

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки Высотехнологические плазменные и энергетические установки
Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Определение влияния параметров электрического взрыва титановой проволоочки на структурно-фазовое состояние формирующихся наночастиц оксида титана
УДК 669.295:544.344.01:537.521

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Романчук Владислав Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ВЭСЭ	Первиков Александр Васильевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ВЭСЭ	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, пучково-плазменных и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающих при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования защиты окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
Универсальные компетенции	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности
P8	Демонстрировать знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуальной и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научной деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(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
4Т31	Романчук Владислав Владимирович

Тема работы:

Определение влияния параметров электрического взрыва титановой проволоки на структурно-фазовое состояние формирующихся наночастиц оксида титана

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являются наночастицы диоксида титана, формирующиеся при электрическом взрыве титановой проволоки в кислородсодержащей атмосфере. Предметом исследования являются структурные характеристики наночастиц (средний размер, фазовый состав). В работе необходимо определить влияние величины энергии, введенной в титановую проволоку в результате джоулевого нагрева, а также типа буферного газа (Ar, N ₂) на структурные характеристики формирующихся наночастиц диоксида титана.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературы с выяснением мировых достижений в области методов получения наноразмерного диоксида титана. Обязательному исследованию подлежит определение зависимостей между параметрами электрического взрыва титановой проволоки и структурными характеристиками формирующихся наночастиц ди-

	оксида титана. Выбор параметров и методика эксперимента. Анализ полученных результатов. Дополнительные разделы, подлежащие разработке: социальная ответственность, финансовый менеджмент.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ВЭСЭ	Первиков Александр Васильевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Романчук Владислав Владимирович		

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Уровень образования Бакалавриат

Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09. 2016	Составление и утверждение задания ВКР	5
20.09.2016	Составление плана работы	5
25.09.2016	Проведение обзора литературы по теме работы	15
01.12.2016	Предоставление отчета по результатам анализа литературы, формулировка цели и задач исследования	20
30.12.2016	Выбор параметров экспериментов и их обоснование	15
30.01.2017	Проведение экспериментов, анализ результатов	15
30.04.2017	Предоставление отчета по результатам экспериментов	25

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ВЭСЭ	Первиков Александр Васильевич			

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ВЭСЭ	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4Т31	Романчук Владислав Владимирович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<ul style="list-style-type: none"> – Суммарные затраты на проведение научного исследования составили 159040,4 рублей. – В исследовании участвовали два человека: научный руководитель и дипломник. – Реализация проекта на базе ИФПМ СО РАН.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Проект выполнялся согласно ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов».
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам на основании Федерального закона от 24.07.2009 №212-ФЗ составляют 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<p>Синтез нанопорошков является ресурсоэффективным и быстро окупающимся производством, не требующим высококвалифицированной эксплуатации. Для установления вышеперечисленных преимуществ были проведены:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ потенциального рынка и потребителей; – Оценка конкурентоспособности синтеза нанопорошков методом ЭВП; – SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<ul style="list-style-type: none"> – Структура работ НИИ; – Определение трудоемкости выполнения работ; – Разработка графика НИИ; – Бюджет НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Для определения ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования был рассчитан интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений;
2. Матрица SWOT;
3. Календарный план проведения НИИ;

- | |
|--|
| 4. Диаграмма Гантта «Временные показатели проведения ВКР»;
5. Бюджет проекта;
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ. |
|--|

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Романчук Владислав Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4Т31	ФИО Романчук Владислав Владимирович
----------------	--

Институт Уровень образования	ИФВТ Бакалавриат	Кафедра Направление/специальность	ВЭСЭ Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
---------------------------------	---------------------	--------------------------------------	---

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования являются характеристики электрического взрыва проводника (ЭВП), в работе представляющего собой тонкую титановую проволочку. Для реализации процесса ЭВП выступает производственная установка по получению нанопорошков. Рабочая зона – лабораторное помещение. Мелкодисперсный оксид титана применяется в химической, медицинской промышленности, оптике и микроэлектронике.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p>	<p>Повышенное значение напряжения в электрической цепи. В качестве средств защиты рекомендуется применение изолирующих штанг, клещей, ковров, указателей напряжения.</p> <p>Движущиеся машины и механизмы, части производственного оборудования. В качестве средств защиты рекомендуется применение защитных кожухов (корпусов) с наличием смотрового отверстия.</p> <p>Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов. В качестве средств защиты рекомендуется ввести и систему охлаждения или устанавливать некоторое время после работы установки для её остывания.</p> <p>Повышенный уровень шума на рабочем месте. В качестве мер защиты рекомендуется наличие специальных беруш, наушников.</p> <p>Повышенная напряженность магнитного поля. В качестве мер защиты рекомендуется экранировать части установки, генерирующие сильные магнитные поля.</p> <p>Отсутствие или недостаток естественного света. В качестве профилактических мер рекомендуется в зону интенсивного естественного освещения.</p> <p>Недостаточная освещенность рабочей зоны. В</p>
---	---

	<p>качестве источника освещения при локальных работах в труднодоступных неосвещенных местах рекомендуется использование налобного фонарика.</p> <p>Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. В качестве мер защиты рекомендуется наличие механической вентиляции с частичным использованием естественной.</p> <p>Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны. В качестве защитных мер рекомендуется наличие систем отопления, кондиционирования и вентиляции.</p> <p>Монотонность труда. В качестве профилактических мер рекомендуется делать перерывы с минимальной продолжительностью 7% от рабочего времени.</p>
2. Экологическая безопасность	Работа с оксидом титана в рамках данной научно-исследовательской работы не несёт опасных и вредных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Проанализированы причины возникновения пожара (наиболее вероятного ЧС) и разработаны меры по его ликвидации. В качестве средств пожаротушения в рабочем помещении имеются два огнетушителя ОУ-2.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<p>Все сотрудники обязаны проходить обучение по охране труда и проверку на знание.</p> <p>Применение труда женщин на данном производстве либо не допустимо по некоторым параметрам, либо ограничено.</p> <p>Помимо минимального общеобязательного отпуска для работников подобного рода деятельности предусмотрен дополнительный оплачиваемый отпуск.</p> <p>Общеобязательны регулярные медицинские осмотры. Лечебно-профилактическое питание не предусмотрено.</p> <p>Рабочее место располагается в положении сидя.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Романчук Владислав Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 78 страниц, 16 рисунков, 20 таблиц, 27 источников, приложения отсутствуют.

Ключевые слова: электрический взрыв проводника, диоксид титана, фотокатализ.

Объект исследования – наночастицы TiO_2 , полученные методом электрического взрыва проводника.

Цель работы – определение зависимости среднего размера и фазового состава наночастиц TiO_2 , формирующихся при ЭВП от типа буферного газа (Ar , N_2).

Синтезированные образцы исследовались с помощью современных аналитических методов (рентгенофазовый, электронная микроскопия, распределение частиц по размерам и др.) В результате исследования было установлено, что нанопорошки имеют сложный фазовый состав, а частицы порошков имеют форму близкую к сферической.

Основные техникоэксплуатационные характеристики: производительность установки (УДП-4) для TiO_2 – 55 г/час.

Степень внедрения: отсутствует.

Область применения: фотокатализ, пигментный краситель.

Экономическая значимость работы: исследования данной области позволяют открыть принципиально новые технологии, что плодотворно влияет на модернизацию существующих производств и созданию новых.

Определения

Электрический взрыв проводника (ЭВП): резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения в нем энергии при пропускании импульсного тока большой плотности, приводящее к нарушению металлической электропроводности и сопровождающееся генерацией ударных волн и электромагнитного излучения.

Фотокатализ: ускорение химической реакции, обусловленное совместным действием катализатора и облучения светом. Фотокаталитическая активность зависит от способности катализатора создавать пары электрон-дырка.

Диоксид титана: оксид четырехвалентного титана. Существует в виде кристаллических модификаций: рутил, анатаз и брукит.

Обозначения и сокращения

ЭВП электрический взрыв проводника

НП нанопрошок

МГД-неустойчивость магнитогидродинамическая неустойчивость

УФ-облучение ультрафиолетовое облучение

ИК-диапазон инфракрасный диапазон

ПЭМ просвечивающая электронная микроскопия

РСА рентгеноструктурный анализ

Оглавление

Введение.....	15
1 Оксид титана и его свойства.....	17
1.1 Фотокаталитическая активность.....	18
1.2 Химическая стабильность.....	19
1.3 Отсутствие токсичности.....	20
1.4 Газочувствительность.....	20
1.5 Оптические свойства.....	20
2 Методы синтеза и влияние условий (параметров) синтеза на характеристики наночастиц оксида титана. Связь структуры частиц со свойствами.....	21
2.1 Метод ЭВП.....	21
2.2 Сольвотермальный метод.....	23
2.2.1 Гидротермальный синтез TiO_2	24
2.2.1 Сольвотермальный синтез TiO_2	25
2.3 Метод лазерной абляции.....	25
3 Экспериментальное оборудование и методы исследования.....	28
3.1 Экспериментальное оборудование.....	28
3.2 Методы исследования морфологии наночастиц TiO_2	30
3.3 3.3 Результаты экспериментов и их обсуждение.....	32
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 39	
4.1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	39
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	39

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	41
4.1.3 SWOT-анализ.....	43
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	46
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	46
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	47
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	50
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	53
4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	53
4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	54
4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	55
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	57
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисле- ния).....	57
4.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	58
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджет- ной, социальной и экономической эффективности исследования	59
5 Социальная ответственность	63
5.1 Производственная безопасность.....	64
5.1.1 Анализ опасных производственных факторов.....	64
5.1.2 Анализ вредных производственных факторов.....	66
5.2 Экологическая безопасность.....	71
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.4.1 Требования к охране труда	72
5.4.2 Женский труд.....	72
5.4.3 Отпуска.....	72
5.4.4 Медицинские осмотры и лечебно-профилактическое питание	73
5.4.5 Рабочее место при выполнении работ	73
Заключение	75
Список использованных источников	76

Введение

Наноразмерный диоксид титана (TiO_2) обладает высокими фотокаталитическими свойствами. Порошки на основе наночастиц оксида титана могут быть получены физическими и химическими методами, имеющими свои достоинства и недостатки. Среди физических методов получения наночастиц TiO_2 определенный интерес представляют высокоэнергетические методы, основанные импульсном введении в материал энергии большой плотности. Среди указанных методов наибольшее распространение получили электрический взрыв проводника и лазерное испарение мишени. Достоинство указанных методов определяется неравновесными условиями формирования наночастиц с дефектной структурой, оказывающей существенное влияние на их фотокаталитические свойства.

Как показал обзор литературы, основным параметром, определяющим структурные характеристики наночастиц TiO_2 в условиях ЭВП, является величина энергии, введенной в проволоку. При этом, к настоящему времени остается неизученным влияние типа буферного газа на структурные характеристики наночастиц оксида титана, формирующихся при прочих равных параметрах ЭВП.

Целью исследования является определение зависимости среднего размера и фазового состава наночастиц TiO_2 , формирующихся при ЭВП от типа буферного газа (Ar , N_2).

Объектом исследования являются наночастицы TiO_2 , полученные методом электрического взрыва проводника.

Предметом исследования являются структурные характеристики наночастицы TiO_2 .

Научная и практическая значимость результатов выпускной квалификационной работы: полученные результаты позволяют выбрать оптималь-

ные параметры электрического взрыва титановой проволоки для получения наночастиц TiO_2 с заданными структурными характеристиками.

1 Оксид титана и его свойства

Оксид титана (IV) – солеобразующий оксид четырехвалентного титана. В чистом виде представляет собой бесцветные кристаллы, желтеющие при нагревании и обесцвечивающиеся при остывании.



Рисунок 1 – TiO_2 в чистом виде

Для диоксида титана существуют три основные кристаллические модификации [1]:

- рутил;
- анатаз;
- брукит.

Практически наибольшее значение имеют анатаз и рутил (брукит промышленно почти не производится и в природе встречается редко).

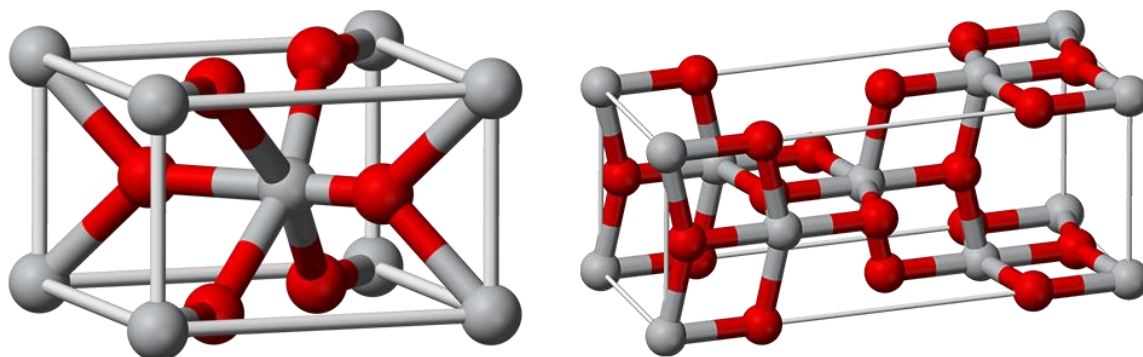


Рисунок 2 – Кристаллические структуры анатаза и рутила

(серым цветом обозначены атомы титана, красным – кислорода)

Плотность рутила и анатаза, существующих в природе, варьируется и составляет, соответственно, 4,2–5,6 [2] и 3,82–3,95 г/см³ [3]. Плотность рутила возрастает с увеличением содержания тантала, титана и ниобия [2], а плотность анатаза – с увеличением содержания железа и других примесей [3]. Рутил является более высокотемпературной модификацией (и самой стабильной), и переход из анатаза в рутил происходит при температурах свыше 600°C без возможности обратного перехода (при атмосферном давлении) [4].

На сегодняшний день наблюдается увеличение объёмов производства TiO₂. Согласно статистике, в 2014 г. доля мирового потребления оксида титана среди неорганических пигментов составляла около 70%, а среди белого пигмента около 90% [5]. В связи с этим возникает естественная потребность более детального изучения свойств оксида титана с целью расширения областей его применения и оптимизации имеющихся производств.

Оксид титана (IV) в мелкодисперсном состоянии обладает рядом свойств:

1.1 Фотокаталитическая активность

Фотокатализ – ускорение химической реакции под воздействием света. Фотокаталитические свойства обусловлены генерацией электронно-дырочных пар, возникающих вследствие электромагнитного влияния.



Рисунок 3 – Области применения фотокаталитических свойств TiO₂

Эффективность фотокатализатора определяется двумя факторами:

- соотношением числа поглощенных фотонов, генерирующих электрон-дырочные пары к числу носителей заряда, вступивших в полезные реакции;
- спектром действия катализатора.

Отрицательное влияние на эффективность катализатора могут оказывать различные структурные дефекты (кислородные вакансии, междоузельные атомы и др.), препятствующие их выходу на поверхность наночастиц, а также снижение ширины запрещенной зоны, увеличивающее вероятность рекомбинации электронно-дырочных пар. Уменьшение ширины запрещенной зоны возможно либо при увеличении размеров частиц или перехода анатаза в рутил, либо при формировании примесных уровней вблизи валентной зоны и зоны проводимости. Однако появление дополнительных уровней в запрещенной зоне и снижение ширины запрещенной зоны влияют на спектр действия катализатора, увеличивая дозу поглощенной энергии при облучении светом.

Кристаллические модификации TiO_2 проявляют разную фотокаталитическую активность. Активность анатаза выше (ширина запрещенной зоны $E_g = 3,0$ эВ), чем рутила ($E_g = 3,2$ эВ), а так как он температурно нестабилен, актуальным остается вопрос о повышении его термостойкости для сохранения фотокаталитических свойств [6]. Фотокаталитический эффект диоксида титана позволяет проводить при комнатной температуре окислительное разрушение большинства органических загрязняющих веществ, а также многих болезнетворных бактерий при УФ-облучении [7].

1.2 Химическая стабильность

Под химической стабильностью понимается способность вещества противостоять химическим изменениям в различных условиях (транспортировка, хранение, применение).

1.3 Отсутствие токсичности

Определение степени токсичности оксида титана как в чистом виде, так и в процессе взаимодействия с различными биологическими объектами является очень принципиальной задачей на сегодняшний день, так как данное вещество чрезвычайно активно используется в микробиологической, медицинской и пищевой промышленности [8] (в пищевой промышленности TiO_2 используется как пищевая добавка E171).

На данный момент существуют экспериментальные методы определения токсичности наночастиц диоксида титана. Например, биолюминесцентный метод, с помощью которого было выявлено, что TiO_2 с добавлением марганца уже при концентрации 0,03 мг/мл превышает допустимый уровень токсичности [9].

1.4 Газочувствительность

Газочувствительность оксидов металлов – реакции на поверхности оксидов при взаимодействии с окружающей воздушной-газовой средой.

Газочувствительные свойства оксида титана и веществ, получаемых на его основе активно изучаются при получении тонко- и толстоплёночных оксидных покрытий, активно применяющимся в оптике, микроэлектронике, вычислительной технике и медэлектронике [10].

1.5 Оптические свойства

Оксид титана TiO_2 характеризуется широким спектром оптического пропускания (0,4 – 12,0 мкм), охватывающим весь видимый и ближний ИК-диапазон, и одним из рекордно высоких для простых оксидов показателей преломления (1,9 – 2,6) [11,12]. Химическая связь Ti–O обладает высокой поляризуемостью, благодаря чему оксид титана применяют для создания нелинейных оптических кристаллов [11].

2 Методы синтеза и влияние условий (параметров) синтеза на характеристики наночастиц оксида титана. Связь структуры частиц со свойствами

2.1 Метод ЭВП

Метод электрического взрыва проводников (ЭВП) заключается в том, что в металлический проводник малого диаметра (< 300 мкм) нужно ввести очень большую энергию (энерговклад от $0,1$ до 10^2 кДж/г·нс) и, соответственно, обеспечить большую плотность тока ($j \geq 10^7$ А/см²) за короткий временной промежуток для обеспечения резкого нагрева и расширения проводника (его взрыва) и получения его нанодисперсной структуры (нанопорошка) [13]. Частицы формируются за счет конденсации испарившейся части проводника и разбрызгивания жидкого металла. Соотношение этих процессов определяется величиной введенной энергии.

Классификация режимов электровзрыва основана на процессах, происходящих в веществе при ЭВП, каждый из которых развивается в течение характерного для него времени. Основные временные параметры ЭВП:

- время ввода энергии в проводник или время взрыва – τ_{ex} ;
- время развития магнитогидродинамических-неустойчивостей (МГД-неустойчивостей) – τ_{inst} ;
- время скинирования тока – τ_{skin} .

Если при ЭВП время формирования МГД-неустойчивостей на порядок меньше времени потери металлической проводимости ($\tau_{inst} \ll \tau_{ex}$), то реализуется медленный режим взрыва, в противном случае – быстрый [14].

Достоинством ЭВП-технологии является ее универсальность при получении различных по природе нанопорошков. Она позволяет производить на одном и том же оборудовании нанодисперсные структуры интерметаллидов, металлов, сплавов и различных химических соединений. При синтезе порошков методом ЭВП не является проблемой большая разница в температурах

плавления и кипения исходных металлов и их тугоплавкость. При ЭВП в среде химически активных газов образуются нанопорошки соединений металлов с неметаллами (оксиды, нитриды, карбиды и др.). Химические соединения, получаемые на выходе, регулируется в широком диапазоне концентраций. Это делает возможным получение композиционных нанопорошков со сложным составом [15].

ЭВП также возможен и в водной среде. Согласно данной работе [16], было проведен сравнительный синтез нанопорошка оксида титана в воздухе и дистиллированной воде при одинаковых входных параметрах (диаметре титанового проводника 0,5 мм и энерговыклада порядка 10 кДж). Было отмечено, что реактивность титана явно изменяется в зависимости от воздействия внешней среды на проводник. В воздушной среде были получены ультрадисперсные сферические частицы фаз анатаза и рутила с хорошо кристаллизованной структурой, в тоже время как в дистиллированной воде была получена неизвестная фаза TiO, являющаяся, возможно, какой-то другой особенной фазой TiO₂ или оксидом титана с кислородными дефектами кристаллизованной структуры.

Регулирование дисперсности и объёмное соотношение фаз конечного продукта можно регулировать повышением уровня [17] и скорости вводимой в проводник энергии, давлением рабочего газа [18,19,20], добавлением к инертному газу химически активных газов или реагентов (например, кислорода или азота) [21]. В данных работах [17,21,22] было рассмотрено влияние величины вводимой энергии на объёмное соотношение фаз и на средний размер частиц. Было выявлено, что при увеличении относительной энергии с 1,9 до 52,1 энергий сублимации объёмное содержание фазы рутила пропорционально увеличилось с 6 до 84% а средний диаметр частиц уменьшился 30,9 до 20,4 нм. Также было выявлено [19,20], что при увеличении давления рабочего газа наблюдается увеличение размерности частиц, и для материала проводника с относительно высоким удельным сопротивлением, как титан, чья внесенная энергия зачатую меньше энергии сублимации из-за пробоя

вдоль проводника, преждевременно завершающего джоулев нагрев, синтезированные частицы оксида титана увеличиваются с ростом коэффициента перегрева.

2.2 Сольвотермальный метод

Сольвотермальный метод получения нанопорошков представляет собой реакцию, в ходе которой в жидкости или воде при высокой температуре (толуол, бензол, спирты и т.д.) растворяется большое количество неорганических веществ. Реакция осуществляется в закрытой системе (автоклаве или бомбе), способной выдержать высокое давление, с помощью которого можно увеличить температуру кипения жидкости. Наиболее распространенным является синтез порошка в воде, который называют гидротермальным. Данным методом можно синтезировать наночастицы металлов, оксидов, фосфидов, нитридов. Получаемым при сольвотермальном синтезе наночастицам свойственно контролируемая форма и узкое распределение по размерам. Форму частиц можно менять, подбирая соответствующие стабилизаторы [11, 23].

В лабораторных условиях синтез проводят в автоклаве, оснащенном сосудом для рабочей жидкости, которая находится в нем под высокой температурой. Устройство автоклава приведено на рисунке 4.

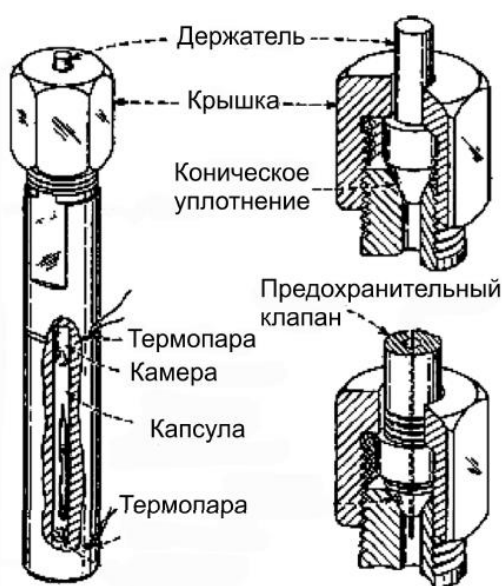


Рисунок 4 – Сосуд для гидротермального метода (компания Tem-Press).

В методе главным компонентом является вода, одновременно являющаяся растворителем и реагентом. Совокупность высокой температуры и реакционной среды (воды) делает возможным протекание самых разнообразных реакций. Влияние давления в данном случае сводится к минимуму, так как реакции протекают в конденсированной фазе.

Пример гидротермального процесса представлен на рисунке 5:

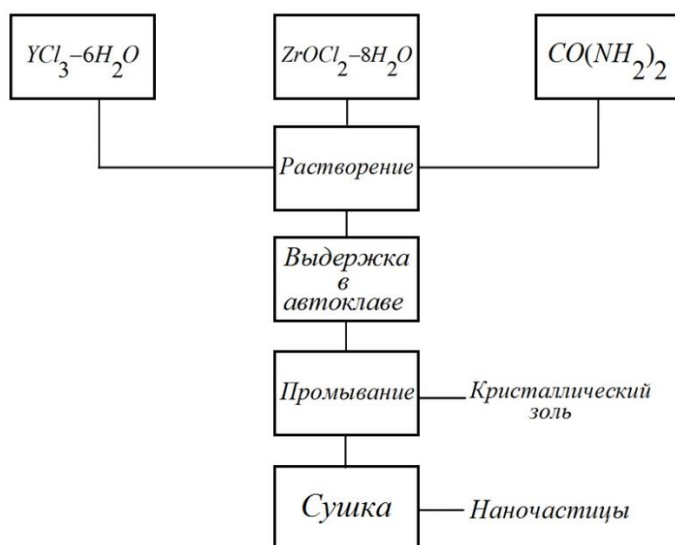


Рисунок 5 – Схема гидротермального процесса синтеза стабилизированного диоксида циркония (реакция осаждения)

Особенность метода в том, что при небольшой температуре возможно получить нанокристаллы веществ, неустойчивых при высоких температурах и подверженных аморфизации, то есть их нельзя получить, например, отжигом.

Что касается автоклавного синтеза TiO_2 , то согласно данным работам [11,24], морфологию полученных наночастиц вполне успешно можно регулировать временными и температурными режимами, которые зачастую являются нелинейными.

2.2.1 Гидротермальный синтез TiO_2

В качестве прекурсора (вещество, участвующие в реакции, приводящей к образованию целевого вещества) использовался тетраизопропанол или тет-

раизопропилат титана. Оксид титана, образованный выдержкой смеси в течение 48 ч при температуре не более 100°C , представлял собой частицы круглой формы с большим разбросом по размерам (10-100 нм). При увеличении температуры выдержки до 140°C габаритный разброс практически нивелировался (до 10 нм), и форма частиц также оставалась сферической. Дальнейшее нагревание выше 140°C к значительным изменениям не привело.

Также в спиртовом растворе NaOH при температуре 170°C в течение 24 ч были получены нанопроволочки длиной 100 мкм и диаметром 50-100 нм.

2.2.2 Сольвотермальный синтез TiO_2

Сольвотермальный синтез проходит при больших температурах ($\sim 250^{\circ}\text{C}$), поэтому требуется растворители с высокой температурой кипения (в данном случае использовался толуол с олеиновой кислотой). При уменьшении времени выдержки (12 ч) получили частицы квадратной формы с узким распределением по размерам (20-30 нм). Согласно мнению авторов [11], кубическая форма наночастиц обусловлена наличием в смеси поверхностно-активных веществ и их различной адсорбции на кристаллографических плоскостях TiO_2 , что в свою очередь обуславливает неравномерную скорость их роста.

2.3 Метод лазерной абляции

Метод лазерной абляции наночастиц может осуществляться в вакууме, газах и жидкостях. Лазерная абляция твердых тел в жидкостях является альтернативным методом получения разнообразных наночастиц. В химических методах получения порошков помимо мелкодисперсных частиц, которые образуются в результате реакций восстановления или ионного обмена, жидкость всегда включает в себя другие ионы и продукты реакции, которые невозможно вывести из неё. Лазерная абляция твердых тел в жидкостях свободна от этого ограничения, так как в данном случае наночастицы образуются из-за механического взаимодействия плотных паров жидкости с расплав-

ленным поверхностным слоем мишени. Это не исключает химического взаимодействия наночастиц с парами окружающей жидкости, но почти всегда есть возможность выбрать жидкость, сводящую к минимуму указанное химическое взаимодействие [25]. При синтезе в жидкости длина свободного пробега молекул на несколько порядков меньше, чем в вакууме, поскольку испаренный материал мишени сталкивается с парами окружающей жидкости. Давление паров жидкости аналогично давлению ее насыщенных паров при температуре мишени, что оказывает влияние на распределение частиц по размерам. Процесс сбора наночастиц, проблематичный в случае их образования при лазерной абляции в вакууме, при абляции в жидкости решается естественным образом: наночастицы остаются в объеме жидкости, образуя так называемый коллоидный раствор. Общая схема установок по получения порошков данным методом приведена на рисунке 6.

Согласно данным работам [26,27], на морфологию полученных наночастиц (процесс проходил в воздушной среде) влияют такие параметры, как:

- интенсивность лазерного излучения (при увеличении интенсивности уменьшается размерность полученного нанопорошка);
- частота следования импульсов;
- время распыления.

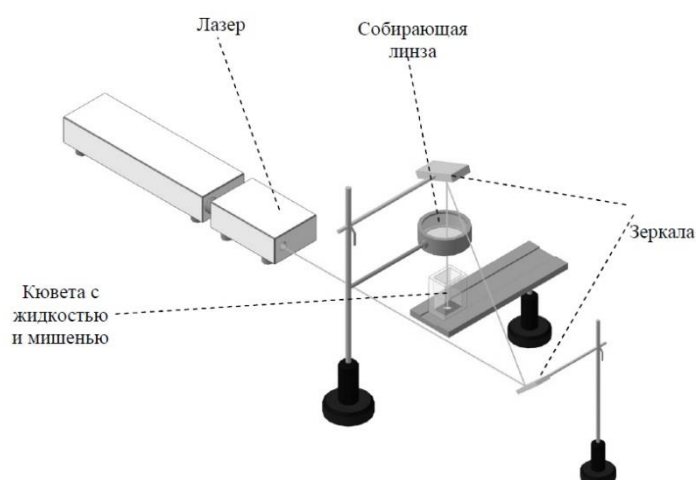


Рисунок 6 – Установка для получения частиц в жидкости методом лазерной абляции

Обычно порошки, полученные таким высокотемпературным методом, дополнительно обрабатывают термическим отжигом в печи. Исследования показали, что при температуре свыше 600°C наблюдается переход наночастиц из структуры анатаза в рутил с увеличением размера частиц, уменьшением ширины запрещенной зоны (\sim с 3,2 до 3 эВ), изменением спектра поглощения (частицы поменяли свой цвет с белого на жёлтый, что обусловлено увеличением поглощения голубой части видимого спектра) и снижению поверхностных дефектов. Тем не менее, данным методом синтеза получается наиболее температурно устойчивая форма анатаза, что благоприятно сказывается на его фотокаталитической активности. Это обусловлено быстрым охлаждением малых частиц из расплавленного состояния в процессе лазерной абляции. В таких условиях формируется большая концентрация дефектов, повышающих термодинамическую стабильность данных частиц [6].

Вывод: Как показал обзор литературы, основное влияние на структурные характеристики частиц оксида титана оказывает величина энергии, введенной в проволоку к моменту взрыва. Авторами изучено влияние диаметра проводника на средний размер формирующихся частиц. Однако, к настоящему времени остается неясным влияние буферного газа на структурные характеристики формирующихся при ЭВП частиц TiO_2 . Так, к примеру для Ar и N_2 характерны различные скорости охлаждения наночастиц, формирующихся при ЭВП, что оказывает влияние на формирование структуры частиц с различной дефектностью, определяющей фотокаталитические свойства частиц TiO_2 .

3 Экспериментальное оборудование и методы исследования

Данная глава содержит краткое описание оборудования, которое использовалось в экспериментах по получению нанопорошка оксида титана методом ЭВП.

3.1 Экспериментальное оборудование

Эксперименты по получению наноразмерных частиц TiO_2 осуществлялись на установке, принципиальная электрическая схема которой представлена на рисунке 7.

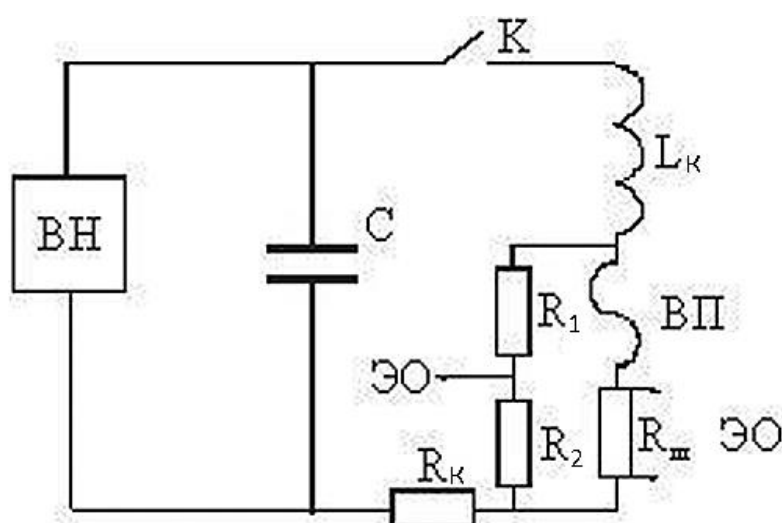


Рисунок 7 – Принципиальная схема установки по получению порошков методом ЭВП

В LC-контуре, батарея конденсаторов C заряжается от источника высокого напряжения $ВН$ до напряжения U_0 . С помощью разрядника K контур замыкается на взрывающийся проводник $ВП$. Осциллограммы тока и напряжения регистрируют с помощью делителя напряжения R_1 , R_2 , токового шунта $R_{ш}$ и осциллографа $ЭО$. L_k и R_k – индуктивность и активное сопротивление контура.

Осциллограммы регистрировались с помощью токового шунта $R_{ш}$. Расчет параметров контура R_k , L_k , проводился с использованием выражений

(1) и (2) на основании данных осциллограммы тока (рис. 8), полученной в режиме КЗ.

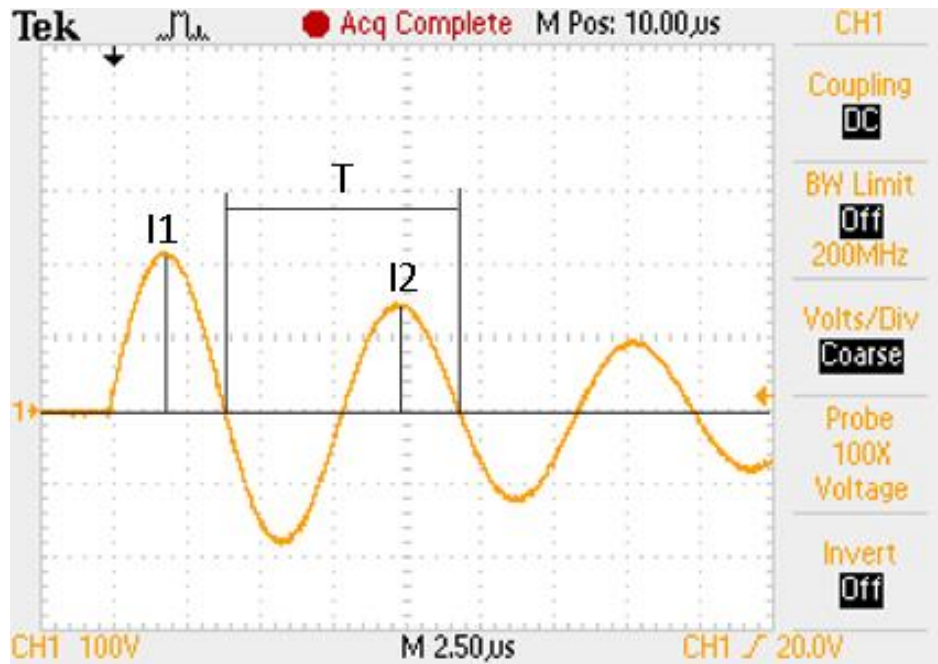


Рисунок 8 – Осциллограмма тока в режиме КЗ

$C_k = 2 \text{ мкФ}$ – ёмкость контура;

$T = 8 \text{ мкс}$ – период колебаний тока;

$\Delta = \frac{I_1}{I_2}$ – декремент затухания, определенный из осциллограммы.

$$R_k = \frac{2T \cdot \ln \Delta}{(4\pi^2 + \ln \Delta) \cdot C_k} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(1,57)}{(4\pi^2 + \ln(1,57)) \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 0,08 \text{ Ом}, \quad (1)$$

$$L_k = \frac{T^2}{(4\pi^2 + \ln \Delta) \cdot C_k} = \frac{(8 \cdot 10^{-6})^2}{(4\pi^2 + \ln(1,57)) \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 0,75 \text{ мкГн}, \quad (2)$$

Все эксперименты по получению частиц TiO_2 были выполнены в режимах с бесконечной паузой тока, что позволяло исключить влияние нагрева продуктов взрыва на дуговой стадии разряда на структурные характеристики формирующихся частиц. Параметры ЭВП: $C = 0.8 \text{ мкФ}$, $U = 26$ и 33 кВ , длина (l) и диаметр проволоки (d): $l = 70 \text{ мм}$, $d = 0.35 \text{ мм}$. Содержание кислорода в атмосфере буферного газа составляло $20 \div 25 \%$. Давление $P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.2 Методы исследования морфологии частиц TiO_2

Расчет среднего размера частиц проводился по микрофотографиям, полученным с помощью ПЭМ, используя микроскоп JEM-2100. Расчет среднего размера частиц проводился в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [29]. Для обработки микрофотографий, использовался специально разработанный для этих целей программный пакет «Обработка УДП порошков». Интерфейс программы представлен на рисунках 9, 10.

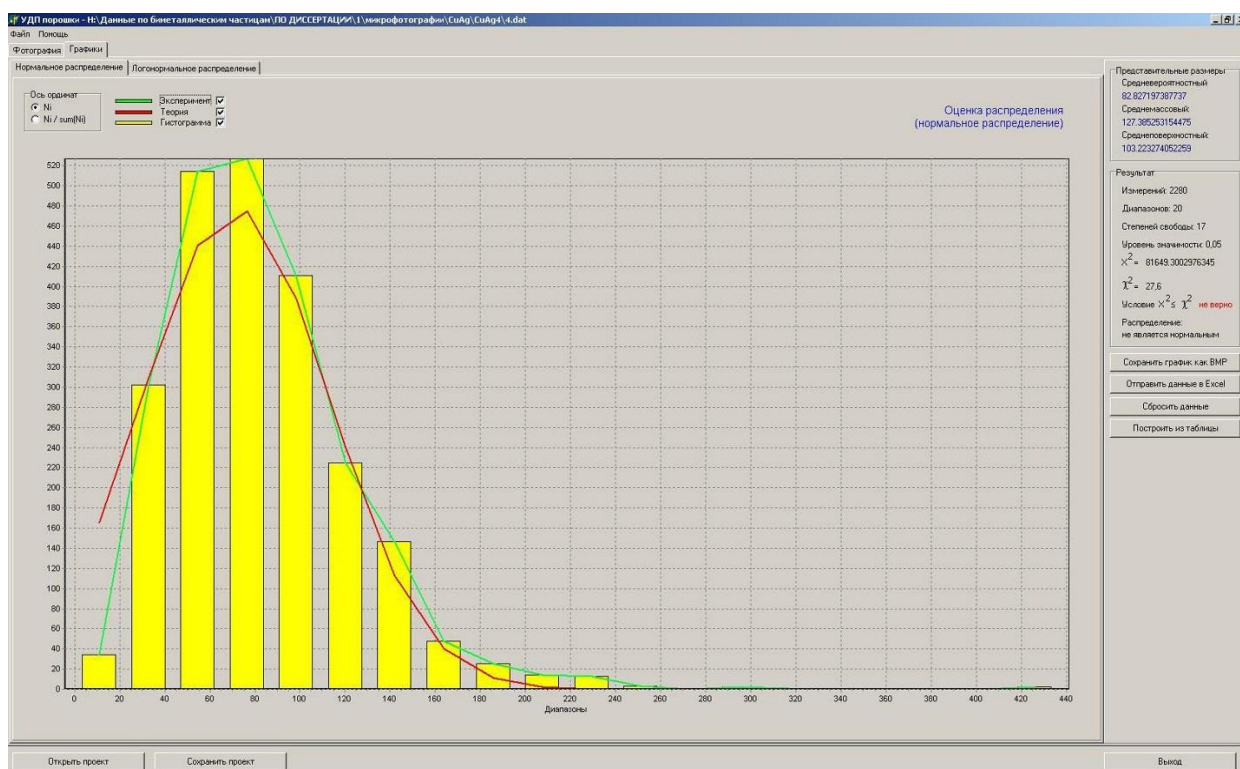


Рисунок 9 – Интерфейс программы «Обработка УДП порошков»

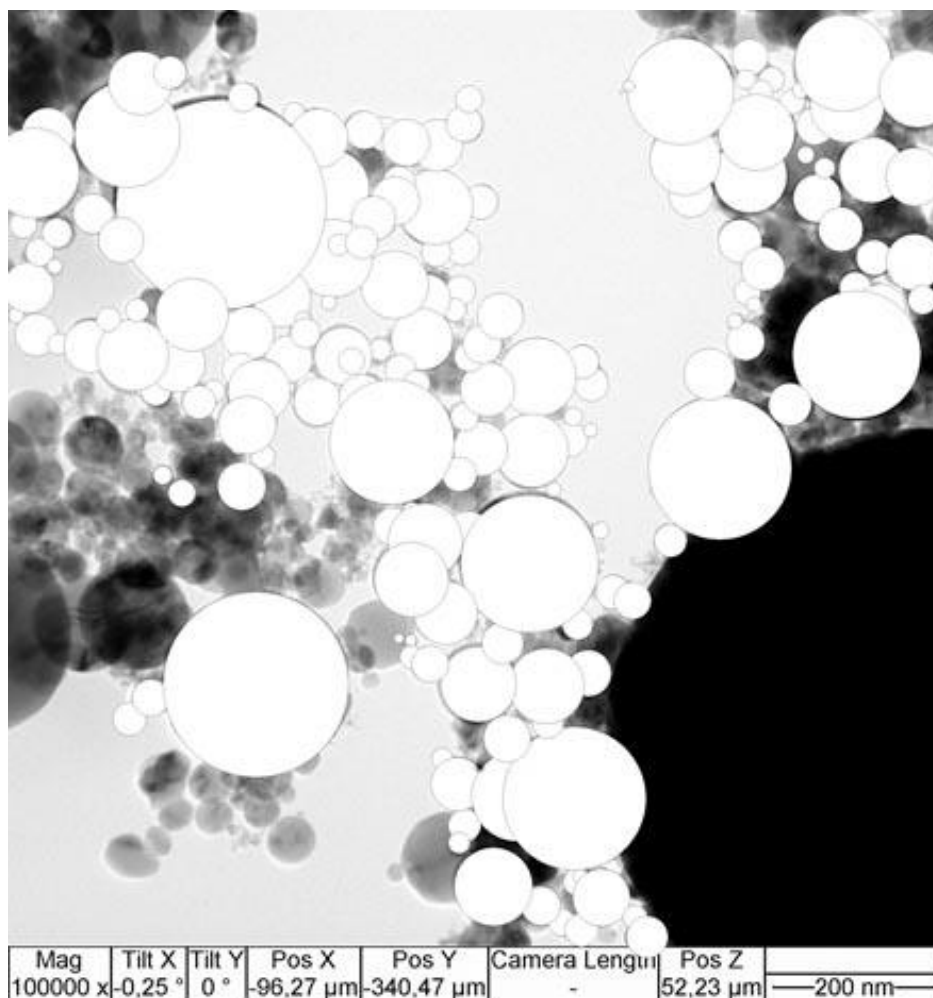


Рисунок 10 – Обработка микрофотографий

Изучение фазового состава наночастиц TiO_2 проводилось по данным рентгенограмм, полученных на дифрактометре ДРОН-7 (ЦКП ИФПМ СО РАН «НАНОТЕХ»).

Фазовый состав образцов идентифицировался с использованием кристаллографической базы данных PDF-2. Содержание анатаза в образцах определялось с помощью выражения (1) [16]:

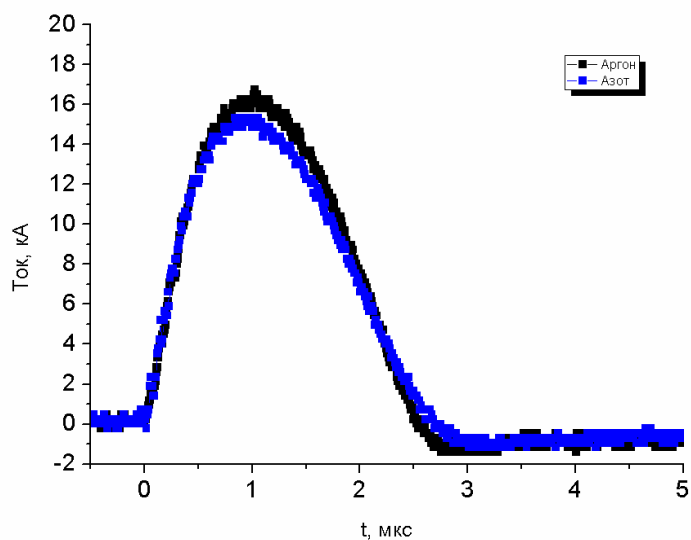
$$W_A = \frac{I_A}{I_A + 1,265I_R} \cdot 100, \quad (3)$$

где, W_A – содержание анатаза, %;

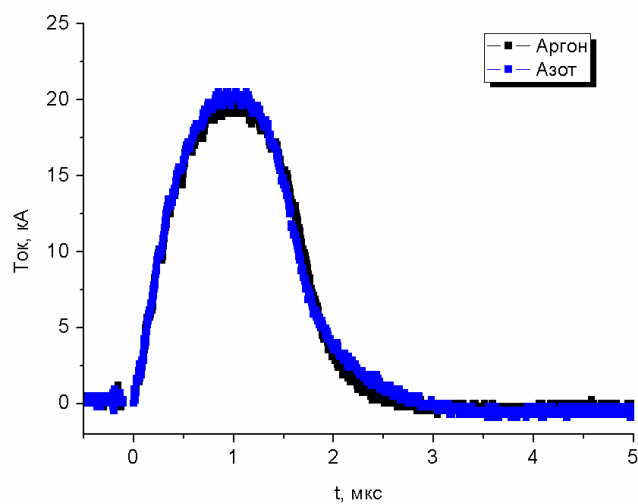
I_A и I_R – интенсивности анатаза и рутила по данным дифрактограммы.

3.3 Результаты экспериментов и их обсуждение

На рисунке 11 приведены осциллограммы тока, характерные для ЭВП титановой проволоки при различных значениях зарядного напряжения U .



а)



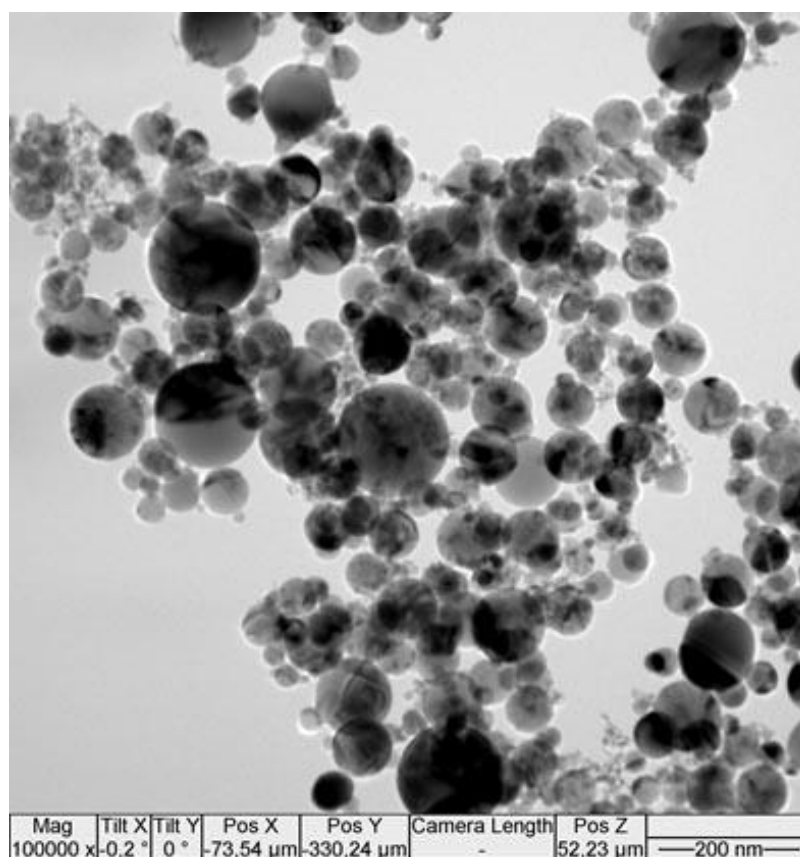
б)

Рисунок 11 – Осциллограммы тока

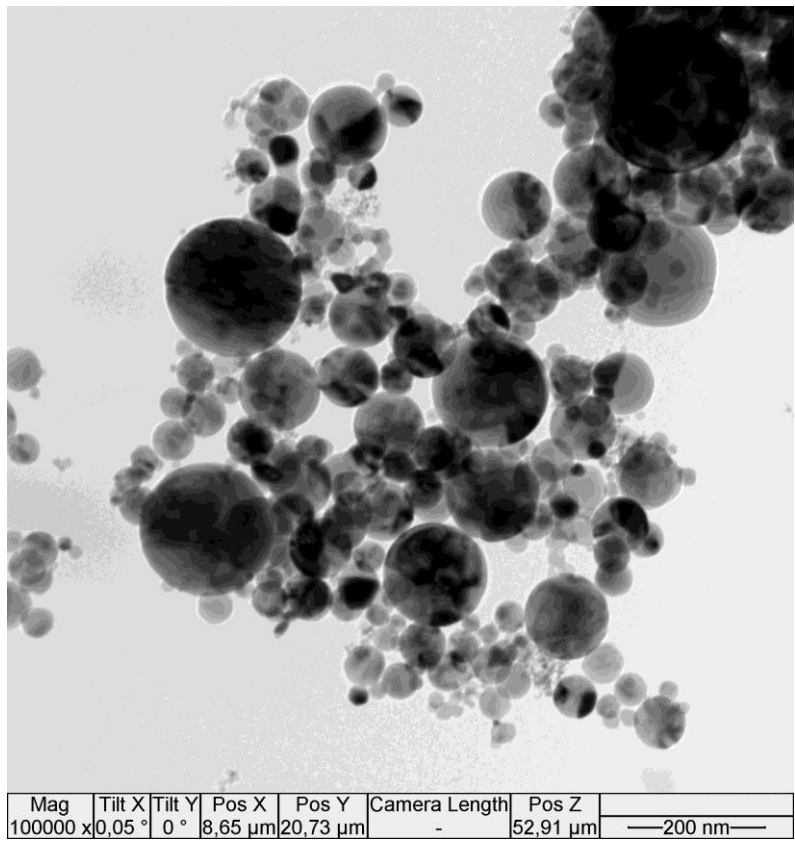
а) $U = 26$ кВ, б) $U = 33$ кВ.

Из представленных на рисунке 11 данных следует, что с увеличением величины зарядного напряжения, увеличивается плотность тока, протекающего по проволоке. Увеличение плотности тока приводит к уменьшению времени ввода энергии в проволоку к моменту взрыва. Момент взрыва на осциллограмме тока определяется как точка перегиба на участке спада тока.

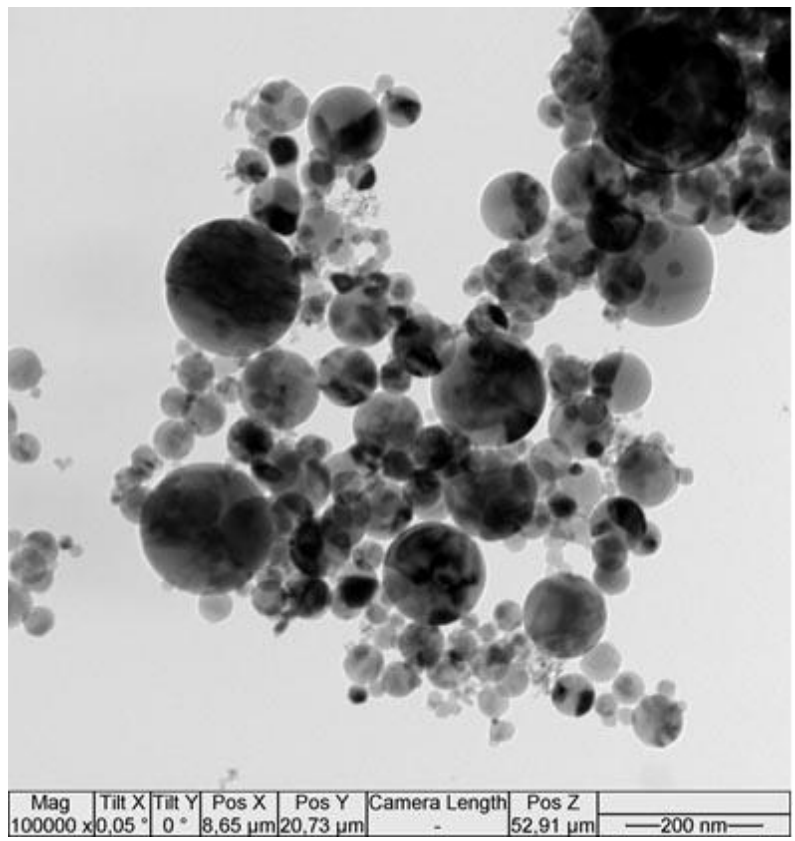
На рисунке 12 приведены микрофотографии наночастиц TiO_2 , формирующихся при ЭВП в аргоне и азоте при различных значениях напряжения.



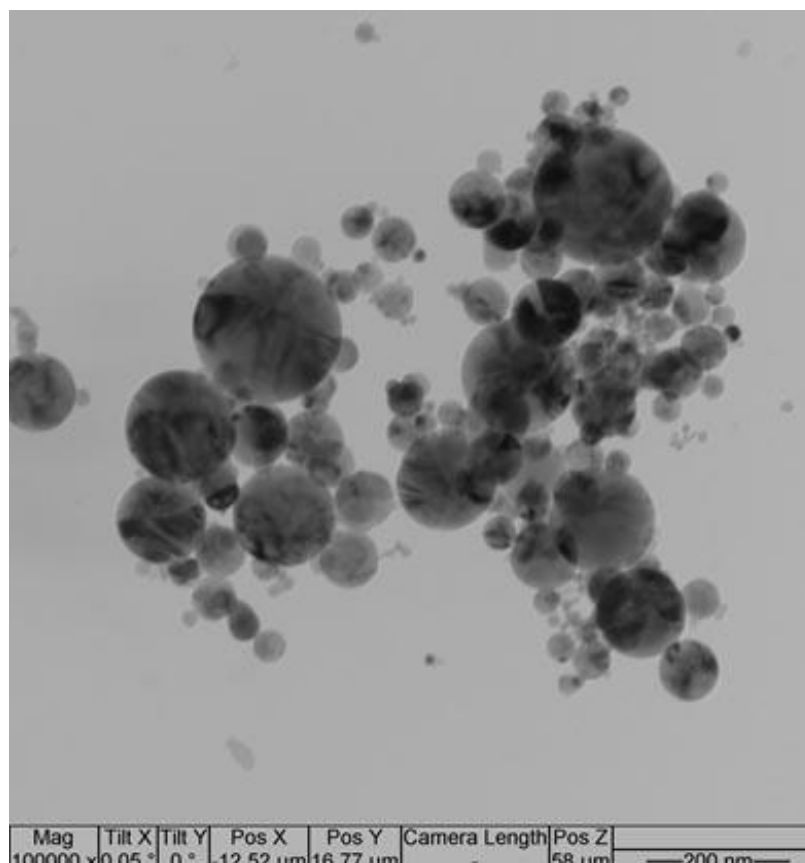
a)



б)



В)



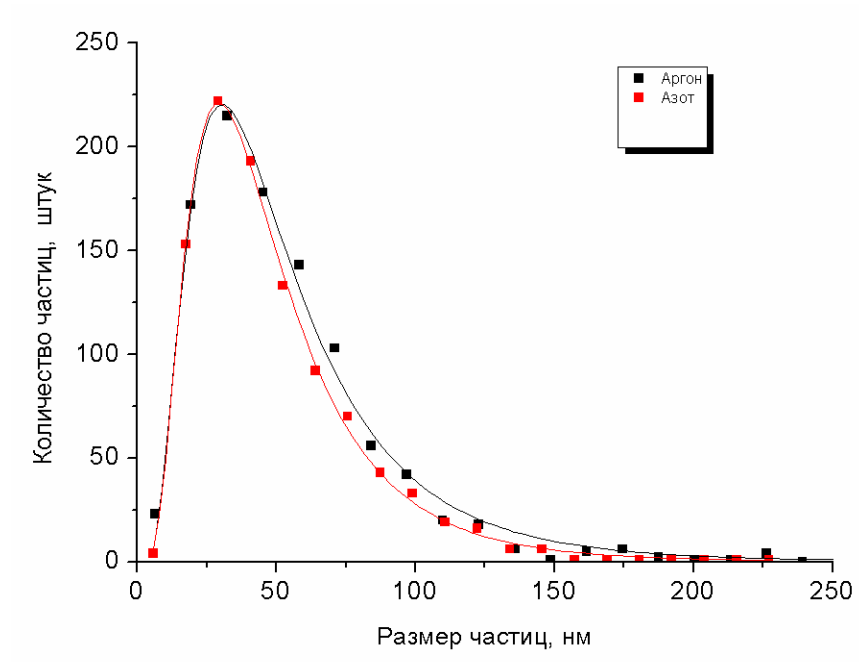
г)

Рисунок 12 – Микрофотографии наночастиц TiO_2

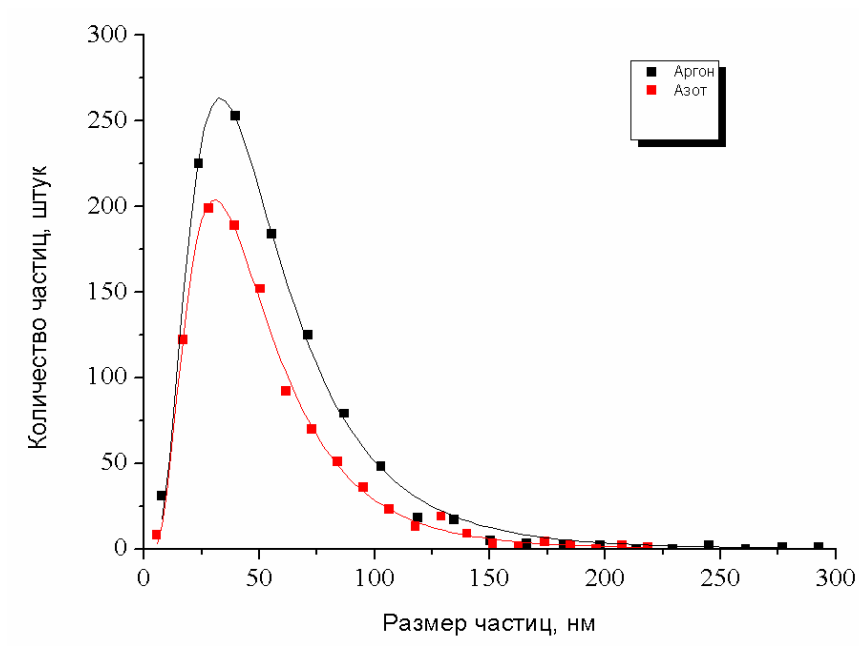
а) аргон, $U = 26$ кВ; б) азот, $U = 26$ кВ; в) аргон, $U = 33$ кВ; г) азот, $U = 33$ кВ

Как видно из представленных на рисунке 12 данных, для всех образцов характерно формирование частиц сферической формы. Основное количество частиц в образцах имеет размеры менее 200 нм.

На рисунке 13 приведены функции распределения наночастиц TiO_2 по размерам.



а)



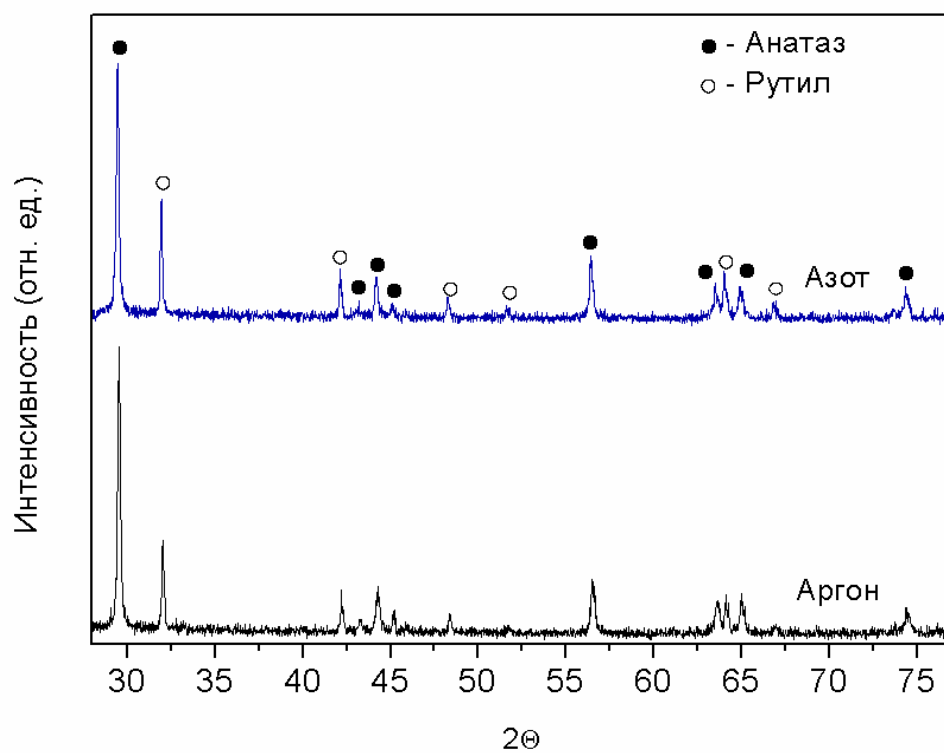
б)

Рисунок 13 – Функции распределения наночастиц по размерам

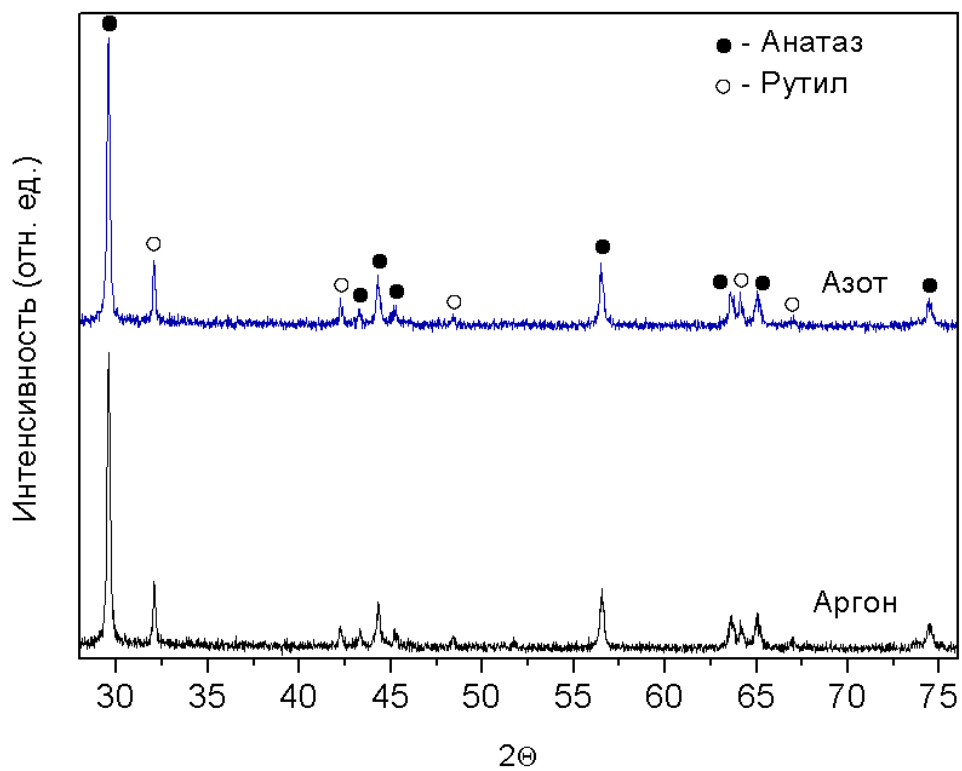
а) Параметры ЭВП: $U = 26$ кВ, средневероятностный размер частиц: $a_n(\text{Ar}) = 46$ нм, $a_n(\text{N}_2) = 42$ нм; б) Параметры ЭВП: $U = 33$ кВ, средневероятностный размер частиц: $a_n(\text{Ar}) = 48$ нм, $a_n(\text{N}_2) = 48$ нм

Как видно из представленных на рисунке 13 данных, для всех образцов характерно нормально-логарифмическое распределение частиц по размерам, что согласуется с литературными данными.

На рисунке 14 приведены данные рентгеноструктурного анализа образцов частиц TiO_2 .



a)



б)

Рисунок 14 – Дифрактограммы образцов TiO_2

а) Параметры ЭВП: $U=26$ кВ; б) Параметры ЭВП: $U=33$ кВ

Из представленных на рисунке 14 данных следует, что фазовый состав всех образцов представлен фазами анатаза и рутила. Присутствие в образцах фазы, соответствующей металлическому титану по данным РСА не установлено, что свидетельствует о полном окислении продуктов взрыва.

В таблице 1 приведено содержание в образцах анатаза, рассчитанное по формуле (3).

Таблица 1 – Содержание анатаза в опытных образцах

Параметры ЭВП	Содержание анатаза, вес. %
$U = 26$ кВ, Аргон	70
$U = 26$ кВ, Азот	50
$U = 33$ кВ, Аргон	76
$U = 33$ кВ, Азот	76

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день перспективность научной разработки в первую очередь обусловлена её коммерческой ценностью. Последующая реализация разработки и переход от концепта к готовому производственному оборудованию или изделию зачастую является ключевым. Поэтому при поиске источника финансирования необходимо производить оценку коммерческой ценности разработки для её успешной последующей реализации, что особенно важно для сравнительно молодых, развивающихся сегментов технологий, к числу которых относится производство металлических нанопорошков, а в данной научно-исследовательской работе производство оксида титана (TiO_2).

Данная глава посвящена определению коммерческой перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

4.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Благодаря широкому спектру свойств нанодисперсного оксида титана потенциальными потребителями данного исследования могут быть заказчики с самой различной географией и сферой деятельности. Рассмотрим некоторых из них:

- Методом электрического взрыва проводников (ЭВП) возможно получать оксид титана с сильными фотокаталитическими свойствами, т.е. полученный нанопорошок способен выступать как фотокатализатор. Фотокатализ – ускорение химической реакции, обусловленное совместным действием катализатора и облучения светом. Это свойство ак-

тивно применяется в химической промышленности для очистки различных сред;

- Оксид титана в чистом виде является нетоксичным и позволяет применять его в пищевой, медицинской, текстильной промышленности. В нашем случае выпуск порошка для подобных целей является нецелесообразным, т.к. требуется крупномасштабное производство, примером которого являются химические заводы;
- Некоторые оксиды металлов, к которым относится TiO_2 , обладают газочувствительностью. Газочувствительность оксидов металлов – реакции на поверхности оксидов при взаимодействии с окружающей воздушной-газовой средой. Это свойство позволяет применять оксид титана в качестве плёночных оксидных покрытий в оптике, микроэлектронике, вычислительной технике и медэлектронике.

Потребление нанопорошков по отраслям представлено на рисунке 15.



Рисунок 15 – Потребление нанопорошков по отраслям

На сегодняшний день выпуск оксидов металлов является самой крупной частью от общего мирового производства нанопорошков, что также положительно влияет на возможность реализации проведенного исследования.

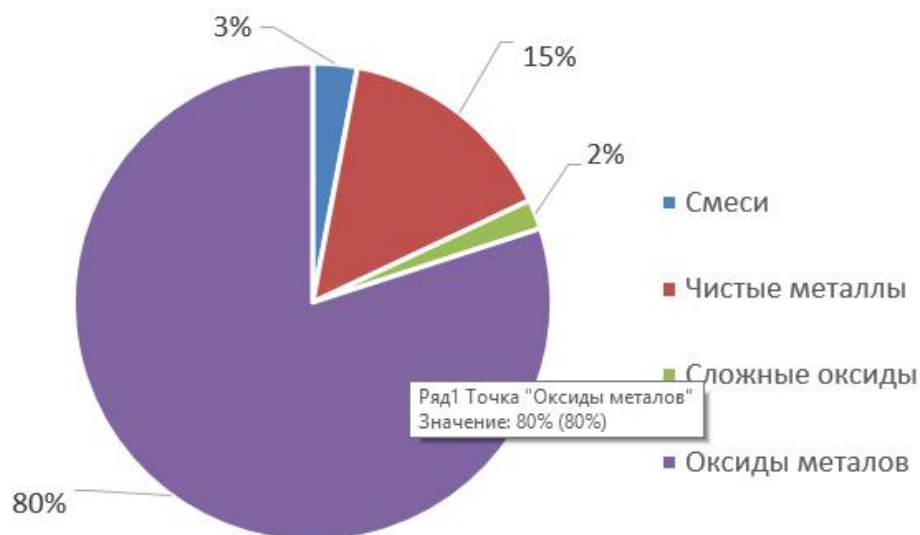


Рисунок 16 – Структура выпускаемых нанопорошков по типу в мире

Региональное потребление нанопорошков аналогично распределению на рисунке 16. Спрос на оксиды металлов в Европе, Азии и Северной Америке примерно одинаков и составляет около 80% от всего потребляемого сырья.

В обозримом будущем (10-15 лет) прогнозируется стремительное увеличение рынка нанопорошков, т.к. он неразрывно связан с аддитивными технологиями, которые ввиду их неоспоримых преимуществ должны частично заменить традиционное металлургическое производство.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить с целью определения конкурентоспособности разрабатываемого продукта или технологии. Изучение конкурирующих разработок позволяет найти недостатки продвигаемого товара или услуги, а также определить дальнейшее направление научного исследования.

Конкурирующей разработкой является метод лазерной абляции нанопорошков. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{K1}	K_{ϕ}	K_{K1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Функциональная мощность	0,1	3	5	0,3	0,5
2. Энергоэкономичность	0,12	4	3	0,48	0,36
3. Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	0,20	0,15
4. Надежность	0,08	5	4	0,40	0,32
5. Уровень шума	0,05	3	4	0,15	0,20
6. Затраты сырья	0,1	4	3	0,40	0,30
7. Экологичность производства	0,1	5	3	0,50	0,30
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	0,40	0,40
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	5	0,15	0,25
3. Цена	0,12	4	4	0,48	0,48
4. Финансирование научной разработки	0,08	3	3	0,24	0,24
5. Срок выхода на рынок	0,05	5	3	0,25	0,15
Итого	1	47	44	3,95	3,65

Φ – технология синтеза нанопорошков методов ЭВП;

$K1$ – метод лазерной абляции.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i + B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Были выявлены следующие достоинства метода производства:

- Способ не является энергозатратным, т.к. взрыв проводника происходит в импульсном режиме;
- Установка не требует сложной и непрерывной эксплуатации. Достаточно периодически проверять её работу и корректировать параметры в случае их отклонения от заданного значения;
- При производстве не происходит выброса вредных веществ в атмосферу. Для придания нужных свойств конечному продукту в качестве рабочей среды внутри взрывной камеры используется смесь инертных газов и кислорода, которая затем обрабатывается и откачивается в специальный резервуар;
- Минимальное количество технологических ступеней в технологии позволяет максимально реализовать сырьё (в нашем случае тонкий металлический титановый проводник).
- Одними из критериев качества нанопорошка являются размерность его частиц и их сферическая форма. Технология позволяет обеспечивать эти критерии.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта,

которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2. Экологичность технологии; С3. Простота технологии; С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями; С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ; Сл2. Нехватка рабочего персонала; Сл3. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования.</p>
<p>Возможности: В1. Сотрудничество с другими научными центрами; В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В3. Повышение стоимости конкурентных разработок; В4. Финансирование зарубежных заказчиков.</p>	
<p>Угрозы: У1. Появление новых конкурентов; У2. Прекращение финансирования.</p>	

Второй этап. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта, описывающая связь сильных сторон проекта с возможностями представлена в таблице 3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности	B1	+	0	+	0	+
	B2	+	-	0	-	-
	B3	0	-	-	+	-
	B4	+	0	0	+	0

Третий этап. Составляется итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2. Экологичность технологии; С3. Простота технологии; С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями; С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ; Сл2. Нехватка рабочего персонала; Сл3. Отсутствие оборудования для более углубленного исследования.</p>
<p>Возможности: В1. Сотрудничество с другими научными центрами; В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В3. Повышение стоимости конкурентных разработок; В4. Финансирование зарубежных заказчиков.</p>	<p>Сотрудничество с другими научными центрами обеспечит усиление эффективности технологии, её простоты и создаст более универсальный каровый состав. Заявленная эффективность технологии и её сравнительный анализ с конкурирующими разработками обеспечит появление дополнительного спроса. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями привлечет дополнительное финансирование.</p>	<p>Сотрудничество с другими научными центрами поможет упростить технологию и решит нехватку рабочего персонала. Финансирование зарубежных заказчиков поможет решить отсутствие оборудования для более углубленного исследования.</p>
<p>Угрозы:</p>	<p>Общий уровень рынка</p>	<p>Отсутствие оборудования</p>

У1. Появление новых конкурентов; У2. Прекращение финансирования.	нанопорошков на данный момент не способствует появлению новых конкурентов. Заявленная эффективность и простота технологии, а также её улучшение будут способствовать финансированию.	для более углубленного исследования и отсутствие улучшения технологии может вызвать прекращение финансирования.
---	--	---

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Данное исследование было проведено рабочей группой из двух человек: инженер-исследователь лаборатории физикохимии высокодисперсных материалов ИФПМ СО РАН (научный руководитель) и дипломник.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель и дипломник
Теоретические и экспериментальные	5	Изучение свойств нанопорошков в зависимости от	Дипломник

исследования		параметров ЭВП на основе литературного обзора	
	6	Проведение теоритических расчётов для проведения согласованного режима ЭВП при заданных параметрах	Дипломник
	7	Проведение экспериментов на основе ранее проведенного литературного обзора и теоритических расчётов	Научный руководитель и дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных данных	Научный руководитель и дипломник
	9	Написание ВКР, подготовка к защите	Дипломник
	10	Проверка ВКР	Научный руководитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и определяется по формуле:

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ожцi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{максi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Продолжительность выполняемых работ рассчитывается по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{q_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Рассчитаем трудоемкость и продолжительность для каждого этапа выполненных работ:

1. Составление и утверждение технического задания.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 4}{5} = 2,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{q_i} = \frac{2,2}{1} = 2,2 \text{ раб.дн.}$$

2. Подбор и изучение материалов по теме.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 14}{5} = 11,6 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{q_i} = \frac{11,6}{1} = 11,6 \text{ раб.дн.}$$

3. Выбор направления исследований.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{q_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб.дн.}$$

4. Календарное планирование работ по теме.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{Q_i} = \frac{1,4}{2} = 0,7 \text{ раб.дн.}$$

5. Изучение свойств нанопорошков в зависимости от параметров ЭВП на основе литературного обзора.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 7}{5} = 4,6 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{Q_i} = \frac{4,6}{1} = 4,6 \text{ раб.дн.}$$

6. Проведение теоритических расчётов для проведения согласованного режима ЭВП при заданных параметрах.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{Q_i} = \frac{3,2}{1} = 3,2 \text{ раб.дн.}$$

7. Проведение экспериментов на основе ранее проведенного литературного обзора и теоритических расчётов.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{Q_i} = \frac{5,2}{2} = 2,6 \text{ раб.дн.}$$

8. Анализ полученных данных.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{Q_i} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ раб.дн.}$$

9. Написание ВКР, подготовка к защите.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 20 + 2 \cdot 30}{5} = 24 \text{ чел. - дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{q_i} = \frac{24}{1} = 24 \text{ раб. дн.}$$

10. Проверка ВКР.

$$t_{ожцi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел. - дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожцi}}{q_i} = \frac{5,8}{1} = 5,8 \text{ раб. дн.}$$

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,2, \quad (5)$$

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

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

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

Рассчитаем длительность каждого этапа выполнения работ в календарных днях:

1. Составление и утверждение технического задания.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2,2 \cdot 1,2 = 3 \text{ кал.дн.}$$

2. Подбор и изучение материалов по теме.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 11,6 \cdot 1,2 = 14 \text{ кал.дн.}$$

3. Выбор направления исследований.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1,4 \cdot 1,2 = 2 \text{ кал.дн.}$$

4. Календарное планирование работ по теме.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 0,7 \cdot 1,2 = 1 \text{ кал.дн.}$$

5. Изучение свойств нанопорошков в зависимости от параметров ЭВП на основе литературного обзора.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 4,6 \cdot 1,2 = 6 \text{ кал.дн.}$$

6. Проведение теоритических расчётов для проведения согласованного режима ЭВП при заданных параметрах.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3,2 \cdot 1,2 = 4 \text{ кал.дн.}$$

7. Проведение экспериментов на основе ранее проведенного литературного обзора и теоритических расчётов.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2,6 \cdot 1,2 = 3 \text{ кал.дн.}$$

8. Анализ полученных данных.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 0,9 \cdot 1,2 = 1 \text{ кал.дн.}$$

9. Написание ВКР, подготовка к защите.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 24 \cdot 1,2 = 29 \text{ кал.дн.}$$

10. Проверка ВКР.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 5,8 \cdot 1,2 = 7 \text{ кал.дн.}$$

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел.-дн.	t_{maxi} , чел.-дн.	$t_{ожи}$, чел.-дн.			
1	1	4	2,2	Научный руководитель	2,2	3
2	10	14	11,6	Дипломник	1,6	14
3	1	2	1,4	Научный руководитель	1,4	2
4	1	2	1,4	Научный руководитель и дипломник	0,7	1
5	3	7	4,6	Дипломник	4,6	6
6	3	5	3,2	Дипломник	3,2	4
7	4	7	5,2	Научный руководитель и дипломник	2,6	3
8	1	3	1,8	Научный руководитель и дипломник	0,9	1
9	20	30	24	Дипломник	24	29
10	5	7	5,8	Научный руководитель	5,8	7

Научный руководитель был занят в течение 17 календарных дней, дипломник 58 календарных дней.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб.	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ													
			Февр.		Март			Апр.			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	
1	Научный руководитель	3	■													
2	Дипломник	14			■	■	■									
3	Научный руководитель	2					■									
4	Научный руководитель и дипломник	1					■									

5	Дипломник	6													
6	Дипломник	4													
7	Научный руководитель и дипломник	3													
8	Научный руководитель и дипломник	1													
9	Дипломник	29													
10	Научный руководитель	7													

 – дипломник

 – руководитель

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расх\ i} , \quad (6)$$

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

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для исследования, представлены в таблице 8.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы Z_m , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Титановая проволока ВТ1-0 0,35 мм	кг	1	2	1	4800	3500	4500	4800	7000	4500
Баллон аргоновый 40л	л	1	1	1	2000	4500	3600	2000	4500	3600
Баллон азотный 40 л	л	1	1	1	1000	1800	1300	1000	1800	1300
Итого:								7800	13300	9400

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для проведения научных работ было приобретено специальное оборудование, представленное в таблице 9. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование работ	Кол-во измерений			Цена измерений, руб.			Общая стоимость, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3

		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100	4	6	5	7000			28000	42000	35000
2	Рентгеновский дифрактометр «ДРОН-07»	4	6	5	7000			28000	42000	35000
Итого:								56000	84000	70000

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (8)$$

где $Z_{он}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководи- тель	Дипломник
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	54	54
– праздничные дни.	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск;	48	48
– невыходы по болезни.		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p, \quad (10)$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{mc});

k_o – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{mc});

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

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_{np}	k_o	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	21000	0,3	0,2	1,3	40950	1698	17	28861
Дипломник	7800	0,3	0,2	1,3	15210	630	58	36552
Итого $Z_{осн}$								65413

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной заработной платы для научного руководителя (исполнение 1):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 28860,9 = 3463,2 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительной заработной платы для дипломника (исполнение 1):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 36551,6 = 4386,2 \text{ руб.}$$

4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (12)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.			Отчисления во внебюджетные фонды, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Научны руководитель	28861			3463	4329	3752	9697	9957	9784
Дипломник	36552			4386	5483	4752	12281	12610	12391
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,3								
Итого:							21978	22567	22175

4.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 13.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	7800	13300	9400	пункт 1.2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	56000	84000	70000	пункт 1.2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	65413	65413	65413	пункт 1.2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7849	9812	8504	пункт 1.2.4.4

5. Отчисления во внебюджетные фонды	21978	22567	22175	пункт 1.2.4.5
6. Бюджет затрат НТИ	159040	195092	175492	сумма ст. 1-5

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 13). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (13)$$

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

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

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

Исполнение 1:

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{159040}{220000} = 0,72.$$

Исполнение 2:

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{195092}{220000} = 0,89 .$$

Исполнение 3:

$$I_{финр}^{исп.3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{175492}{220000} = 0,79 .$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i , \quad (14)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой параметр коэффициента	Исп 1.	Исп. 2	Исп. 3
1.Функциональная мощность	0,2	4	3	4
2. Энергоэкономичность	0,25	5	4	4
3. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	4
4. Надежность	0,15	5	4	4

5. Уровень шума	0,05	3	2	3
6. Затраты сырья	0,15	4	3	4
7. Экологичность производства	0,1	5	3	4
Итого	1	30	23	27

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,45 ;$$

$$I_{p-исп2} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 2 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 3,45 ;$$

$$I_{p-исп3} = 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,95 .$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{испi}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр1}}, I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр2}} \text{ и т.д.} \quad (15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} . \quad (16)$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатель	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,72	0,89	0,79
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,45	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	6,18	3,88	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	–	1,59	1,23

Вывод: Анализ ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности показал, что проведение научного исследования было оправданно, и оно является оптимальным по исполнению, а технология синтеза нанопорошков методом ЭВП по показателям эффективности превосходит конкурирующую технологию синтеза нанопорошков методом лазерной абляции.

5 Социальная ответственность

На сегодняшний день безопасность жизнедеятельности (БЖД) человека играет огромную роль в его производственной деятельности. БЖД – это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в окружающей его среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путём снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений.

Данная глава посвящена обеспечению безопасных условий труда в процессе производства нанопорошков и изучении характеристик электрического взрыва проводников (ЭВП) титана. Получение нанопорошков металлов заключается в следующем: в металлический проводник малого диаметра (< 100 мкм) вводят ток большой плотности ($\geq 10^7$ А/см²), который обеспечивает величину введенной энергии, позволяющую свести к минимуму время нахождения проводника в жидкой фазе и перевести его сразу в газообразное состояние. т.е. взорвать его.

Процесс взрыва металлической проволоки можно разделить на несколько этапов:

1. Нагрев проводника до температуры плавления, плавление и нагрев в жидкой фазе;
2. Взрыв проводника, характеризующийся его переходом в паро-газовое состояние с резким увеличением радиуса;
3. Расширение продуктов взрыва и остаточный пробой в виде дуги по ним, если в батарее конденсаторов осталась энергия.

Нанопорошок оксида титана применяется: в химической промышленности в качестве катализатора различных реакций; в пищевой промышленности в качестве красителя; в оптике для создания нелинейных кристаллов; в микроэлектронике для создания газочувствительных покрытий.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе производства и эксплуатации. Основная часть научно-исследовательской работы была выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН.

Все вредные и опасные факторы приведены согласно ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.

5.1.1 Анализ опасных производственных факторов

Таблица 17 – Опасные факторы, возникающие при выполнении работ по производству нанопорошков и исследовании ЭВП титана

Источник фактора	Фактор	Нормативные документы
высоковольтные части самой установки и связанные с ней элементы	повышенное значение напряжения в электрической цепи	ГОСТ 12.1.030–81 ГОСТ 12.1.038–82
электрический привод механизма подачи проволоки	движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	ГОСТ Р 51333-99
внутренние стенки взрывной камеры и электроды, нанопорошок	повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов	—

Рассмотрим по отдельности каждый фактор:

Повышенное значение напряжения в электрической цепи. Регламентируется ГОСТ 12.1.038-82 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов” и ГОСТ 12.1.030-81 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”.

Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, шины и незаземленные элементы электрооборудования. Следует пользоваться основными и дополнительными средствами защиты при эксплуатации электрооборудования. К основным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: изолирующие штанги всех видов; изолирующие клещи; указатели напряжения и др. К дополнительным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: диэлектрические перчатки и боты; диэлектрические ковры и изолирующие подставки; штанги для переноса и выравнивания потенциала. Корпуса всех электроустановок должны иметь заземление. Используются предохранители, автоматические выключатели, системы защиты от поражения электрическим током.

Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования. Технологические принципы движущихся механизмов и машин регулируются ГОСТ Р 51333-99 “Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Термины, технологические решения и технические условия”. В данном случае в качестве подвижного механизма выступает электрический привод с механизмом подачи проволоки.

Движущиеся части привода могут нанести серьезный урон здоровью человека, такие как ушибы, рваные раны, перелом костей. Согласно нормативному документу, машины и механизмы такого типа должны быть оснащены защитным кожухом, а если наблюдение за механизмом необходимо, то используются индивидуальные средства защиты, а в защитном кожухе делается смотровое отверстие. В данном случае механизм подачи проволоки находится непосредственно во внутреннем объеме установки.

Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов. Т.к. ЭВП – процесс, проходящих при высоких температурах, внутри замкнутого герметичного объема, необходимо соблюдать некоторые меры безопасности во избежание таких травм, как термических ожо-

гов. Поэтому необходимо либо вводить системы охлаждения в производственный процесс, либо проводить операции, связанные с обработкой конечного продукта и эксплуатацией оборудования через определенное время после прекращения работы установки.

5.1.2 Анализ вредных производственных факторов

Таблица 18 – Вредные факторы, возникающие при выполнении работ по производству нанопорошков и исследовании ЭВП титана

Источник фактора	Фактор	Нормативные документы
взрыв проволоки	повышенный уровень шума на рабочем месте	СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96.
взрывающийся проводник, токопроводящие шины и кабели	повышенная напряженность магнитного поля	СанПиН 2.2.4.3359-16
отсутствие окон в рабочем помещении	отсутствие или недостаток естественного света	
отсутствие источника искусственного освещения во взрывной камере	недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2011
наличие в производстве мелкодисперсного материала	повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	СП 60.13330.2012
отсутствие или плохая работа систем поддержания микроклимата	повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	СанПиН 2.2.4.548-96
циклический процесс	монотонность труда	Р 2.2.2006-05

Рассмотрим по отдельности каждый фактор:

Повышенный уровень шума на рабочем месте. Уровень шума на рабочем месте регулируется СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”. Основным источником шума в производственном шуме является звуковая волна, порождаемая взрывным расширением металлической проволоочки. Также источником шума может быть вакуумный насос.

Шум воздействует на кору головного мозга, отчего умственная работа подчас становится непосильной, падает концентрация внимания, а утомление наступает гораздо быстрее и сильнее, чем обычно. В качестве индивидуальной защиты органов слуха используются специальные наушники.

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБ

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд I степени	тяжелый труд II степени	тяжелый труд III степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Наряженный труд I степени	60	60	–	–	–
Наряженный труд II степени	50	50	–	–	–

Повышенная напряженность магнитного поля. ПДУ магнитных полей регулируются СанПиН 2.2.4.3359-16 “Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах”. Источниками электромагнитных полей являются взрывающий проводник, шины и кабели установки.

При воздействии сильных магнитных полей у человека возрастает частота пульса, начинает болеть голова, ухудшается самочувствие и чувствуется слабость во всем организме. При этом происходит сильное изменение электрической активности мозга. В качестве снижения напряженности магнитного поля возможно снижение индуктивности токопроводящих шин и кабелей, а также экранирование рабочей зоны.

Таблица 20 – Предельно допустимые уровни воздействия импульсного магнитного поля частотой 50 Гц в зависимости от режима генерации

Т, ч	$H_{ПДУ}$ [А/м]		
	Режим I	Режим II	Режим III
$\leq 1,0$	6000	8000	10000
$\leq 1,5$	5000	7500	9500
$\leq 2,0$	4900	6900	8900
$\leq 2,5$	4500	6500	8500
$\leq 3,0$	4000	6000	8000
$\leq 3,5$	3600	5600	7600
$\leq 4,0$	3200	5200	7200
$\leq 4,5$	2900	4900	6900
$\leq 5,0$	2500	4500	6500
$\leq 5,5$	2300	4300	6300
$\leq 6,0$	2000	4000	6000
$\leq 6,5$	1800	3800	5800
$\leq 7,0$	1600	3600	5600
$\leq 7,5$	1500	3500	5500
$\leq 8,0$	1400	3400	5400

Режим I – импульсное с $\tau_{И} \geq 0,02$ с, $\tau_{П} \leq 2$ с,

Режим II – импульсное с 60 с $\geq \tau_{И} \geq 1$ с, $\tau_{П} > 2$ с,

Режим III – импульсное с 60 с $\leq \tau_{И} < 1$ с, $\tau_{П} > 2$ с,

где $\tau_{И}$ – длительность импульса, с,

$\tau_{П}$ – длительность паузы между импульсами, с.

Отсутствие или недостаток естественного света. Уровень естественного освещения регулируется СП 52.13330.2011 “Естественное и искусственное освещение”. Недостаток в светлое время суток естественного освещения обусловлено тем, что рабочее помещение находится не у несущих стен, а в глубине этажа.

Дефицит ультрафиолетового облучения приводит к нарушению обмена веществ и снижению резистентности организма. Поэтому во время рабочего

перерыва рекомендуется либо выходить на улицу, либо в части здания, куда проникает естественный свет.

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Освещенность рабочей зоны также регулируется СП 52.13330.2011. Недостаточная освещенность в данном случае относится только к внутреннему объему взрывной камеры, где отсутствует локальное освещение. Для облегчения эксплуатации рекомендуется использование налобного фонарика.

Данное производственное помещение соответствует разряду зрительной работы IVб. Для такого помещения нужно обеспечивать освещенность не менее 500 лк и рекомендуются к использованию люминесцентные лампы типа ЛД, МГЛ и СД.

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны регулируется СП 60.13330.2012 “Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха”. При проведении работ связанных с выделением инородных частиц в воздух рабочего помещения следует обеспечить оптимальное качество воздуха. В данном случае источником запыленности являются работы, связанные с транспортировкой, упаковкой конечного продукта. Во время проведения работ не требуются средства индивидуальной защиты органов дыхания, головы, глаз и спецодежда, т.к. попадание порошка в атмосферу в процессе его транспортировки и упаковки минимальны. Но тем не менее, необходима первичная основная вентиляция.

Нанодисперсные частицы, находящиеся в воздухе, могут травмировать слизистые, а при длительном воздействии вызвать хронические заболевания дыхательных путей. Для обеспечения требуемого качества воздуха рабочего помещения применяется механическая вентиляция с частичным использованием естественной.

Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны. Требования к температурному режиму в производственных помещениях регулируются СанПиН 2.2.4.548-96 “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений”.

Согласно нормативному документу, работа при проведении исследований относится к категории Па. Соответственно, в холодный период года показатели микроклимата должны соответствовать следующим значениям:

- температура воздуха 19-21°C;
- относительная влажность воздуха 40-60%;
- скорость движения воздуха 0,2 м/с.

В холодный период года показатели микроклимата должны соответствовать следующим значениям:

- температура воздуха 20-22°C;
- относительная влажность воздуха 40-60%;
- скорость движения воздуха 0,2 м/с.

Оптимальные показатели микроклимата в рабочем помещении обеспечиваются за счет систем отопления, кондиционирования и вентиляции.

Монотонность труда. Физические перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда устанавливаются Р 2.2.2006-05 “Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда”.

Необходимо учитывать физические динамические нагрузки рабочего за 8 часовую смену, подъем и перемещение тяжестей на расстояние от 1 метра с пола или с рабочей поверхности, стереотипные рабочие движения, рабочая поза, интеллектуальные нагрузки, сенсорные нагрузки, эмоциональные нагрузки и т.д. Для уменьшения влияния данных факторов рекомендуется делать перерывы продолжительностью в 7% от рабочего времени.

5.2 Экологическая безопасность

Реализуемым материалом в научно-исследовательской работе является оксид титана (TiO_2). В чистом виде оксид титана является экологически безвредным веществом, не выделяет токсичных веществ и не оказывает при непосредственном контакте влияния на организм человека. Он пожаро- и взрывобезопасен, разрешен к перевозке любым видом транспорта, и его применяют в пищевой промышленности как добавку и краситель (E 171). Но в различных соединениях он может проявлять токсичные свойства. На данный момент существуют экспериментальные методы определения токсичности наночастиц оксида титана. Например, биолюминесцентный метод, с помощью которого было выявлено, что TiO_2 с добавлением марганца уже при концентрации 0,03 мг/мл превышает допустимый уровень токсичности.

Более того, оксид титана выступает катализатором в процессах активации, бактерицизации, очищения воздуха и воды и дегазации. Также существуют разработки самоочищающихся строительных материалов (например, бетон), покрытых фотокатализаторами, в числе которых выступает TiO_2 .

Также в установке используется рабочая смесь газов (азон-кислород или аргон-кислород), которая после отработки не выбрасывается в атмосферу, а откачивается в резервуар.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятным источником ЧС может быть короткое замыкание с последующим возгоранием измерительного оборудования. Для предотвращения ЧС использовать исправное электрооборудование, перед эксплуатацией произвести осмотр оборудования на наличие неисправностей, проверить систему предохранителей и защиты электрооборудования.

Также при неправильном выборе рабочего газа или соотношения газов в газовой смеси возможно возгорание высоковольтного изолятора в установке. Для предотвращения ЧС необходимо с помощью измерительного оборудо-

дования следить за давлением во взрывной камере и перед эксплуатацией осмотреть соединительные элементы вакуумной системы.

Другим вероятным источником является разрыв одного и нескольких конденсаторов ёмкостного накопителя энергии и последующие возгорание. Необходимо следить за уровнем задаваемого напряжения и током разрядки ЕНЭ.

Для всех случаев при возгорании немедленно сообщить о пожаре по телефону 01, дать сигнал тревоги, принять меры по организации эвакуации людей. Одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Требования к охране труда

Согласно Постановлению Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 года № 1/29 все сотрудники и руководитель обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знания требований охраны труда для обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма. Особенно это важно для данного производства, работающего с высоковольтным оборудованием.

5.4.2 Женский труд

Применение труда женщин согласно статье 253 ТК РФ ограничивается на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на подземных работах, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию. Также женщины не допускаются к работам, связанным с подъемом и перемещением тяжестей.

5.4.3 Отпуска

Минимальный срок отпуска согласно статье 115 ТК РФ составляет 28 дней. Работа с высоковольтным оборудованием относится к категории опас-

ных работ и трудящимся в соответствии со статьей 117 ТК РФ возможно увеличение продолжительности отпуска. Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

5.4.4 Медицинские осмотры и лечебно-профилактическое питание

Согласно статье 213 ТК РФ, работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, проходят обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года - ежегодные) медицинские осмотры для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний. В соответствии с медицинскими рекомендациями указанные работники проходят внеочередные медицинские осмотры.

Поскольку данное производство не относится к категории вредных, то выдача молока и лечебно-профилактического питания или компенсационная выплата не предусмотрены.

5.4.5 Рабочее место при выполнении работ

Основная часть ВКР, связанная с получением информации с измерительного оборудования и её постобработки производится в положении сидя. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя”, к рабочему месту сидя соответствуют следующие требования:

- Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информа-

- ции и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;
- Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда;
 - Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости;
 - Выполнение очень частых трудовых операций должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости.

Заключение

Из представленного исследования следует, что содержание анатаза в образцах варьируется от 50 до 76 %. Необходимо отметить, что содержание в образцах анатаза коррелирует со средним размером частиц. С увеличением среднего размера частиц содержание анатаза возрастает. Данный факт может быть объяснен тем, что с уменьшением размера частиц более устойчивой является высокотемпературная фаза (рутил). Это показывает, что при прочих равных параметрах ЭВП содержание той или иной фазы может варьироваться средним размером частиц. Так увеличение содержания в образцах анатаза может быть достигнуто увеличением диаметра проводника, давления буферного газа, приводящих к увеличению среднего размера частиц при ЭВП. Для получения же образцов на основе рутила более целесообразно уменьшать диаметр проволоки и давление буферного газа. Показано, что использование более дешевого газа (азот) позволяет получить образцы с параметрами, аналогичными для инертного газа.

Список использованных источников

1. Локшин Э.П., Седнева Т.А. Особенности перехода анатаза в рутил// Журнал общей химии. 2011. – Т. 81. – № 9. – С. 1409-1414.
2. Большая советская энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1975. – Т. 22. – 628 с.
3. Большая советская энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1970. – Т. 1. – 608 с.
4. Пугачевский М.А. Морфологические и фазовые изменения аблированных частиц TiO_2 при термическом отжиге// ЖТФ. – 2012. – Т. 38. – В. 7.
5. Сфера применения TiO_2 [Электронный ресурс]//URL: <http://www.titanium-chemical.com/scope-tio2/>
6. Пугачевский М.А. Фотокаталитические свойства наночастиц диоксида титана, полученных методом лазерной абляции//Российские технологии. – 2013. – Т. 8. – № 7-8. – С. 18-21.
7. Воронцов А.В., Козлова Е.А. и др. Фотокатализ: Преобразование энергии света для окисления, дезинфекции и разложения воды//Кинетика и катализ. – 2010. – Т. 51. – № 6. – С. 829-836.
8. Абдуллин И.Ш., Канарская С.А. и др. Нанодисперсные материалы на основе оксида титана в микробиологической, медицинской и пищевой промышленности//Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 10. – С. 158-165.
9. Ирхина И.А., Кобзев Е.Н. и др. Исследование токсичности наночастиц SiO_2 и TiO_2 биолюминисцентным методом// Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 5. – С. 28-31.
10. Бричков А.С. Процесс формирования тонкопленочных и дисперсных материалов состава $Ti-Si-Co-O$, их газочувствительные свойства// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 4 (98). – С. 100-103.

11. Карпович Н.Ф., Пугачевский М.А., Штарев Д.С. Влияние условий синтеза на форму и размерные характеристики нанокристаллов TiO₂// Российские нанотехнологии. – 2013. – Т. 8. – № 11-12. – С. 65-68.
12. Поллер Б.В., Косинов В.А. и др. О характеристиках оптических полимерных плёнок нанопокрывтиями TiO₂//Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 3-6.
13. Романова В.М., Иваненков Г.В. и др. Электрический взрыв тонких проводников: Три группы материалов// Физика плазмы. – 2015. – Т. 41. – № 8. – С. 671-692.
14. Орешкин В.И., Хищенко К.В. и др. Образование страт при быстром электрическом взрыве цилиндрических проводников//Теплофизика высоких температур. – 2012. – Т. 50. – № 5. – С. 625.
15. Ткаченко С.И., Мингалеев А.Р. и др. Распределение вещества в токопроводящей плазме и плотном керне в канале разряда при взрыве проволочек// Физика плазмы. – 2009. – Т. 35. – № 9. – С. 798-818.
16. Wada N., Akiyoshi K., Morita K., Hokamoto K. Reaction synthesis of several titanium oxides through electrical wire explosion in air and in water// Ceramics International. – 2013. – V. 39. – P. 7927–7933.
17. Tokoi Y., Suzuki T., Nakayama T. Synthesis of TiO₂ nanosized powder by pulsed wire discharge//Japanese Journal of Applied Physics. – 2008. – V. 47. – № 1. – P. 760-763.
18. Tokoi Y., Suzuki T., Nakayama T.: Abstr. 13th 21st Century COE Joint Int. Symp. – 2006. – p. 56.
19. Zou X.-B., Wang X.-X., Jiang W.-H. Nanopowder production by gas-embedded electrical explosion of wire//China Physics B. – 2013. – T 24. – № 4. – С. 045206.
20. Zou X.-B., Wang X.-X., Jiang W.-H. Study of nanopowder production by gas-embedded electrical explosion of wire// 17th International Conference on High Power Particle Beams. – 2008. – С. 6203002.

21. Ильин А.П., Назаренко О.Б. Проблемы совершенствования электро-взрывной технологии получения нанопорошков//Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51. – № 7. – С. 61-64.
22. Tokoi Y., Suzuki T., Nakayama T. Effect of energy deposition on TiO₂ nanosized powder synthesized by pulsed wire discharge//Current Applied Physics. – 2009. – № 9. – S193-S196.
23. Михайлов М.Д. Физико-химические основы получения наночастиц и наноматериалов. Химические методы получения. СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" – 2012.
24. Карпович М.Ф., Пугачевский М.А. Гидротермальный синтез нанопорошков TiO₂ разной морфологии//VI Всероссийская конференция по наноматериалам с элементами научной школы для молодёжи. М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) – 2016. – С. 53-54.
25. Иванов А.М., Мыслицкая Н.А., Капелевич М.С. Получение наночастиц при лазерной абляции металлических поверхностей в жидкости и исследование полученных структур оптическими методами//Известия КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 18-24.
26. Пугачевский М.А. УФ-спектр поглощения наночастиц диоксида титана, аблированных лазерным излучением//Письма в журнал технической физики. – 2012. – Т. 38. – № 24. – С. 53-59.
27. Пугачевский М.А. Морфологические и фазовые изменения аблированных частиц TiO₂ при термическом отжиге// Письма в журнал технической физики. – 2012. – Т. 38. – № 7. – С. 56-63.