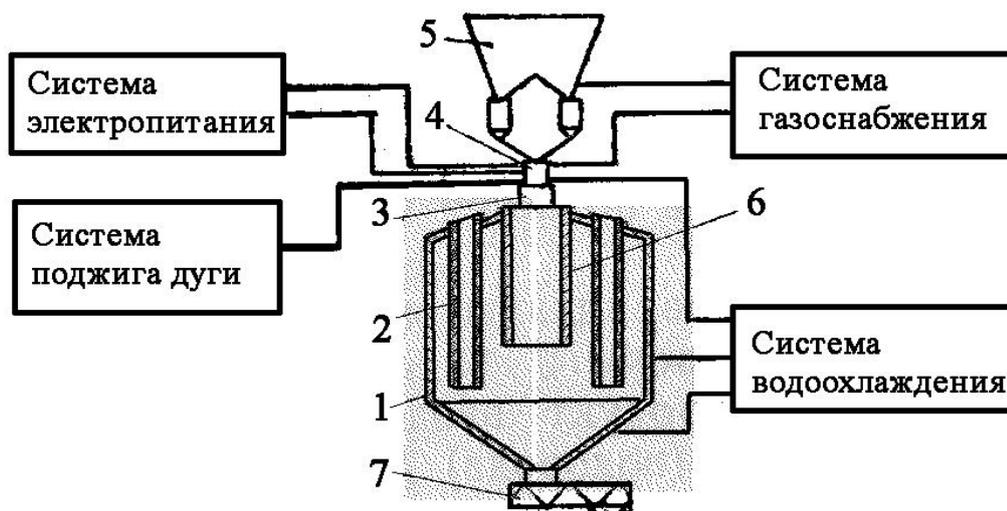
Источником энергии для генерации азотной плазмы является высокочастотный генератор ВЧИ 11-60/1.76. Рабочая частота 1,76 МГц. Напряжение питания 380 В. Температура потока азотной плазмы составляла 5800 К.



*Рисунок 1.1.1 – Основные методы получения нанопорошков [4]*

На указанной выше высокочастотной установке были получены нанопорошки TiC, TiN, Ti(C,N) с гранулометрическим составом 50-100 нм.

Нанопорошки, полученные этим методом, имеют правильную геометрическую форму и кристаллическую структуру в виде кубов и многогранников.



*1 – корпус установки, 2 – рукавные фильтры, 3 – реакционная камера, 4 – плазмотрон, 5 – устройство ввода продукта в плазменную струю, 6 – труба отжига порошка, 7 – разгрузочное устройство*

*Рисунок 1.1. 2 – Устройство для получения нанопорошков методом плазмохимического синтеза[4]*

## **Применение карбида титана**

В абразивной промышленности и производстве абразивных материалов абразив из карбида титана является идеальным материалом для замены традиционных абразивных материалов, таких как оксид алюминия, карбид кремния, карбид бора и оксид хрома. Абразивная способность карбида титана сравнима с абразивной способностью синтетического алмаза, что значительно снижает стоимость, и в настоящее время он широко используется в США, Японии и России. Абразивы, шлифовальные круги и шлифовальные пасты могут значительно повысить эффективность шлифования, точность шлифования и качество обработки поверхности [5].

Порошок карбида титана используется в порошковой металлургии для производства керамики и деталей твердой металлургии, таких как пленка для волочения проволоки, карбидные формы и т.д.

## Свойства нитрида титана

Нитрид титана (TiN) меняет свой цвет в зависимости от состава и степени дисперсности меняется с ярко-коричневого на медный цвет. Как и TiC, TiN очень твердый (микротвёрдость 2160 кг/мм<sup>2</sup>), имеет высокую температуру плавления и обладает металлическими свойствами (металлический блеск, электропроводность) [2].

Кристаллическая структура TiN представляет собой квадратную кристаллическую систему типа NaCl с постоянной решетки  $a = 4,234 \text{ \AA}$ . Плотность составляет 5,44 г/см<sup>3</sup> [2].

Чистый нитрид титана производится при температуре 800-1000 °C с помощью N<sub>2</sub>, действующего на титановый порошок или в аммиаке.

(NH<sub>3</sub>) газового потока для нагрева TiCl<sub>4</sub>, получаемого в виде.



При комнатной температуре TiN невидим. При нагревании в вакууме он частично разлагается с образованием сублиматов, содержащих меньше азота, чем TiN, который не взаимодействует с водородом. Он горит в кислороде, реакция протекает быстрее при температуре 1200 °C и начинает реагировать выше 1200 °C в соответствии со следующим уравнением реакции.

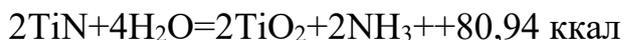


При прокаливании TiN в кислороде на поверхности образуется белый TiO<sub>2</sub>, но через некоторое время белый цвет постепенно исчезает и поверхность TiN становится черной, что связано с образованием сложного кислородсодержащего твердого раствора Ti (N, O).

TiN и хлор при нагревании приводят к образованию TiCl<sub>4</sub>:



TiN не действует на холодную воду, но на горячем водяном паре происходит следующая реакция.



TiN критичен к разбавленным кислотам (кроме HNO<sub>3</sub>). Он растворим в плавиковой кислоте при наличии сильного окислителя. TiN растворим в концентрированной серной кислоте при нагревании.

Таблица 1.1.2 – Информация TiN [6]

Общие	
Систематическое наименование	мононитрид титана
Традиционные названия	нитрид титана
Химическая формула	TiN
Физические свойства	
Состояние	твёрдое
Молярная масса	61,874 г/моль
Плотность	5,44 г/см <sup>3</sup>
Термические свойства	
Температура плавления	2930 °С
Молярная теплоёмкость	37,12 Дж/(моль·К)
Теплопроводность	41,8 Вт/(м·К)
Тепловой эффект химической реакции	-338,1 кДж/моль

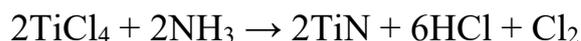
### Получение нитрида титана

Нитрид титана можно получить следующими способами. [6].

*Титан напрямую насыщается азотом:*

Процесс азотирования обычно проводят в азоте или диссоциированном аммиаке при температуре выше 1100 °С. Поэтому титан используется в виде порошка.

Четыреххлористый титан взаимодействует с азотно-водородной смесью, при этом протекают следующие реакции:



при температурах выше 1000°С.

Образовавшийся нитрид титана можно наносить на вольфрамовую проволоку, нагретую до 2000 °С;

*Разложение хлорида аминотитана:*



Промежуточный продукт  $\text{TiNCl}$  образуется после разложения хлорида аминотитана. Нагрев промежуточных продуктов до  $1000^\circ\text{C}$  образует не содержащий хлора нитрид титана.

*Восстановлением оксида титана углеродом в азотной атмосфере:*

В основе процесса лежит реакция:



Этот метод очень удобен для получения большого количества чистого нитрида титана для промышленного производства и использования его для изготовления огнеупорных материалов.

### **Применение нитрида титана**

Нитрид титана ( $\text{TiN}$ ) является довольно стабильным соединением, которое не вступает в реакцию с металлами, такими как железо, хром, кальций и магний, при высоких температурах. Тигли  $\text{TiN}$  также не работают с кислотным шлаком и основным шлаком в атмосфере  $\text{CO}$  и  $\text{N}_2$ , поэтому  $\text{TiN}$  Тигель — отличная емкость для изучения взаимодействия стальной жидкости с некоторыми элементами.

$\text{TiN}$  представляет собой конструкционный материал с золотисто-желтым цветом, высокой температурой плавления, высокой твердостью, хорошей химической стабильностью, небольшим смачиванием металлом, высокой электропроводностью и сверхпроводимостью. Он может использоваться в высокотемпературных конструкционных материалах и сверхпроводящих материалах, нанометрах. инструменты, твердый сплав, высокотемпературные керамические проводящие материалы.

Нитрид титана ( $\text{TiN}$ ), как новый тип многофункционального керметного материала, обладает превосходными свойствами, такими как высокая температура плавления, высокая твердость, износостойкость, хорошая химическая стабильность, электрическая и теплопроводность и хорошие оптические свойства. Его температура плавления составляет  $2930\sim 2950^\circ\text{C}$ , он является хорошим проводником тепла и электричества, обладает

сверхпроводимостью при низких температурах. Это материал для изготовления реактивных двигателей. С развитием и прорывом науки и техники он играет разные роли. во многих областях. Уникальный золотой металлический блеск делает нитрид титана также полезным в области украшения заменителей золота.[6].

## 1.2 Технология горячего прессования

Композиционные материалы (КМ) состоят из двух широких категорий: а) Композиты с полимерной матрицей б) Композиты с металлической или керамической матрицей. Первый тип композиционного материала основан на термопластичных или термореактивных полимерах. Второй тип композиционного материала основан на алюминии, магнии, титане, никеле, карбиде или нитриде кремния.

Более подробно рассмотрены технические параметры процесса прямого термопрессования, а также конструкция, возможности и область применения прессов прямого термопрессования для производства композитов на основе металлов и металлокерамических матриц.

Рекомендуемые технические параметры процесса горячего прессования для производства металлокерамических композитных материалов [7]:

- 1) прижимное давление превышает 55,0 МПа.
- 2) скорость набора температуры не более 5,0 °С/мин до температуры 300,0 °С и не более 30,0 °С/мин до конечной температуры обработки. На начальном этапе обработки возможно присутствие органических примесей, поэтому рекомендуется проводить медленный нагрев и выдержку при температуре 300,0 °С.
- 3) температуры выдержки в диапазоне 1300,0 °С – 2000,0 °С в зависимости от состава. Температура выдержки выбирается на основании данных о температуре плавления вещества матрицы. Температура выдержки должна быть на 100,0 °С – 150,0 °С меньше температуры плавления компонента с минимальной температурой плавления.
- 4) время выдержки 120 минут при давлении и максимальной температуре.
- 5) рабочая среда - инертный газ, вакуум, водород, выбор конкретной рабочей среды зависит от веществ, входящих в состав композиционного материала. Наш самый распространенный метод – горячее прессование в аргоне или вакууме.

Например, можно рассмотреть производство композитов карбид титана ТС-графит.

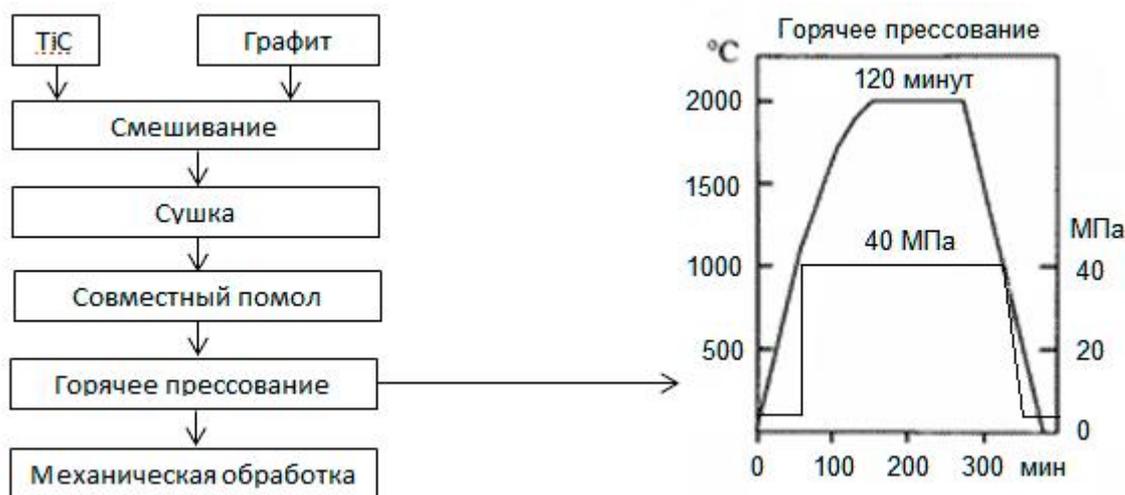


Рисунок 1.2.1 – Схема процесса производства композитов на основе карбида титана ТС - графит[7]

Это разные этапы процесса производства композита, и он применяется ко всем композитам с металлической или керамической матрицей с типичным профилем процесса горячего прессования.

Высокопрочные металлокерамические композиты могут быть получены прямым прессованием таких включений, как борид титана, графит, кремния нитрид, Al.

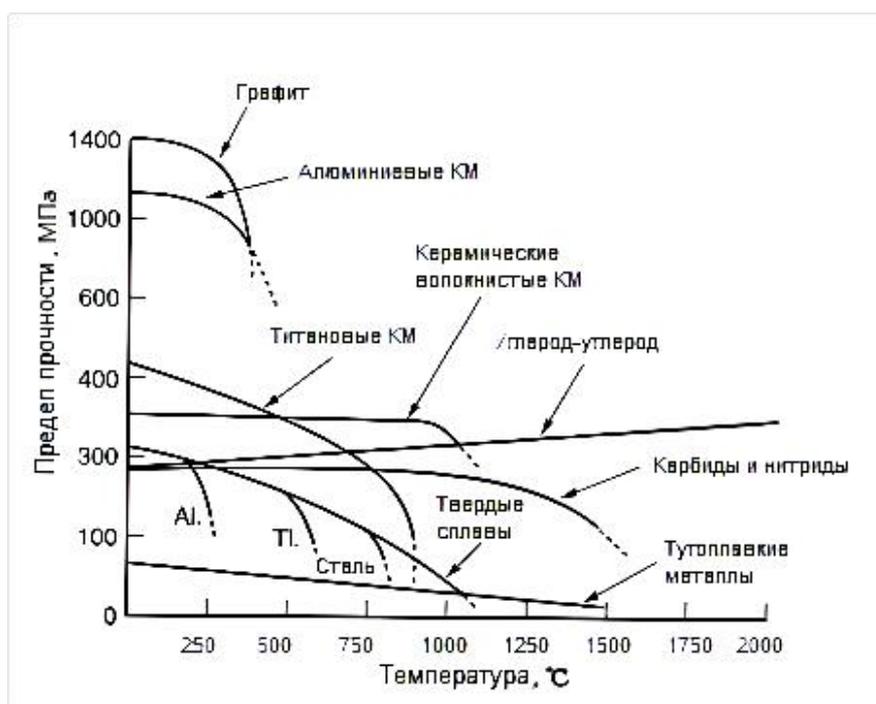
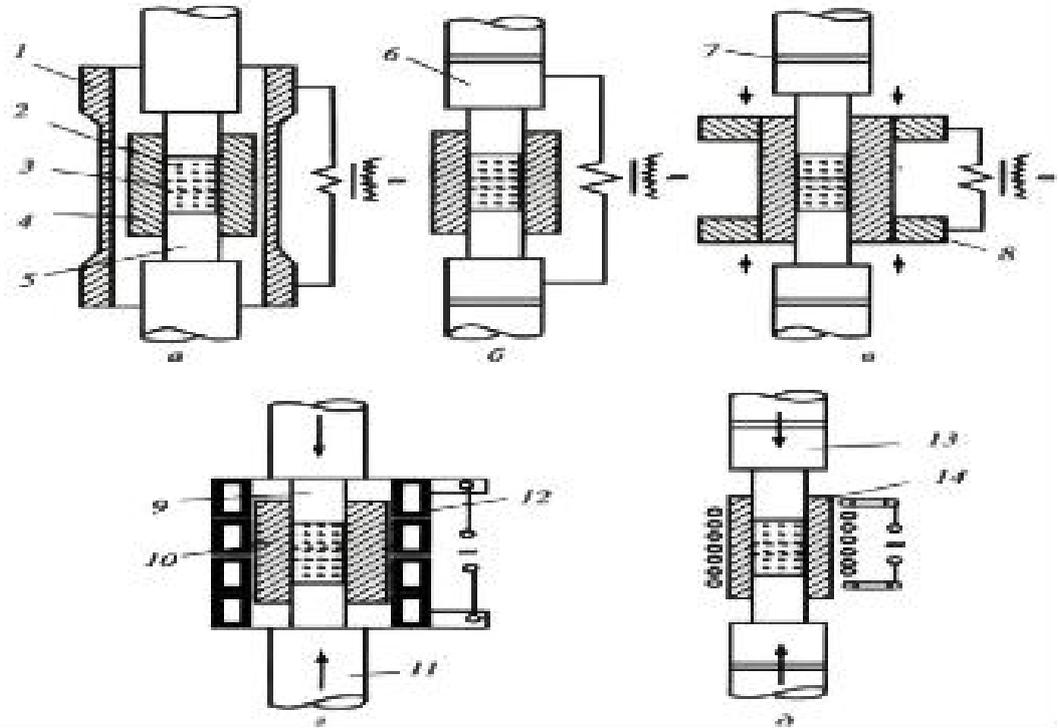


Рисунок 1.2.2 – Результаты испытаний «предел прочности - температура» [7]

На следующем рисунке показаны различные методы горячего прессования.



*а – косвенный нагрев сопротивлением;*

*б – прямой нагрев сопротивлением при подводе тока к пуансонам;*

*в – прямой нагрев сопротивлением при подводе тока к матрице;*

*г – индукционный нагрев токопроводящей (графитовой) матрицы;*

*д – индукционный нагрев порошка в нетокопроводящей пресс-форме.*

*1 – нагреватель, 2 – порошок, 3 – спеченное изделие, 4 – матрица, 5,6 – пуансоны, 7 – изоляция, 8 – графитовый или медный контакт, 9 – графитовый пуансон, 10 – графитовая матрица, 11 – керамика, 12 – индуктор, 13 – керамический пуансон, 14 – керамическая матрица.*

*Рисунок 1.2.3 — Устройство для совмещения горячего прессования с двух сторон пресс-формы.*

### 1.3 Наноиндентирование

Существует множество современных методов исследования механических свойств материалов на нанометровом уровне, одним из которых является наноиндентирование или индентирование.

Он заключается в прецизионном нагружении плоской поверхности образца индентором с одновременной регистрацией усилия внедрения  $P$  и глубины внедрения  $h$ , что позволяет локализовать деформацию в субмикронной области исследуемого материала ( Рисунок 1.3.1 ). По вдавливанию можно определить модуль упругости и нанотвердость поверхности образца [8].

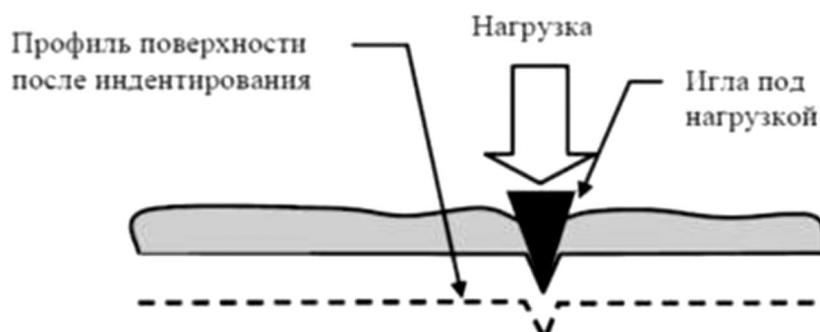


Рисунок 1.3.1 – Механизм образования вдавливания

Индентирование осуществляется путем вдавливания индентора в исследуемый образец. Образец имеет известные механические свойства - форму, модуль упругости и т. д. На него действует заданная сила.

Затем мы можем изучить форму и размер точки контакта или выбрать построение кривой зависимости положения индентора от нагрузки.

Модуль упругости определяли путем построения диаграммы нагрузка/имплантация. Наклон кривой при разгрузке определяется модулем упругости материала. Однако из-за возрастающего влияния поверхностных эффектов на наномасштабе влияние зоны пластичности и когезии вершины индентора в настоящее время нельзя полностью учесть. Благодаря высокой прочности индентора и системы его крепления и отсутствию эффектов, связанных с прогибом кантилевера, а также отсутствию эффектов, связанных с

прогибом кантилевера, таких как АСМ или СЗМ [8]. Качественные кривые нагружения-разгрузки могут быть получены с помощью специальных установок наноиндентирования.

Для определения пластических и реологических свойств материалов при вдавливании. Нам необходимо фиксировать кривые нагрузка/внедрение, а также измерить зависимость этих параметров от времени.

В технике наноиндентирования (далее НИ) используются различные формы инденторов – в виде цилиндра с плоским торцом, пирамиды, сферы, конуса. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Чаще всего мы используем алмазный индентор Берковича (трехгранная пирамида). Он позволяет избежать проблемы сведения четырех граней в одну точку и получить радиус закругления вершины менее 100 нм.



*Рисунок 1.3.2 – Nano Indenter G200*

Принцип работы оборудования при индентировании заключается в следующем. Острие индентора располагается перпендикулярно поверхности образца и вдавливается в нее приложением возрастающей нагрузки до заданной величины. Удерживайте максимальную нагрузку в течение определенного

времени, а затем снизьте нагрузку. В этом случае часть спрессованного материала под индентором возвращается в исходное состояние.

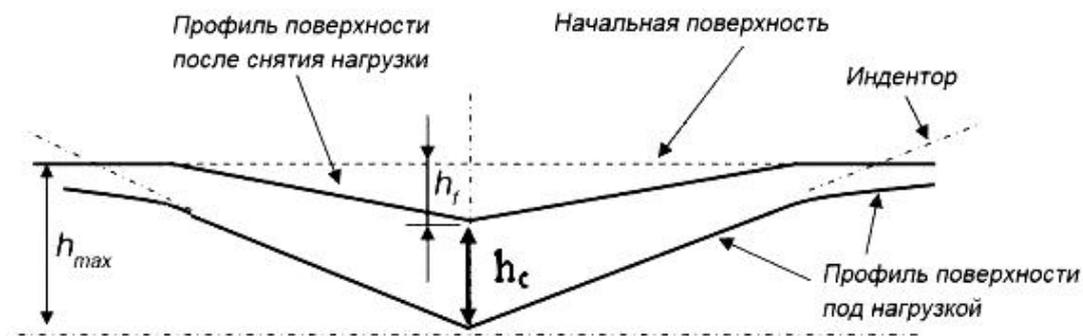


Рисунок 1.3.3 –  $h_{max}$  – максимальная глубина отпечатка при максимальной нагрузке  $P_{max}$ ,  $h_f$  – глубина проникновения индентора после снятия нагрузки,  $h_c$  – контактная глубина отпечатка при максимальной нагрузке на индентор.

Таким образом, материал испытывает упругопластическую деформацию, т.е. испытуемый материал деформируется (сжимается) подобно пластилину под воздействием индентора, однако в конце фазы деформации наблюдается частичное восстановление формы материала - упругое восстановление ( Рисунок 1.3.3 ).

По результатам данных индентирования, полученных после эксперимента, была установлена так называемая  $P$ - $h$ -диаграмма ( Рисунок 1.3.4 ) (Схема нагружения и разгрузки образца).

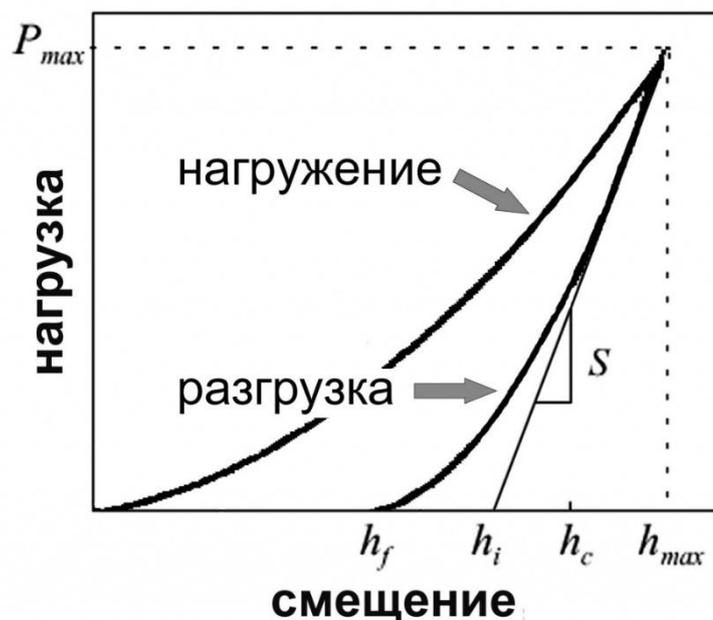


Рисунок 1.3.4 – Схема нагружения и разгрузки образца

### Методика Оливера-Фарра

Суть метода заключается в аппроксимации начального участка кривой разгрузки степенной функцией [9]:

$$P_{max} = B(h - h_f)^m,$$

где  $P_{max}$  — максимальная нагрузка,

$h$  — глубина проникновения индентора,

$h_f$  — глубина проникновения индентора после снятия нагрузки,

$B$  и  $m$  — эмпирически определяемые параметры.

Наклон начальной фазы кривой разгрузки определяет жесткость материала:

$$S = \left( \frac{dP}{dh} \right)_{h=h_{max}} = mB(h_{max} - h_f)^{m-1}.$$

Глубина проникновения индентора  $h_c$  при которой отпечаток повторяет форму алмазной пирамиды определяется из графика нагружение - разгрузка по формуле [11]:

$$h_c = h_{max} - \varepsilon \frac{P_{max}}{S},$$

где  $h_{max}$  — максимальная глубина проникновения индентора,  $\varepsilon = 0,75$  для пирамиды Берковича.  $H$  и  $E$  рассчитываются по формулам:

$$H = \frac{P_{max}}{A},$$

$$E_{eff} = \frac{s\sqrt{\pi}}{2\beta\sqrt{A}},$$

$$\frac{1}{E_{eff}} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i},$$

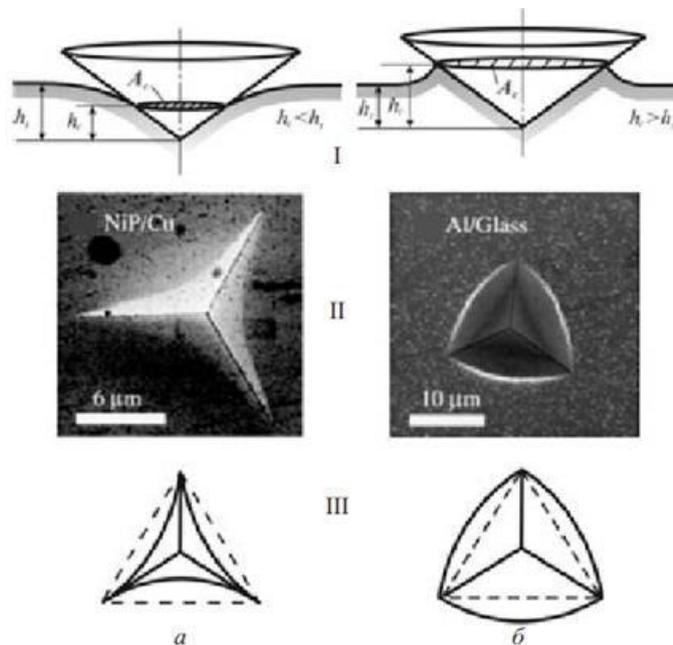
где  $\nu$  — коэффициент Пуассона покрытия,

$\beta = 1,034$  для пирамиды Берковича,

$A$  — площадь проекции отпечатка, определяемая максимальной глубиной внедрения индентора  $h_{max}$ .

Для алмазного индентора коэффициент Пуассона  $\nu_i$  и модуль упругости  $E_i$  равны 0,07 и 1141ГПа, соответственно.

*Образование навалов и провалов* [10]. При НИ некоторых материалов может возникнуть искажение геометрии. При введении индентора в твердые материалы стороны вдавливания деформируются утолщениями внутрь, а у мягких материалов - утолщениями наружу. (Рисунок 1.3.5)



*I* – сечения вдоль оси индентора; *II* – реальные отпечатки в пленках; *III* – схемы отпечатков на видах сверху (штриховые линии – проекции индентора на искаженную поверхность образца).

*Рисунок 1.3.5 – Тип отпечатка (а) с поверхностной упругой деформацией и пластическим блоком вокруг отпечатка (б):*

Т.к. отсчет смещения индентора ведется от уровня поверхности образца, то в случае (а) – образование желобков (провалов), это приводит к завышению, а во втором случае (б) – к занижению регистрируемой глубины отпечатка с реальной.

*Шероховатость поверхности.* На результаты наноиндентирования оказывает влияние шероховатость исследуемой поверхности. Чем меньше шероховатость поверхности, тем выше твердость материала (Рисунок 1.3.6).

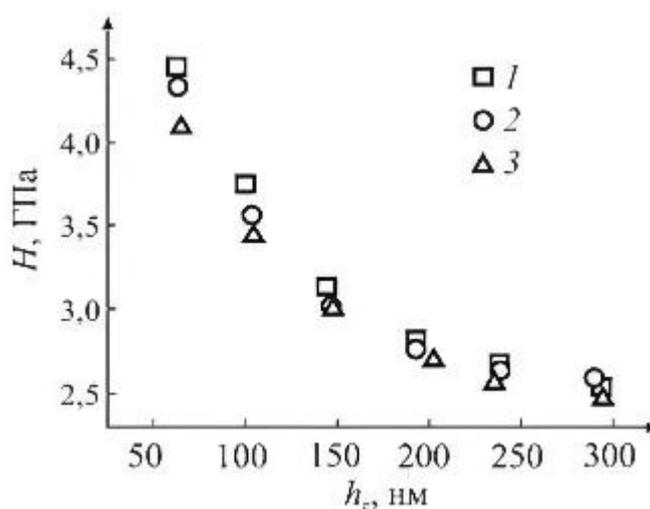


Рисунок 1.3.6 – зависимость твердости никеля от степени шероховатости поверхности, полученной полированием суспензией  $Al_2O_3$  при разной контактной глубине: размеры частиц  $Al_2O_3$  составляют 0,05(1), 1,0(2) и 5 мкм (3)

Для снижения ее роли в измерениях используется очевидный прием: усреднение результатов по большому количеству отдельных тестов, проведенных в эквивалентных условиях.

## 2 Экспериментальная часть

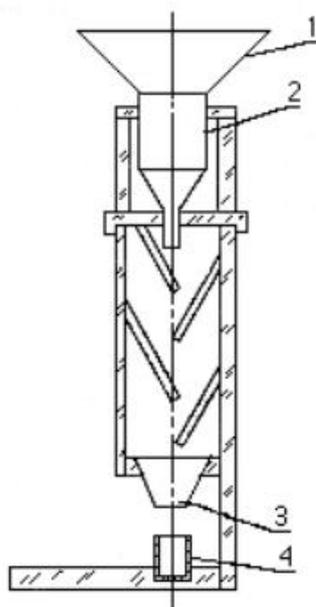
### 2.1 Исходные материалы, оборудовали и методики исследования

#### *Определение насыпной плотности TiC и TiN.*

*Краткое теоретическое введение:*

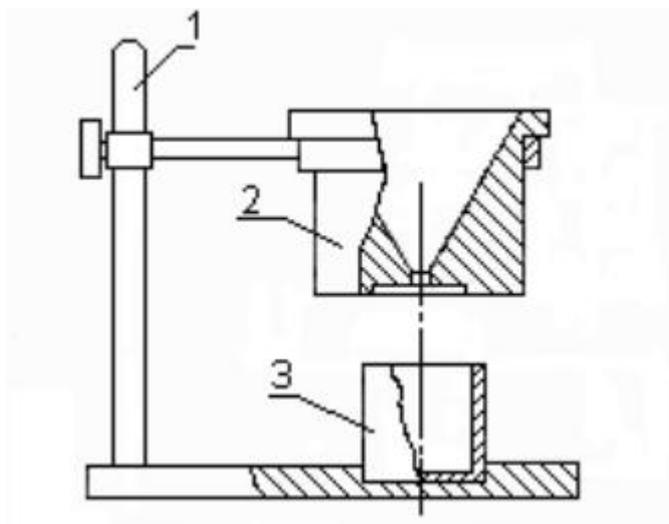
Насыпной плотностью порошка называется плотность свободнонасыпанного порошка. Плотность укладки частиц порошка в объеме зависит от дисперсности, формы и удельной поверхности частиц[7].

Насыпная плотность определяется с помощью прибора, называемого волюмометром рисунок 2.1.1.



*1 – большая приемная воронка, 2 – малая воронка, 3 – торец воронки, 4 – мерный стакан*

*Рисунок 2.1.1 – Схема волюмометра*



1 – Штатив 2 – Стандартная воронка 3 – Мерный стакан

Рисунок 2.1.2 – Прибор для определения насыпной плотности

*Методики исследования:*

Соберите плотномер в соответствии с рисунком 2.1.2 и действуйте в соответствии с соответствующими стандартными экспериментальными процедурами, чтобы получить мерный стакан, наполненный порошком, и измерьте порошок в мерном стакане с помощью весов.

Рассчитайте массу порошка по формуле:

$$m = m_2 - m_1,$$

где  $m_2$  – масса стакана с порошком, г;

$m_1$  – масса пустого стакана, г.

Рассчитывают насыпную плотность порошков при исследовании по следующей формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = m/25.$$

Для каждого исследуемого порошка было проведено 5 испытаний, для определения насыпной плотности использовалось среднее арифметическое:

$$\rho_{\text{нас ср}} = (\rho_{\text{нас 1}} + \rho_{\text{нас 2}} + \rho_{\text{нас 3}} + \rho_{\text{нас 4}} + \rho_{\text{нас 5}}) / 5, \text{ г/см}^3.$$

Выводы представить в виде таблицы.

Результаты анализа записать в таблицу 3.1.1.

### ***Определение гранулометрического состава порошков TiC и TiN***

*Оборудование и материалы:* комплект сит, виброустановка, весы, порошки TiC и TiN.

*Краткое теоретическое введение:*

Размер частиц порошка является важной характеристикой. Размер частиц, включается в качестве обязательного требования в спецификации порошков [7].

Результаты анализа записать в таблицу 3.1.2.

Для каждого порошка требуется ситовой анализ для получения среднего арифметического гранулометрического состава порошка.

Результаты исследования представлены в виде таблицы 3.1.2 и в виде графиков распределения размера частиц (Рисунок 3.1.1 и Рисунок 3.1.2).

## 2.2 Подготовка исходного материала

В работе использовали промышленный порошок карбида циркония, который представляет собой фазу внедрения с широкой областью гомогенности, которая составляет от 38,4 до 50 ат. % углерода, что отвечает формуле  $ZrC_{0,62}$  и  $ZrC_{1,0}$  соответственно.

Обработанные в планетарной мельнице порошковые смеси консолидировали с использованием метода горячего прессования (ГП) в графитовой пресс-форме в атмосфере аргона в Институте Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН). Метод ГП является эффективной технологией, позволяющей получать высокоплотные тугоплавкие материалы с высокими физико-механическими характеристиками.

### *Приготовление порошков*

На заранее подготовленные весы необходимо положить лист бумаги, предварительно вычех вес, далее в экспериментальных целях были получены следующие пять групп образцов:

Таблица 2.2.1 Множественные композиции образцов

№	1	2	3	4	5	6
Состав образцов	100% TiN	100% TiC	80% TiC и 20% TiN	50% TiC и 50% TiN	20% TiC и 80% TiN	50% ZrC и 50% ZrN

### *Смешивание порошков*

По очереди смешивание каждой группы образцов порошка в бензине, процесс длится 5 минут, для того чтобы хорошо смешались твердые порошки образцов.

### *Сушение*

Образцы оставляют в сухом месте на 48 часов для полного испарения бензина.

### *Совместный помол*

Высушенные образцы порошка тщательно измельчаются в течение 10 минут.

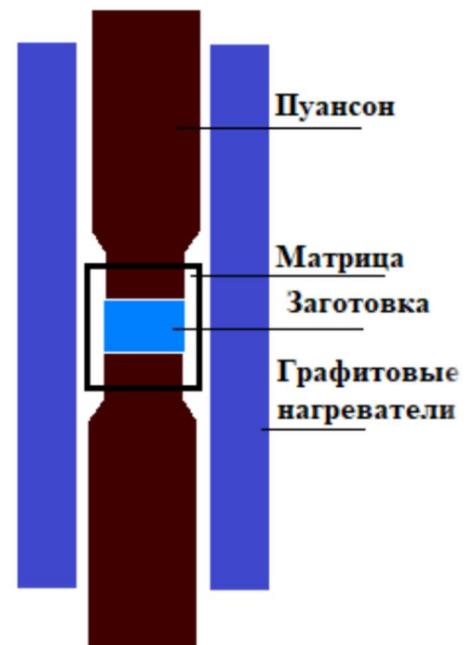
## 2.3 Горячее прессование

Технические параметры процесса горячего прессования:

- 1) давление прессования 35 МПа.
- 2) скорость линейного изменения не превышает 5 °С/мин до температуры 300 °С и не превышает 30 °С/мин до конечной температуры.
- 3) температуры выдержки 1800 °С.
- 4) время выдержки под давлением и максимальной температурой 20 минут.
- 5) рабочая среда - инертный газ (Ar).



а



б

а – общий вид; б – схема

Рисунок 2.3.1 –Пресс горячего прессования HP20-3560-20 (Thermal technology)

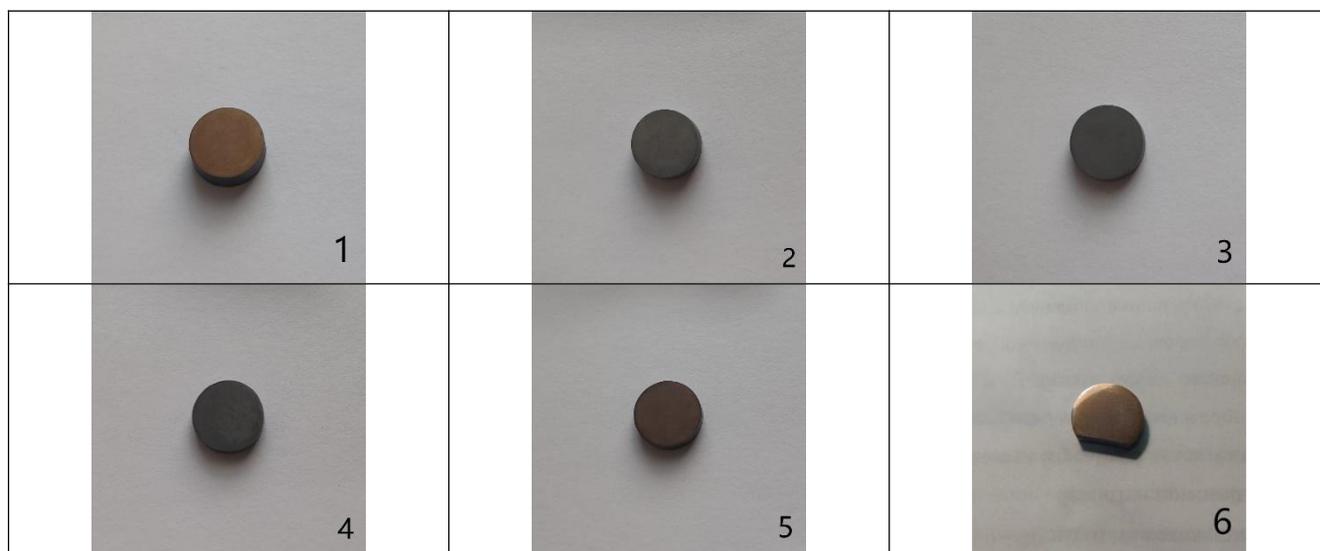
Печь горячего прессования (рисунок 2.3.1а) предназначена для получения плотных керамических заготовок путем одновременного приложения давления и температуры.

Прессформа для прессы горячего прессования показана на рисунке 2.3.1б. Матрица состоит из двух графитовых пуансонов и графитовой основы. Образец в форме таблетки помещают между пуансонами. Для защиты графитовой матрицы от избытка спекающих добавок образцы были обернуты в защитный графитовый слой.

Для получения керамики проводят горячее прессование в атмосфере аргона, нагрев происходит на графитовом нагревателе.

Таблица 2.3.1 Режимы горячего прессования

Состав порошка	Давление прессования, МПа	Время изотермической выдержки, мин	Температура спекания, °С
100%TiN	35	20	1800
100% TiC	35	20	1800
80% TiC – 20% TiN	35	20	1800
50% TiC – 50% TiN	35	20	1800
20% TiC – 80% TiN	35	20	1800
50% ZrC – 50% ZrN	40	20	2000



1 – 100% TiN, 2 – 100% TiC, 3 – 20% TiN - 80% TiC,  
4 – 50% TiN - 50% TiC, 5 – 80% TiN - 20% TiC, 6 – 50% ZrN - 50% ZrC

Рисунок 2.3.3 – Керамические образцы различных компонентов после горячего прессования

Главными достоинствами метода являются высокие прочностные характеристики получаемых изделий и сокращение времени процесса благодаря объединению процессов спекания и прессования [12, 13].

## 2.4 Определение плотности керамических образцов.

Оборудование и материалы: штангенциркуль, весы, образцы горячепрессованной керамики.

Методики исследования:

Диаметр  $d$  и высоту  $h$  горячепрессованного керамического образца измеряли штангенциркулем несколько раз, записывали данные и вычисляли среднее значение.

Затем используйте формулу объема для расчета объема керамического образца:

$$V = \frac{\pi d^4}{4} \cdot h ,$$

где:  $d$  – диаметр нижнего круга керамического образца;

$h$  – высокие керамические образцы.

Массу керамического образца измеряют с помощью весов для получения конкретных значений.

Плотность равна отношению массы объекта к его объему, плотность горячепрессованного керамического образца можно получить по следующей формуле:

$$\rho_{ГП} = \frac{m}{V_{ГП}} ,$$

где:  $m$  – масса для керамического образца;

$V_{ГП}$  – объем образцов горячепрессованной керамики.

Выводы представить в виде таблицы. Конкретные данные см. в таблице 3.3.

После горячего прессования плотность керамики часто отличается от теоретического значения, поэтому изучение изменения плотности керамики также является очень важным процессом.

Поиск в Интернете дал следующие данные:

Теоретическая плотность TiC:  $\rho_{теор}^{TiC} = 4,93 \text{ г/см}^3$ .

Теоретическая плотность TiN:  $\rho_{теор}^{TiN} = 5,4 \text{ г/см}^3$ .

Теоретическая плотность смешанных компонентов определяется по формуле :

$$\rho_{теор} = \frac{\rho_{теор}^{TiC} \cdot \rho_{теор}^{TiN}}{x\rho_{теор}^{TiC} + y\rho_{теор}^{TiN}},$$

где: x – массовая доля TiC в керамическом образце;

y – массовая доля TiN в керамическом образце.

Отношение плотности к теоретической плотности керамического образца после горячего прессования рассчитывают по следующей формуле:

$$\theta = \frac{\rho_{гп}}{\rho_{теор}} \times 100\%,$$

где:  $\rho_{гп}$  – плотность после горячего прессования;

$\rho_{теор}$  – теоретическая плотность.

Подробные экспериментальные результаты представлены в таблице 3.4 и на рисунке 3.3.

## 2.5 Наноиндентирование

Оборудование и материалы: Nano Indenter G 200 (Рисунок 2.5.1), Алмазная паста, Образцы горячепрессованной керамики.



Рисунок 2.5.1 – Nano Indenter G 200

Методики исследования:

Во-первых, предварительная обработка образца завершается после полировки поверхности керамического образца алмазной пастой.

Далее выполнялась операция вдавливания на установке Nano Indenter G 200 с использованием в качестве индентора пирамиды Берковича с нагрузкой 500 мН (50 г) и отображение карты проникновения индентора в режиме реального времени на монитор. Наиболее важные данные, которые мы получаем, это нагрузка на индентор и глубина проникновения.

Компьютер, подключенный к установке Nano Indenter G 200 в соответствии с ISO 14577, может автоматически рассчитывать модуль упругости  $E_{IT}$  и микротвердость  $H_{IT}$ .

Выводы представить в виде таблиц и рисунков.

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

### **Введение**

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

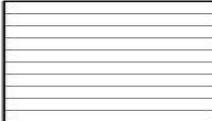
Цель данной ВКР является разработка метода синтеза керамических материалов на основе карбонитридов титана и циркония. Для достижения массового производства керамических материалов необходимо найти оптимальный метод синтеза, повысить эффективность производства и сэкономить затраты.

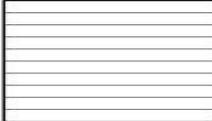
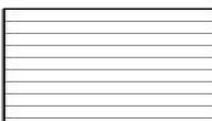
### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

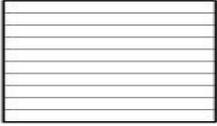
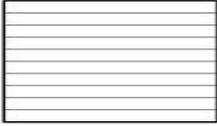
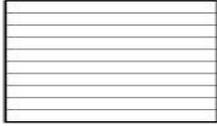
Для выявления потенциальных потребителей результатов исследования критериев построена карта сегментирования рынка (Таблица 4.1).

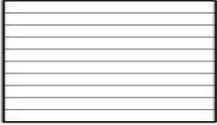
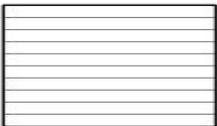
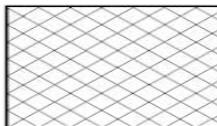
Таблица 4.1 – Карта сегментации рынка

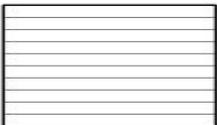
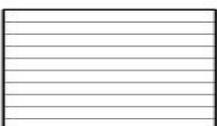
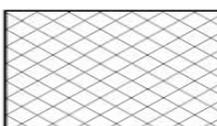
		<b>Сфера</b>		
		<i>Медицинская</i>	<i>Аэрокосмическая</i>	<i>Машиностроительная</i>
<b>Группа потребителей</b>	<i>Исследователи, учёные (вузы, НИИ, лаборатории)</i>			
	<i>Производители, изготовители (предприятия)</i>			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

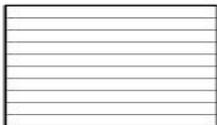
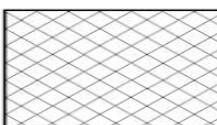
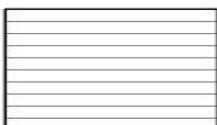
		<b>Вид производства</b>		
		<i>Медицинская</i>	<i>Аэрокосмическая</i>	<i>Машиностроительная</i>
<b>Размер предприятий</b>	<i>Крупные</i>			
	<i>Средние</i>			
	<i>Мелкие</i>			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

		<b>Среда</b>		
		<i>Вода</i>	<i>Воздух</i>	<i>Безвоздушное пространство</i>
<b>Потребители</b>	<i>Фирмы, компании</i>			
	<i>Лаборатории, вузы</i>			

	<i>Обычные люди</i>			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

		<b>Объекты исследования</b>		
		<i>Полупроводники</i>	<i>Полимеры</i>	<i>Нanomатериалы</i>
<b>Сфера применения</b>	<i>Промышленность</i>			
	<i>Наука</i>			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

		<b>Секторы экономики</b>		
		<i>Сфера услуг</i>	<i>Строительство</i>	<i>Лесоводство</i>
<b>Вид собственности</b>	<i>Государственная</i>			
	<i>Частная</i>			
		 Маленький спрос	 Средний спрос	 Высокий спрос

		<b>Цели применения</b>		
		<i>Исследования</i>	<i>Производство</i>	<i>Бытовое использование</i>
<b>Территория</b>	<i>Европа</i>			
	<i>Азия</i>			

	<i>Америка</i>			
	<i>Африка</i>			
		Маленький спрос	Средний спрос	Высокий спрос

		<b>Область применения</b>		
		<i>Производство</i>	<i>Исследование</i>	<i>Услуги</i>
<b>Потребители</b>	<i>Государство</i>			
	<i>Частный бизнес</i>			
		Маленький спрос	Средний спрос	Высокий спрос

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.2.

Первый конкурент – для полиэтилена низкого давления ( $B_{к1}$ ).

Второй конкурент – для оксида титана ( $B_{к2}$ ).

Таблица 4.2 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{ф}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{ф}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Отрицательный коэффициент теплового расширения	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
2. Прочность	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
3. Выдерживание высоких температур от 1105 до 1257 °С	0,05	4	1	5	0,2	0,05	0,25

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
4. Коррозионная стойкость	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
5. Технологичность	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Эффективность работы	0,06	5	2	2	0,3	0,12	0,12
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Реализация продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень охвата рынка	0,03	4	5	3	0,12	0,15	0,09
3. Предполагаемая цена	0,08	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>82</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>4,89</b>	<b>3,75</b>	<b>3,59</b>

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Простота изготовления	0,12	4	3	3	0,48	0,36	0,36
2. Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
3. Фотоэлектрический эффект	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
4. Твердость	0,2	2	3	4	0,4	0,6	0,8
5. Плотность	0,13	4	2	4	0,52	0,26	0,52
6. Удельное сопротивление	0,07	3	5	2	0,21	0,35	0,14
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
3. Срок выхода на рынок	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>3,93</b>	<b>3,29</b>	<b>3,66</b>

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

#### 4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-

технической разработки (Таблица 4.3). Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходило на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT-анализа

<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>  С1. Совмещает в себе удачные механические свойства  С2. Доступное сырье  С3. Простота изготовления  С4. Экологичность  С5. Широкое применение в различных отраслях промышленности</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>  Сл1. Недостаток литературы, т.к. материал не до конца изучен  Сл2. Устаревшие приборы исследования  Сл3 Нехватка приборов исследования  Сл4. Высокая степень ошибки  Сл5. Незнание студентами правильности выполнения работы, т.к. нет опыта в подобных экспериментах</p>
<p><b>Возможности</b>  В1. Внедрение керамики в разные области промышленности  В2. Возможность получения нового материала используя керамику в роли композиционного материала  В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт  В4. Прогресс в промышленности за счет дополнительной конкуренции у материалов  В5. Дополнительное финансирование за счет положительных результатов</p>	<p><b>Угрозы</b>  У1. Не получение ожидаемых результатов  У2. Отказ в получение исследованных материалов  У3. Появление нового материала с лучшими показателями</p>

На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.4–4.7.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «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 4.5 – Интерактивная матрица проекта «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 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	+	-	-	+
	У3					

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	+	+
	У2	-	+	-	+	+
	У3	-	+	+	-	-

Результаты анализа сведены в итоговую таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b> С1. Совмещает в себе удачные механические свойства	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b> Сл1. Недостаток
--	--	--

	<p>С2. Доступное сырье  С3. Простота изготовления  С4. Экологичность  С5. Широкое применение в различных отраслях промышленности</p>	<p>литературы т.к. материал не до конца изучен  Сл2. Устаревшие приборы исследования  Сл.3 Нехватка приборов исследования  Сл4. Высокая степень ошибки  Сл5. Не знание студентов в правильности выполнения работы т.к. нет опыта в подобных экспериментах</p>
<p><b>Возможности</b>  В1. Внедрение керамики в разные области промышленности  В2. Возможность получения нового материала используя керамику в роли композиционного материала  В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт  В4. Прогресс в промышленности за счет дополнительной конкуренции у материалов  В5. Дополнительное финансирование за счет положительных результатов</p>	<p><b>Направления развития</b>  В1С1С2С3С4С5 - Керамика включает в себя удачные механические свойства появление ее в новых отраслях промышленности будет увеличиваться.  В2С1С2С3С5 – За счет удачной совместимости свойств в керамике ее развитие будет увеличиваться.  В3С1С2С3С4С5 - За счет удачной совместимости свойств, лёгкой добыче и производстве.  В4С1С4С5 – Развитие конкуренции лучший двигатель процесса.  В5С1С5 - За счет удачной совместимости свойств и развитии в разных отраслях</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b>  В5Сл3 - Чтобы не было замедления в рабочем процессе из-за нехватки приборов, финансирование при возможности может восполнить этот недостаток.</p>
<p><b>Угрозы</b>  У1. Не получение ожидаемых</p>	<p><b>Угрозы развития</b>  У2С2С5 – Хоть к сильной стороне С2 относится, что</p>	<p><b>Уязвимости:</b>  У1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5 - Т.к. развитие керамики до</p>

<p>результатов У2. Отказ в получении исследованных материалов У3. Появление нового материала с лучшими показателями</p>	<p>сырье доступно, наша исследовательская группа сама его не добывает. Мы его получить от поставщиков, которые его как раз добывают. Для них сырье доступно и соответственно у нас оно тоже должно легко появиться, но шанс, что могут отказать есть, поэтому отмечена угроза У2 – не получение исследовательского материала. Одной из причин неполучения материала может быть его сильная сторона С5, что уже широкое применение керамики на исследование в других промышленных областях.</p>	<p>сих пор в процессе и в работе участвуют неопытные студенты на старом оборудовании, которое отличается от современной своей точности. У2Сл2Сл4Сл5 – При ситуации если поставщикам придется выбирать, кому отдать материал на исследования, и они будут заинтересованы в успехе. Навряд ли они отдадут материал в группу, у которой проблемы с техникой и неопытные рабочие. У3Сл2Сл3 – Это может произойти у конкурентов раньше благодаря лучшей техники.</p>
---	--	---

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

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	-------	------------------	-----------------------

Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер, научный руководитель
	6	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

#### 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях  $T_p$ ), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями,

а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожи}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		4		2,2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	3,2	2,2	2,2	3
3. Обзор научной литературы		16		31		22,4	22,4	33
4. Выбор методов исследования		16		30		21,6	21,6	32
5. Планирование эксперимента		60		90		72	72	108

6. Проведение эксперимента		16		30		21,6	21,6	32
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		5,6	4,2	6
8. Оценка эффективности результатов		3		8		5,6	4,2	6
9. Составление пояснительной записки		6		18		10,8	10,8	16
<b>Итого</b>	2	122	8	219	5,4	161,8	161,2	239

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	3												
3	Обзор научной литературы	Исп2	33			.....									
4	Выбор методов исследования	Исп2	32				.....								
5	Планирование эксперимента	Исп2	108				.....	.....	.....	.....	.....	.....			
6	Проведение эксперимента	Исп2	32									.....	.....	.....	
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6											.....	
8	Оценка эффективности результатов	Исп2 Исп3	6											.....	
9	Составление пояснительной записки	Исп2 Исп3	16												.....

Примечание:

|||| – Исп 1 (научный руководитель)

..... – Исп 2 (инженер)

### 4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

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

#### 4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Таблица 4.12 – Затраты на получение образца порошковой системы TiC и TiN

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
ПорошокTiC, кг.	0,1	8 500	850
ПорошокTiN, кг.	0,1	25 500	2550
Абразивы, шт	10	35	350
Очиститель Solins Растворитель бензин Калоша, л.	1	640	640
Вата медицинская, кг.	0,2	400	80
Алмазная паста,кг.	0,05	350	17,5
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			4499,5

#### 4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Таблица 11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования,	Цены единицы оборудования,	Общая стоимость оборудования,
---	---------------------------	-------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------

			лет	тыс. руб.	тыс. руб.
1	Весы	3	4	20	60
2	Компьютер	1	4	40	40
3	Микроскоп ЛабоМет-И	1	5	200	200
4	Nano Indenter G 200	1	10	6000	6000
5	Электропеч СНВЭ-1.3.1/16	1	8	2000	2000
<b>Итого:</b>	8 300 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

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

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

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Весы:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,25 \cdot 60000}{12} \cdot 1 = 1250 \text{ руб.}$$

Компьютер:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,25 \cdot 40000}{12} \cdot 3 = 2500 \text{ руб.}$$

Микроскоп ЛабоМет-И:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,25 \cdot 200000}{12} \cdot 0,1 = 416 \text{ руб.}$$

Nano Indenter G 200:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 6000000}{12} \cdot 0,1 = 5000 \text{ руб.}$$

Электроды СНВЭ-1.3.1/16:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,125 \cdot 2000000}{12} \cdot 0,1 = 2083 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1250 + 2500 + 416 + 5000 + 2083 = 11249 \text{ руб.}$$

#### 4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p,$$

где  $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

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

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:

должностной оклад работника за месяц = оклад вашего научного руководителя Доцент – 37700

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

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

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

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

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

– для инженера:

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

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 12 – 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 13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}, \text{руб}$	$Z_{\text{дн}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$Z_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	5,4	11595,42
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	161,8	282033,58
Итого:								293629

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{дон}} = k_{\text{дон}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 11595,42 = 1739,313 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\text{дон}} = k_{\text{дон}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 282033,58 = 42305,037 \text{ руб.},$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (11595,42 + 1739,313) = 4000,4199 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (282033,58 + 42305,037) = 97301,5851 \text{ руб.},$$

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

#### 4.2.3.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = 454723,855 \cdot 0,2 = 90944,771 \text{ руб.},$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование структуры и физико-механических свойств порошков TiC и TiN.» по форме, приведенной в таблице 14.

Таблица 14 – Группировка затрат по статьям

Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Статьи				Итого бюджетная стоимость
			Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	
11249	4499,5	293629	44044,35	101302,005	454723,855	90944,771	545668,626

На основании данных, полученных по каждой статье затрат, был подготовлен плановый расчет стоимости работы института «Исследование структурно-фазовых и физико-механических свойств поверхности образца из аустенитной стали 12Х18Н10Т методом высокопрочной имплантации ионов азота». Форма показана в таблице 4.16. В таблице также представлены определения бюджета затрат для двух конкурирующих исследовательских проектов.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	4499,5	6689,5	5355	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	11249	12210	35000	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	293629	315055	308391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	44044,35	47258,25	46258,65	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	101302,005	108693,975	106394,895	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	90944,771	97981,345	100279,909	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		545668,626	587888,07	601679,454	Сумма ст. 1- 6

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

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

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

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

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{Финр}}^{\text{Вар.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \# (3)$$

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.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} = 545668,626/601679,454 = 0,90,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} = 587888,07/601679,454 = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} = 601679,454/601679,454 = 1.$$

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 15).

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Физико-механические свойства	0,2	3/0,6	5/1	5/1
2. Простота создания	0,25	3/0,75	3/0,75	4/1
3. Энергосбережение	0,25	3/0,75	3/0,75	4/1
4. Материалоемкость	0,30	5/1,5	5/1,5	5/1,5
ИТОГО	1	14/3,6	20/4	18/4,5

$$I_{p-вар1} = 3,6;$$

$$I_{p-вар2} = 4;$$

$$I_{p-вар3} = 4,5.$$

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

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{финр}} \cdot \#(4)$$

$$I_{вар1} = \frac{3,6}{0,97} = 3,7, \quad I_{вар2} = \frac{4}{0,94} = 4,2, \quad I_{вар3} = \frac{4,5}{0,91} = 4,9.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,90	0,97	1

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	4	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	3,7	4,2	4,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,8 Вар. 1/Вар. 3= 0,7	Вар. 2/Вар. 1 = 1,1 Вар. 2/Вар. 3 = 0,8	Вар. 3/Вар. 1 = 1,3 Вар. 3/Вар. 2 = 1,1

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

### **Выводы по разделу**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом 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.

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 545668,626 руб;

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

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,90, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 4 и 3,6;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,9, по сравнению с 3,7 и 4,2, и является наиболее высоким, что означает, что

техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.