

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Импульсный плазмохимический синтез порошка диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка

УДК 533.9:66.011.091:661.88-022.532

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ	Сазонов Р.В.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделев Д.В.	к.т.н.		

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

**Планируемые результаты обучения
 выпускников ООП «Пучковые и плазменные технологии»
 по направлению 16.04.01 «Техническая физика»**

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов, предназначенных для использования в области технической физики
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать и использовать углублённые теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе из области технической физики
ОПК(У)-3	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-4	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности в области технической физики
ОПК(У)-5	Способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях, выставках и презентациях
ПК(У)-1	Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-2	Способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств
ПК(У)-3	Готовность осваивать и применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач в области технической физики, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов
ПК(У)-4	Способность представлять результаты исследования в формах отчётов, рефератов, публикаций и презентаций
ПК(У)-5	Готовность принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе по направлению «Техническая физика», участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов
ПК(У)-6	Способность проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся
ПК(У)-7	Способность применять и разрабатывать новые образовательные технологии
ПК(У)-8	Способность разрабатывать и оптимизировать современные наукоёмкие технологии в областях технической физики, связанных с применением пучковых и плазменных технологий, с учетом экономических и экологических требований
ПК(У)-9	Способность разрабатывать, проводить наладку и испытания, эксплуатировать наукоёмкое технологическое и аналитическое оборудование
ПК(У)-10	Готовность решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Уровень образования магистратура
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга
 Период выполнения (осенний/весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(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)
30.10.2020	<i>Глава 1 Обзор литературы</i>	15
31.12.2020	<i>Глава 2 Экспериментальная установка и методы анализов нанопорошков</i>	15
20.04.2021	<i>Глава 3 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения</i>	30
05.05.2021	<i>Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
15.05.2021	<i>Глава 5 Социальная ответственность</i>	15
25.05.2021	<i>Заключение</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ	Сазонов Р.В.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделев Д.В.	к.т.н.		

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Сиделев Д.В.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна

Тема работы:

Импульсный плазмохимический синтез порошка диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 36-83/с от 05.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – импульсный плазмохимический синтез наноразмерного диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка. Полученный порошок должен обладать высокой фотокаталитической активностью под действием УФ источника, а также должен быть эффективен при облучении видимым светом.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников с целью выяснения основных методов синтеза нанопорошков и определения достижений мировой науки и техники в области их получения и применения; 2. Постановка цели и задач научного исследования; 3. Описание экспериментальной установки и методов анализа нанопорошков 4. Получение нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ импульсным плазмохимическим методом и его характеристика 5. Обсуждение результатов проведенных исследований; 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7. Социальная ответственность; 8. Заключение по проделанной работе.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500 (блок-схема ускорителя, схема плазмохимического реактора, параметры ускорителя); 2. Схема получения нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$; 3. Концентрация исходных реагентов композита $Zn_xO_y@TiO_2$; 4. Методы исследования нанокompозитных порошков; 5. ПЭМ-изображения и гистограммы распределения частиц по размерам образцов $Zn_xO_y@TiO_2$; 6. Пространственное распределение элементов $Zn_xO_y@TiO_2$; 7. Микродифрактограммы $Zn_xO_y@TiO_2$; 8. РФА и ИК-спектрометрия $Zn_xO_y@TiO_2$; 9. Фотокаталитическая активность $Zn_xO_y@TiO_2$; 10. Зависимость изменения концентрации метиленового синего от времени при воздействии света в УФ-области и в видимой области спектра; 11. Схема исследования фотокаталитических свойств $Zn_xO_y@TiO_2$; 12. Сравнение эффективности фотодеградации метиленового синего ZnO, TiO_2 и $Zn_xO_y@TiO_2$; 13. Заключение; 14. Список публикаций.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Трубченко Т.Г.
Социальная ответственность	Доцент ООД, к.б.н., Антоневиц О.А.
Иностранный язык	Доцент ОИЯ, к.ф.н., Зеремская Ю.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Экспериментальная установка и методы синтеза наноразмерного порошка TiO_2 , модифицированного наночастицами ZnO	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ	Сазонов Р.В.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Техническая физика

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

<i>1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Примерный бюджет проекта - 47 902,47 руб. на 3 месяца. В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы 10%
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
<i>2. Планирование и формирование бюджета технического проекта</i>	Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование бюджета затрат
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,8 Интегральный показатель эффективности – 4,8 Сравнительная эффективность проекта – 1

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проектирования проекта
4. Бюджет затрат
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	К.Э.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Лаптевой Ольге Павловне

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

Тема ВКР:

Импульсный плазмохимический синтез порошка диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: импульсный плазмохимический синтез наноразмерного диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка.</p> <p>Область применения: химическая и фармацевтическая промышленность, нанoeлектроника, машиностроение, лакокрасочная промышленность, для очистки сточных вод и др.</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение площадью 31,4 м², 1 этаж, без окон</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения – ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – ГОСТ Р 12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность – ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность – ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования – ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) – ПОТ Р М-016-2001 – РД 153-34.0-03.150

<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума – Отсутствие естественного света – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека – Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне – Повышенная пожаро- и взрывоопасность – Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выброс газа Гидросфера: воздействие отсутствует Литосфера: производственные отходы; отработанное масло</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – короткое замыкание в силовых цепях питания оборудования; – деструкция плазмохимического реактора (возникает опасность взрыва); – пролив химических реактивов при подготовке к эксперименту; – отключение подачи холодной воды. <p>Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Лаптева Ольга Павловна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 134 страницы, включающие 30 рисунков, 23 таблицы, 42 формулы, 102 источника литературы и 1 приложение.

Ключевые слова: нанокompозит $Zn_xO_y@TiO_2$, импульсный плазмохимический синтез, электронный пучок, фотокаталитическая активность

Объект исследования – импульсный плазмохимический синтез наноразмерного диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка.

В данной работе рассмотрен нанокompозит $Zn_xO_y@TiO_2$, который включает в себя самый известный на сегодняшний день фотокаталитический материал TiO_2 и широко используемый в химической и фармацевтической промышленности порошок ZnO . Изучены методы получения данного нанокompозитного порошка. Экспериментальным путем с помощью импульсного плазмохимического метода данный нанокompозит синтезирован и с помощью методик рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, инфракрасной спектроскопии, методики разложения метиленового синего изучены физико-химические свойства полученных нанопорошков.

В результате работы был получен нанокompозит $Zn_xO_y@TiO_2$, который, по сравнению с изолированными нанопорошками ZnO и TiO_2 , показал более высокую фотокаталитическую активность под действием УФ источника, а также, в отличие от наноструктур ZnO и TiO_2 , эффективен и при облучении видимым светом.

Область применения данного нанокompозита: в оптике для нанесения на экраны мониторов, окна, зеркала; в медицине в качестве бактерицидных покрытий; в экологии для очистки воды и воздуха.

Обозначения, сокращения

ИК	– Инфракрасный
МС	– Метиленовый синий
СЭМ	– Сканирующая электронная микроскопия
ПЭМ	– Просвечивающая электронная микроскопия
РФА	– Рентгенофазовый анализ
ИК	– Инфракрасный
УФ	– Ультрафиолетовый
ГИН	– Генератор импульсных напряжений
ДФЛ	– Двойная формирующая линия
ПХР	– Плазмохимический реактор
ОКР	– Область когерентного рассеяния
СанПиН	– Санитарные правила и нормы;
ГОСТ	– Государственный стандарт;
СП	– Свод правил;
ССБТ	– Система стандартов безопасности труда;
ЧС	– Чрезвычайная ситуация

Оглавление

Введение	16
Глава 1 Обзор литературы	18
1.1 Физико-химические свойства и области применения ZnO и TiO ₂	18
1.1.1 Фотокаталитические свойства нанокompозита ZnO@TiO ₂	20
1.2 Методы получения нанокompозита ZnO@TiO ₂	22
1.2.1 Золь гель метод.....	23
1.2.2 Гидротермальный метод	25
1.2.3 Химическое осаждение из газовой фазы (CVD).....	26
1.2.4 Сольвотермальный метод.....	27
1.2.5 Импульсный плазмохимический метод.....	28
Глава 2 Экспериментальная установка и методы анализа нанопорошков	30
2.1 Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500.....	30
2.1.1 Конструкция и параметры ТЭУ-500	30
2.1.2 Принцип работы и диагностическое оборудование ТЭУ-500.....	33
2.1.3 Формирование пучка и его ввод в реактор.....	36
2.1.4 Получение нанокompозитных порошков с использованием ТЭУ-500.....	36
2.2 Методы анализа нанопорошков.....	38
2.2.1 Просвечивающая электронная микроскопия	38
2.2.2 Рентгенофазовый анализ	41
2.2.3 ИК-спектрометрия.....	43
2.2.4 Методика определения фотокаталитической активности	44
Глава 3 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения	48

3.1 Импульсный плазмохимический синтез $Zn_xO_y@TiO_2$	48
3.2 Морфология, размер и структура $Zn_xO_y@TiO_2$	51
3.3 Фотокаталитические свойства $Zn_xO_y@TiO_2$	58
Выводы по Главе 3 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения	62
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
4.1 Предпроектный анализ	64
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	65
4.1.3 SWOT-анализ.....	68
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации и метод коммерциализации результатов.....	70
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	71
4.2.1 Структура работ в рамках выполнения работ	71
4.2.2 Контрольные события проекта	73
4.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования	73
4.3 Бюджет научно технического исследования.....	74
4.3.1 Материальные затраты	75
4.3.2 Расчет амортизационных отчислений.....	78
4.3.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды	79
4.3.4 Накладные расходы.....	80
4.3.5 Формирование бюджета затрат	80
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	81

Выводы по Главе 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	84
Глава 5 Социальная ответственность	86
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
5.2 Производственная безопасность.....	88
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
5.3 Экологическая безопасность.....	104
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
Выводы по Главе 5 Социальная ответственность	108
Заключение.....	109
Список публикаций	110
Список использованных источников	111
Приложение А.....	121

Введение

В последнее время получению наноразмерных порошков – порошков со средним диаметром частиц не более 100 нм [1] – уделяется достаточно большое внимание. Уменьшая размер наночастицы, мы улучшаем каталитическую и химическую активность, активность в твердофазных реакциях, процессах спекания [2]. В наноразмерном состоянии вещество начинает проявлять уникальные свойства (механические, электрические, тепловые, магнитные, оптические и др.), нетипичные для объёмных материалов. Эти материалы могут быть использованы в качестве фотокатализаторов для осуществления химических превращений (очистки жидких сред от органических, биологических примесей, клеток, субклеточных культур, белков и ДНК), как элементы электронных устройств (эмиттеры), а также в адресной доставке лекарств и генов к клеткам-мишеням живого организма [3].

Нанокompозит – это многофазный (многокомпонентный) твердый материал, в котором хотя бы одна фаза (компонент) снабжена средним параметром частиц в нанодиапазоне.

Цель работы состоит в получении закономерностей влияния условий синтеза на физико-химические свойства наноразмерного диоксида титана, модифицированного наночастицами оксида цинка ($Zn_xO_y@TiO_2$), полученного импульсным плазмохимическим методом.

Были обозначены следующие задачи:

- проведение экспериментов по получению образцов нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ импульсным плазмохимическим методом при изменении концентрации исходных реагентов;
- изучение морфологии, фазового, элементного и химического составов, а также исследование фотокаталитических свойств полученного наноразмерного порошка;

– исследование влияния разной концентрации исходных реагентов на физико-химические свойства полученных образцов.

Оригинальность исследования состоит в использовании для синтеза нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ импульсного электронного пучка, что позволяет проводить реакцию при комнатной температуре и получать нанокompозиты в один технологический цикл.

Создание фотокаталитически активных наноструктур, способных максимально эффективно преобразовывать солнечную энергию, является на сегодняшний день очень актуальным, что подтверждается большим количеством публикаций по данной теме.

Фотокаталитически активные наноструктуры востребованы в следующих областях применения: очистка сточных вод; самоочищающаяся поверхность; экологически чистая энергия; биомедицинская диагностика; лакокрасочная промышленность.

Глава 1 Обзор литературы

1.1 Физико-химические свойства и области применения ZnO и TiO₂

Диоксид титана (TiO₂) – это бесцветное твердое кристаллическое вещество, желтеющее при нагревании. Несмотря на бесцветность, является очень эффективным белым пигментом. TiO₂ не поглощает свет в видимой области спектра, отражаясь на поверхности. Он не токсичен и считается безопасным веществом. Является непрямым полупроводником n-типа, обладает развитой поверхностью и сенсibiliзируется органическими красителями.

TiO₂ встречается в трех основных кристаллических формах: анатаз, рутил и брукит с шириной запрещенной зоны 3,2, 3,0 и 1,9 эВ, соответственно (рисунок 1.1).

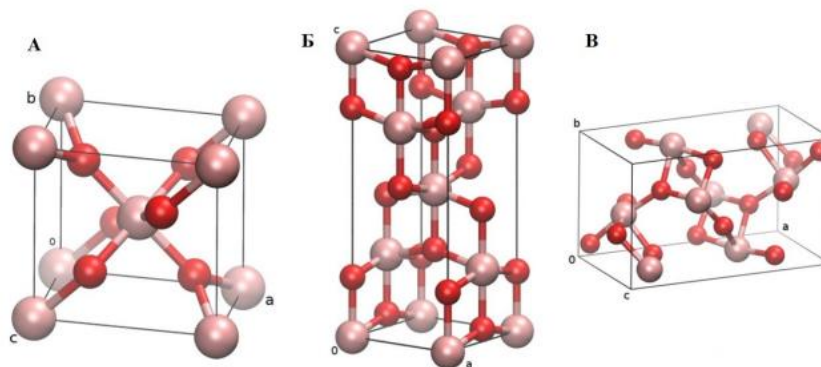


Рисунок 1.1 – Элементарные ячейки (а) рутила, (б) анатаза и (в) брукита [4]

Самая распространённая модификация – рутил. Чаще всего именно он содержится в титановой руде. Рутильный диоксид примерно на 30% лучше рассеивает свет, чем анатазный, а, соответственно, модификация анатаза показывает лучшую фотокаталитическую активность [5]. Особенность анатаза – второй по распространенности модификации диоксида титана – в том, что при температуре 650 °С изменяется кристаллическая структура и анатаз переходит в рутил, что, соответственно снижает фотокаталитическую активность TiO₂.

Брукит редко встречается в природе и, хотя эту форму получают в научных лабораториях, она не представляет большого коммерческого интереса.

В качестве пигмента TiO_2 используется в лакокрасочной промышленности и в производстве пластмасс и бумаги, что составляет 80 % потребления TiO_2 . Также он применяется в производстве косметических средств [6].

Оксид цинка (ZnO) – бесцветный кристаллический порошок (кристаллы гексагональной сингонии), нерастворимый в воде. ZnO является прямозонным полупроводником (проводимость n-типа) с шириной запрещённой зоны 3,37 эВ. Он эффективно поглощает свет длиной волны до ~ 385 нм [7]. При нагревании ZnO меняет белый цвет на жёлтый.

Оксид цинка кристаллизуется в трёх формах: гексагональный вюрцит, кубический сфалерит и кубическая модификация типа поваренной соли (рисунок 1.2). Наиболее часто встречаемая форма ZnO – вюрцит.

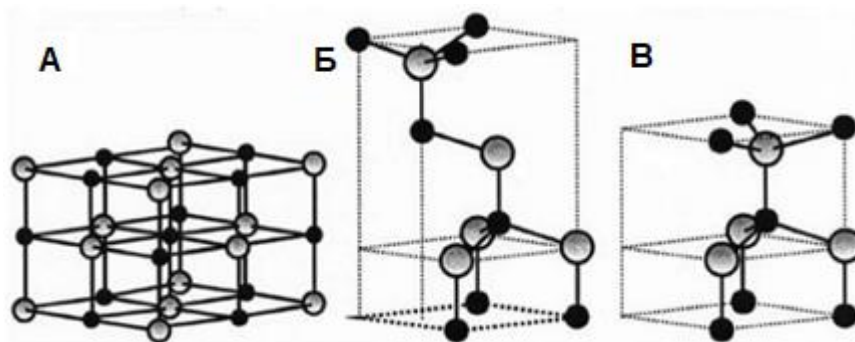


Рисунок 1.2 – Кристаллическая структура ZnO : (а) кубическая структура хлорида натрия; (б) кубический сфалерит; (в) гексагональный вюрцит [3]

ZnO широко применяют в химической и фармацевтической промышленности. Также его используют в стоматологии для создания цементов, в косметических кремах для загара, в резиновой, лакокрасочной промышленности и медицине, при производстве стекла и керамики [8–13]. Значительный интерес в настоящее время представляет использование оксида цинка в качестве фотокатализатора [14–17].

1.1.1 Фотокаталитические свойства нанокompозита ZnO@TiO₂

Фотокатализ – ускорение химической реакции, обусловленное совместным действием катализатора и облучения светом. Фотокатализ представляет большой интерес в связи с проблемой утилизации солнечной энергии. Это эффективный метод деградации органических соединений и электролиза/фотолиза воды. С помощью таких реакций, происходящих с запасанием свободной энергии системы, можно получить высокоэнергетическое и экологически чистое топливо из воды и газов атмосферы, являющихся доступным и практически неисчерпаемым сырьем. Одна из самых перспективных реакций – фотокаталитическое разложение воды на H₂ и O₂ при облучении видимым или УФ светом.

TiO₂ является на сегодняшний день широко распространённым материалом, обладающим высокой фотокаталитической активностью, нетоксичностью, химической стабильностью в различных условиях и относительной дешевизной. Однако, для его практического использования как фотоактивного вещества необходимо УФ-излучение. Солнечный свет не может использоваться для эффективной генерации свободных носителей заряда, поскольку доля УФ излучения в его спектре крайне незначительна (~5 % от числа квантов) [18].

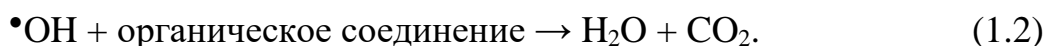
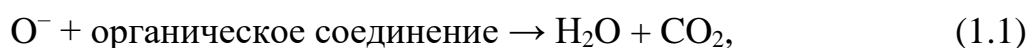
Таким образом, чтобы создать эффективное фотокаталитическое устройство с использованием TiO₂ необходим УФ источник. Большой минус УФ ламп – их неэкологичность и необходимость частой замены, что увеличивает стоимость устройства и его обслуживания. В этой связи, актуальным на сегодняшний день является расширение спектра поглощения TiO₂ в видимую область спектра, что позволит использовать бесплатную и возобновляемую солнечную энергию. Для этого применяют различные модификации структуры TiO₂, эффективно уменьшающие ширину его запрещенной зоны. В данной работе рассматривается модификация TiO₂ нанопорошком ZnO, что является

оригинальным подходом к созданию катализаторов, обладающих высокой селективностью и эффективностью под воздействием не только УФ света, но и видимого или солнечного излучения.

ZnO является полупроводником n-типа. TiO₂ по своей природе тоже является полупроводником n-типа, но может быть легирован для получения полупроводимости p-типа [19]. Гетеропереход полупроводник-полупроводник улучшает фотокаталитическую активность получаемого материала.

Улучшение фотокаталитической активности нанокompозита ZnO@TiO₂ связано с переносом электронов из зоны проводимости ZnO на TiO₂ и дырок из валентной зоны TiO₂ на ZnO. Этому процессу способствует внутреннее поле, позволяющее использовать высокую концентрацию чрезвычайно реакционных электронов и дырок для окислительно-восстановительных реакций при наличии в окружающей среде молекул кислорода и воды [20]. В результате гибридные нанокompозиты, такие как ZnO@TiO₂, оказывают синергетический эффект на фотокаталитическую активность по разложению органических веществ по сравнению с изолированными полупроводниками [21–27].

Некоторые из данных процессов изображены схематически на рисунке 1.3. Образующиеся молекулы O⁻ и •ОН и являются теми химически-активными соединениями, благодаря которым работает фотокаталитическое очищение, – в их присутствии органические молекулы-загрязнители, а также вирусы и бактерии окисляются до нейтральных молекул воды и углекислого газа:



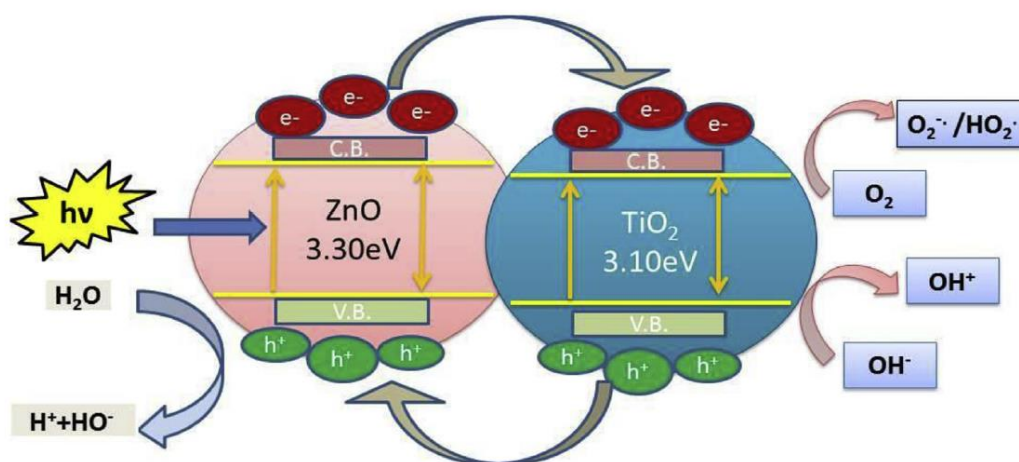


Рис. 1.3. Механизм фотокаталитической реакции нанокompозита ZnO@TiO₂ [28]

1.2 Методы получения нанокompозита ZnO@TiO₂

Функциональные свойства нанопорошков во многом определяются методом и условиями их синтеза. На сегодняшний день существует много способов получения нанопорошков, большинство из них могут быть сведены к следующим процессам: диспергированию объемных материалов и агрегирование малых частиц из атомов, молекул, кластеров. Эти способы приводят к формированию частиц с высокой поверхностной энергией. Методы агрегирования очень перспективны, поскольку используется потенциальная химическая энергия взаимодействующих компонентов.

Также выделяют физические методы получения нанопорошков (механическое измельчение, высокоэнергетическое диспергирование, распыление, испарение) и химические (плазмохимический, термический синтез, термическое разложение). Данное разделение – условно, поскольку практически все физические методы включают в себя также химические процессы.

Далее приведен литературный обзор методов получения нанопорошков на примере синтеза порошка ZnO@TiO₂.

1.2.1 Золь-гель метод

Самый распространенный метод синтеза нанокompозита ZnO@TiO_2 – золь-гель метод. Это промышленный процесс получения коллоидных наночастиц из жидкой фазы. Он основан на реакциях гидролиза или конденсации. В результате реакций наноразмерные частицы выпадают в осадок. Данный метод включает в себя несколько этапов:

Этап 1. Получение золя (гидролиз и поликонденсация соединений кремния, титана и др.).

Этап 2. Перевод золя в гель. Формируется пространственная сетка геля. При этом вязкость раствора возрастает.

Этап 3. Старение геля. Происходит уплотнение структур геля, сжатие сетки и выделение из геля растворителя.

Этап 4. Сушка. Происходит удаление жидкости из пространственной структуры геля. При сушке при повышенной температуре формируется более плотная структура – ксерогель.

Этап 5. Дегидратация – удаление поверхностных гидроксильных групп. Обработка геля хлорсиланом для замещения силанольных групп.

Этап 6. Уплотнение геля. При $T > 850\text{ }^\circ\text{C}$ удаление хемосорбированной воды. Происходит спекание геля, поры в сетке геля закрываются. В зависимости от назначения материала процесс может быть остановлен при любой степени уплотнения геля.

Золь-гель метод применяется в производстве неорганических сорбентов, катализаторов, стекла, стеклокерамики, волокон, керамики, в целом материалов с функцией оптического поглощения и отражения [29–32].

С помощью золь-гель метода нанокompозит ZnO@TiO_2 был синтезирован в работе [33]. На рисунке 1.4 продемонстрирована схема процесса. Золь TiO_2 был приготовлен на основе бутоксида титана (IV) (тетрабутил титанат: $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$, Aldrich). Сначала смешивали этанол, этилацетоацетат и хелатирующий агент.

Затем к смеси добавляли тетрабутил титанат. После этого в раствор добавляли HNO_3 в качестве катализатора. К получившемуся раствору медленно добавляли деионизированную воду для инициирования процесса гидролиза, и раствор выдерживали в течение 24 часов для завершения реакции. Для приготовления золя ZnO в качестве реагента использовали ацетат цинка и повторяли описанную процедуру получения золя TiO_2 . После получения золь ZnO и TiO_2 , их смешали для получения золя ZnO@TiO_2 и получения нанокompозита ZnO@TiO_2 . Образовавшийся гель сушили при 100°C в течение 60 мин. Таким образом были подготовлены несколько образцов, которые затем прокалили при температуре $450, 600$ и 750°C в течение 1, 1,5 и 2 часа.

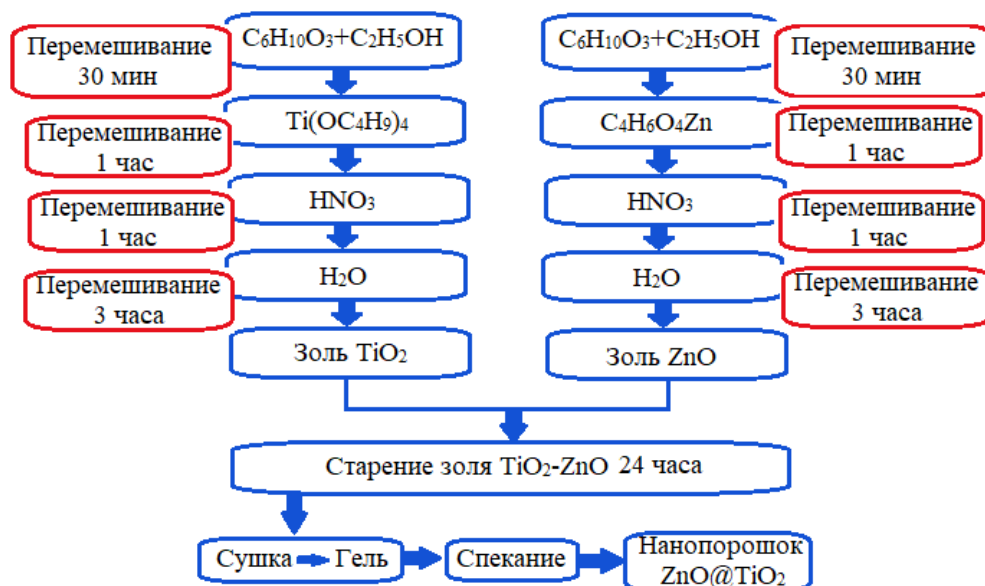


Рисунок 1.4 – Золь-гель процесс получения наноразмерного композита ZnO@TiO_2 [33]

Золь-гель метод позволяет получать продукты с высокой химической однородностью в лабораторных условиях; контролировать размер наночастиц на разных стадиях синтеза (кроме стадии высушивания и термообработки продукта реакции); позволяет синтезировать принципиально новые материалы, например, органо-неорганические гибридные материалы.

К недостаткам этого метода синтеза материалов относятся: синтез происходит при очень высоких температурах (400–600 °С); разброс частиц по размерам и формам; некоторые из требуемых материалов невозможно получить из-за химического взаимодействия реагентов или продуктов реакций с гелеобразующим агентом; требуется использование катализаторов, которые необходимо выводить по окончании процесса из конечного продукта. Указанные недостатки золь-гель метода получения нанокompозита ZnO@TiO₂ обуславливают экономическую нецелесообразность в качестве масштабного метода синтеза ZnO@TiO₂.

1.2.2 Гидротермальный метод

Гидротермальный синтез относится к гетерогенным реакциям синтеза неорганических материалов в водных средах при повышенной температуре (до 300 °С) и давлении (около 100 МПа). Этот синергетический эффект высокой температуры и давления обеспечивает одностадийный процесс производства высококристаллических материалов без необходимости обработки после отжига. Метод позволяет получать нанопорошки оксидов с узким разбросом частиц по размерам.

Авторы работы [34] синтезировали двухкомпонентные нанокompозиты ZnO-TiO₂ с использованием гидротермального метода. ZnCl₂ и TiCl₄ растворяли в растворителе (этанол + вода). Затем к перемешиваемому раствору по каплям добавляли водный раствор мочевины. После перемешивания в течение нескольких минут полученный прозрачный раствор переносили в автоклав из нержавеющей стали с тефлоновым покрытием. Автоклав выдерживали при 180 °С в течение 16 ч, а затем охлаждали до комнатной температуры естественным путем. Образовавшийся белый осадок отделяли центрифугированием и несколько раз промывали деионизированной водой, после чего осадок прокаливали при 450 °С в течение двух часов на воздухе.

К достоинствам метода относятся: возможность контроля формы и размера наночастиц, низкая агломерация, диспергируемость. Главным недостатком данного метода является высокая токсичность используемых реагентов, которая требует повышенных мер безопасности.

1.2.3 Химическое осаждение из газовой фазы (CVD)

Данный метод используется для производства высококачественных, высокопроизводительных твердых материалов, обычно в вакууме. Процесс часто используется для создания тонких плёнок. При процессе CVD подложка помещается в пары осаждаемых металлоорганических или галогенидных соединений и других газов, которые, вступая в реакцию и/или разлагаясь, образуют на подложке твердую тонкую пленку. CVD используется в широком спектре промышленных применений, таких как осаждение тугоплавких материалов (неметаллических материалов, которые могут выдерживать чрезвычайно высокие температуры) на лопатках турбин, чтобы значительно повысить износостойкость и стойкость лопаток к тепловому удару.

В [35] нанокompозиты ZnO-TiO₂ были синтезированы с помощью химического осаждения из газовой фазы (CVD), основанной на начальном росте нанопластинок ZnO и последующем диспергировании наночастиц TiO₂. Синтез проводили в атмосфере азота и влажного кислорода при температуре 350–400 °C на подложках Si (100) и Al₂O₃. Таким образом были сформированы нанокompозиты ZnO-TiO₂ с диаметром частиц ~ 140 нм.

Положительными сторонами метода газофазного осаждения являются высокая производительность и экономичность технологического процесса, а отрицательными – наличие в нанопорошках большого количества оксидов металлов. Оксиды восстанавливаются пропусканием через нанопорошки водорода H₂ или монооксида углерода CO.

1.2.4 Сольвотермальный метод

Сольвотермальный синтез является этапом завершения золь-гель синтеза, в результате которого образуются кристаллические и термически стабильные оксидные материалы при значительно меньших температурах термической обработки, чем это характерно для традиционного золь-гель процесса [36]. Сольвотермальный синтез позволяет точно контролировать размер, распределение формы и кристалличность наночастиц оксидов металлов или продуктов наноструктуры. Эти характеристики могут быть изменены путем изменения определенных экспериментальных параметров, включая температуру реакции, время реакции, тип растворителя, тип поверхностно-активного вещества и тип реагента [37, 38].

В работе [39], авторы получили наночастицы TiO_2/ZnO используя комбинацию золь-гель и сольвотермального методов. Сначала изопроксид титана (IV), используемый в качестве реагента TiO_2 , растворяли в коллоидном растворе наночастиц ZnO , синтезированном золь-гель методом, а наночастицы TiO_2 наносили на наночастицы ZnO сольвотермальным синтезом. На рисунке 1.5 изображены фотоизображения просвечивающей (ПЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) полученных наночастиц TiO_2/ZnO .

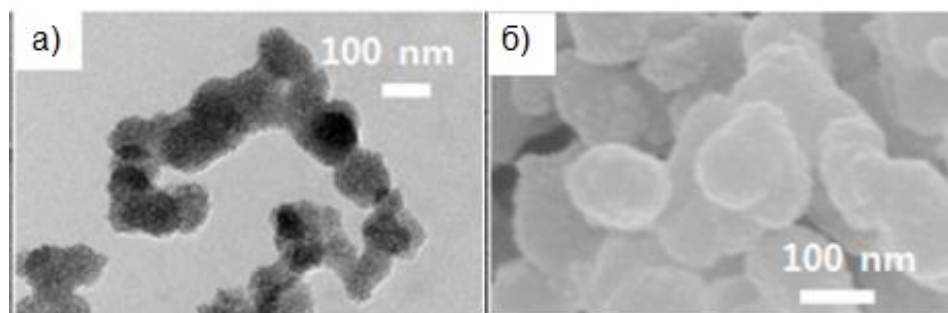


Рисунок 1.5 – ПЭМ (а) и СЭМ (б) фото наночастиц TiO_2/ZnO , полученных сольвотермальным синтезом

1.2.5 Импульсный плазмохимический метод

Условиями получения наноразмерных композитов импульсным плазмохимическим методом являются протекание реакции в неравновесных условиях и высокая скорость образования зародышей новой фазы при малой скорости их роста. В реальных условиях импульсного плазмохимического синтеза, получение наночастиц целесообразно осуществлять за счет увеличения скорости охлаждения потока плазмы, в котором происходит конденсация из газовой фазы; благодаря этому уменьшается размер образующихся частиц, а также подавляется рост частиц путем их слияния при столкновении. При данном методе используется низкотемпературная (4000–8000 К) плазма. В качестве исходного сырья применяют чистые элементы, их галогениды и другие соединения. Характеристики получаемых порошков зависят от используемого сырья и условий синтеза. Частицы плазмохимических порошков имеют размеры от 10 до 200 нм. Импульсный плазмохимический синтез обеспечивает высокие скорости образования и конденсации соединения и отличается достаточно высокой производительностью.

В процессе получения нанокompозитов стандартными методами очень трудно контролировать их форму и размер. Кроме того, химические методы многостадийны, требуют большого количества реагентов, катализаторов, а также повышенных температур. Импульсный плазмохимический синтез лишен вышеперечисленных недостатков – отсутствует необходимость закалки синтезируемых нанокompозитов, синтез происходит при температуре, не превышающей 360 К, что обеспечивает высокую чистоту продукта, так как нет технологических загрязнений.

Импульсный плазмохимический синтез наноразмерных композитов имеет ряд особенностей, позволяющих снизить удельные энергозатраты. Совмещение реакционной зоны с газоразрядной позволяет локально нагревать реагенты до высоких температур без нагрева стенок реактора, что значительно

сокращает непроизводительные потери энергии. Использование неравновесных плазмохимических процессов характеризуется значительным превышением запаса энергии на внутренних степенях свободы молекул по сравнению с равновесным состоянием. В этом случае, температура газа не превышает 300–400 К, что значительно снижает потери энергии на его нагрев, а также облегчает закалку (стабилизацию) продуктов химического процесса. Кроме того, снижаются энергозатраты за счет реализации цепного механизма [42].

Примеров применения импульсного плазмохимического синтеза для получения нанокompозита ZnO/TiO₂ в литературе не обнаружено. В рамках данной работы данный нанокompозит был получен данным методом впервые.

В ходе работы были обнаружены следующие достоинства импульсного плазмохимического метода получения композитов:

- проведение синтеза в один цикл;
- низкие удельные энергозатраты;
- потенциально низкая себестоимость нанопорошков;
- универсальность технологии и оборудования для получения различных композитов;
- потенциально высокая производительность оборудования (десятки кг/час готового продукта);
- возможность управления параметрами выпускаемого продукта по всем основным характеристикам: форма и размер частиц (20–200 нм), химическая чистота, фазовый состав.

Были выявлены и недостатки импульсного плазмохимического метода получения композитов:

- дорогостоящее и сложное в эксплуатации оборудование;
- отсутствие на рынке импульсных ускорителей электронов с организацией вывода ИЭП в атмосферу с длительным ресурсом работы;
- генерация тормозного рентгеновского излучения.

Глава 2 Экспериментальная установка и методы анализа нанопорошков

Процесс получения нанокпозиционного порошка $Zn_xO_y@TiO_2$ был реализован импульсным плазмохимическим методом на экспериментальном стенде, включающем в себя импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500 и плазмохимический реактор.

2.1 Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500

2.1.1 Конструкция и параметры ТЭУ-500

Технологический электронный ускоритель ТЭУ-500 предназначен для проведения научно-исследовательских работ по изучению взаимодействия электронного пучка с газофазными, жидкими и твердыми веществами [41].

Основные элементы ТЭУ-500 приведены на блок-схеме ускорителя (рисунок 2.1):

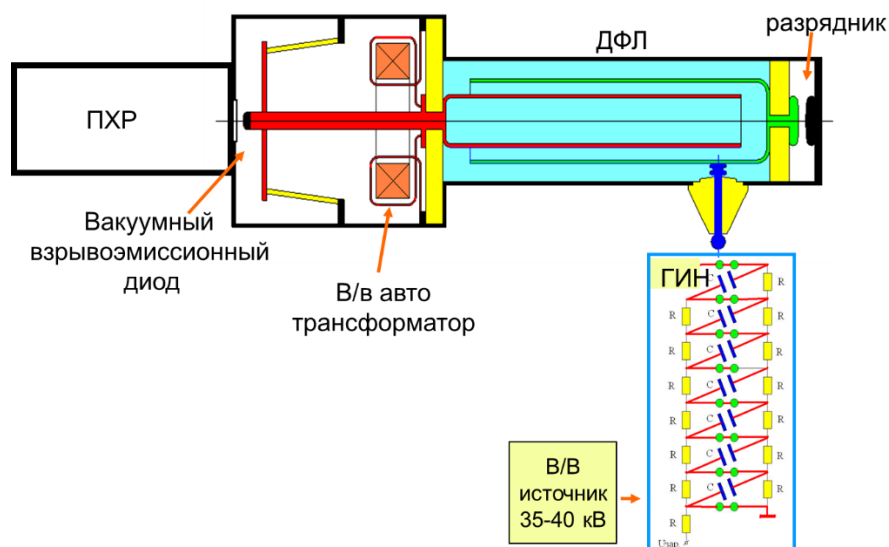


Рисунок 2.1 – Блок-схема импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500

В таблице 2.1 приведены технические данные ускорителя ТЭУ-500.

Таблица 2.1 – Параметры технологического электронного ускорителя ТЭУ-500

Параметры ТЭУ-500	Значение
Напряжение на входе ГИН	35–40 кВ
Энергия электронов	400–450 кэВ
Выведенный ток электронов	6–7 кА
Длительность импульса (на полувывсоте)	60 нс
Частота следования импульсов	(1–5) имп/с
Энергия в импульсе	80–90 Дж

На рисунке 2.2 показан внешний вид и принципиальная схема ускорителя ТЭУ-500. Газонаполненный генератор импульсного напряжения (ГИН) 1 собран по схеме Аркадьева-Маркса. ГИН состоит из семи ступеней конденсаторов К75-74 (40 кВ, 47 нФ) по два в каждой ступени. Двойная формирующая линия (ДФЛ) 2 с деионизированной водой в качестве диэлектрика имеет емкость плеч $C_1 = C_2 = 6.5$ нФ. Суммарная емкость ДФЛ равна выходной емкости ГИНа. Двойная формирующая линия коммутируется газовым разрядником 3.

Отличительной особенностью конструкции ТЭУ-500 является согласующий автотрансформатор. Он обеспечивает согласование низкоомной водяной двойной формирующей линии (8 Ом) с высокоомным импедансом планарного диода (40 Ом) в процессе формирования рабочего импульса (коэффициент согласования = k^2) и формирует импульс напряжения с коротким фронтом нарабатывания. Согласующий трансформатор помещен в масляном объеме 4 и содержит четыре сердечника 5 (К360·150·25 из пермаллоевой ленты 50НП·0,01).

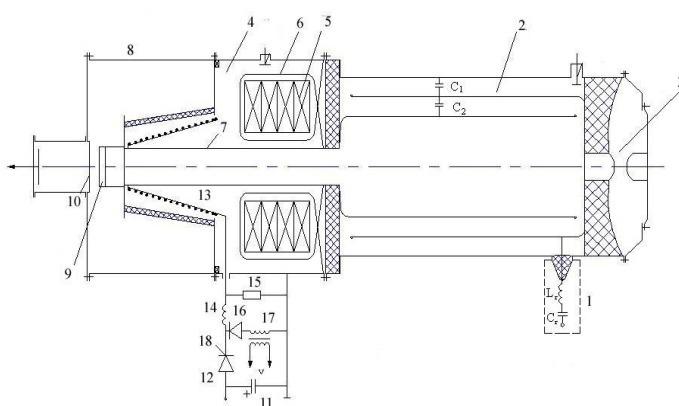
Вокруг сердечников уложено 12 одиночных витков 6, которые равномерно (по азимуту) распаяны к внутреннему электроду ДФЛ. Витки и сердечники крепятся с помощью диэлектрической втулки и боковых пластин, расположенных на катододержателе 7. Диод состоит из катода 9, в качестве которого используется графитовая шайба, и анода 10 – алюминиевая фольга толщиной 140 мкм. К анод-катодному зазору диода дополнительно к виткам 6

автотрансформатора подключен виток, образованный катододержателем 7 и корпусом ускорителя 8. Таким образом, диод (анод-катодный зазор) оказывается включенным по автотрансформаторной схеме с повышением напряжения в 2 раза относительно выходного напряжения ДФЛ.

Для насыщения ферромагнитного сердечника трансформатора до стадии формирования основного импульса напряжения введен узел принудительного размагничивания. Он состоит из конденсатора 11, тиристора 12, индуктивности размагничивания 13, развязывающей индуктивности 14, шунтирующего сопротивления 15, защитного диода 16 и дросселя насыщения 17.



А)



Б)

Рисунок 2.2 – Внешний вид ускорителя ТЭУ-500 (а) и его принципиальная схема (б): 1 – ГИН; 2 –ДФЛ; 3 – газовый разрядник; 4 – масляный объем; 5 – четыре сердечника; 6 – автотрансформатор; 7 – катододержатель; 8 – корпус ускорителя; 9 – катод; 10 – анодная фольга; 11 – конденсатор; 12 – тиристор; 13 – индуктивность размагничивания; 14 –развязывающая индуктивность; 15 – шунтирующее сопротивление; 16 – защитный диод; 17 –дроссель насыщения; 18 – диод

Данный электронный ускоритель используется для получения наноразмерных порошков. Эксперименты по их получению выполняются с использованием плазмохимического реактора (ПХР), который представляет собой цилиндр из кварцевого стекла длиной 46 см, внутренним диаметром 14 см и объемом 7 л. Он оснащён манометром, нагревательными элементами,

температурным датчиком, запорно-регулирующей арматурой напуска исходной реакгентной смеси и откачки газа. Фотографии реактора показаны на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Фотографии плазмохимического реактора

При проведении экспериментов стенки реактора могут прогреваться до температуры 100 °С, поэтому для уплотнения разъемных частей реактора используются фторопластовые прокладки. Нагрев корпуса ПХР осуществляется нихромовой спиралью.

Конструкция ПХР обеспечивает проведение экспериментов в диапазоне давлений 1–10⁵ Па и при наличии агрессивных соединений в исходной реакгентной смеси или в продуктах реакции [41].

2.1.2 Принцип работы и диагностическое оборудование ТЭУ-500

Ускоритель работает следующим образом: начальное магнитное состояние сердечника согласующего трансформатора задается током, протекающим по цепи индуктивностей 13 и 14, катододержателя 7 и витков 6 при разряде конденсатора 11. Конденсатор 11 предварительно заряжается от внешнего источника до напряжения, обеспечивающего протекание тока размагничивания величиной 150–200 А. После зарядки конденсатора на управляющий вывод 18 тиристора 12 узла размагничивания подается импульс запуска с блока управления ускорителем. Тиристор открывается и начинается

процесс разрядки конденсатора. В момент перехода тока из цепи тиристора 12 в цепь диода 16, дроссель насыщения 17 формирует импульс на запуск генератора импульсного напряжения, после срабатывания которого начинается зарядка двойной формирующей линии 2. При достижении напряжения пробоя газового разрядника 3 происходит формирование основного импульса напряжения, прикладываемого к катоду [51].

Для измерения тока, протекающего в нагрузке наносекундного генератора, используется пояс Роговского с обратным витком (рисунок 2.4). Параметры пояса Роговского: индуктивность 165 мкГн, сопротивление нагрузки $R_H = 10$ Ом, собственное сопротивление провода $r = 4,5$ Ом, число витков 1600 при диаметре намотки 9 мм и длине намотки 1650 мм. Величина постоянной времени пояса Роговского (10 мкс) значительно больше длительности регистрируемого импульса тока (100 нс), что обеспечивает работу пояса Роговского в режиме трансформатора тока, без искажения регистрируемой формы импульса.

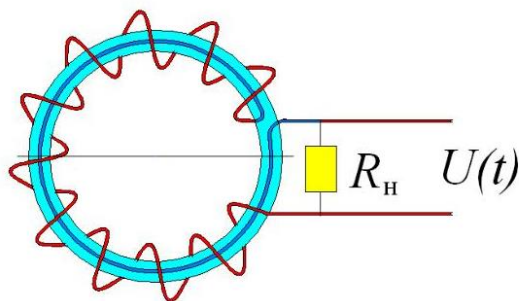


Рисунок 2.4 – Пояс Роговского с обратным витком

Для измерения напряжения используется емкостной делитель, расположенный в маслонаполненной камере. Если емкостной делитель разместить в вакуумном объеме диодной камеры, то незначительные утечки тока дают большие помехи сигналу с делителя. Поэтому он размещен в масляном объеме и регистрирует сумму напряжения на диоде (или активной нагрузке) и напряжения на катододержателе. Делитель расположен симметрично катододержателю и имеет емкость 22 нФ. Нагрузкой емкостного делителя

является волновое сопротивление кабеля, равное 50 Ом. Постоянная времени делителя равна 1100 нс, что обеспечивает снижение напряжения из-за разряда емкости делителя за длительность импульса (100 нс по основанию) на величину не более 7%. Емкостной делитель имеет более широкую полосу пропускания, чем резистивный или смешанный делитель, что очень важно при измерении сигналов длительностью менее 100 нс, что обеспечивает работу пояса Роговского в режиме трансформатора тока без искажения регистрируемой формы импульса тока [2]. На рисунке 2.5 приведены осциллограммы полного тока электронного пучка и напряжения, приложенного к диоду.

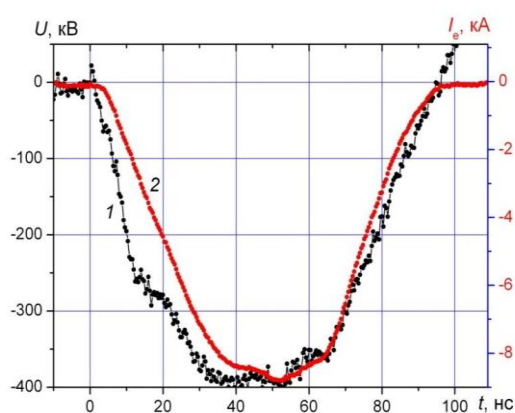


Рисунок 2.5 – Осциллограммы напряжения (1), приложенного к диоду, и полного тока электронного пучка (2)

На рисунке 2.6 показан диодный узел ускорителя и расположение диагностического оборудования [41].

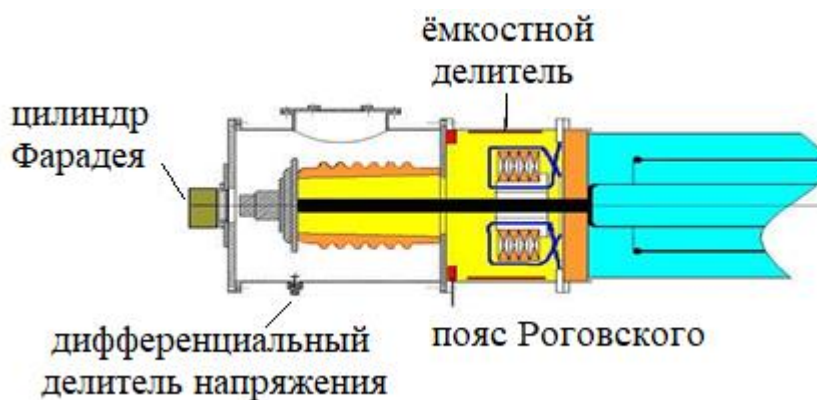


Рисунок 2.6 – Диагностическое оборудование ТЭУ-500

2.1.3 Формирование пучка и его ввод в реактор

Получение высокого напряжения в ускорителе ТЭУ-500 основано на схеме импульсного генератора Маркса, в которой батарея конденсаторов сначала заряжается параллельно, а затем соединяется последовательно и разряжается через один разрядный промежуток. Высоковольтный импульс генератора поступает в ДФЛ, которая формирует импульс, задавая время нарастания фронта импульса. При достижении напряжения пробоя газового разрядника, газовый разрядник срабатывает и ДФЛ разряжается через автотрансформатор на взрывоэмиссионный диод. При подаче разности потенциалов ($\sim 0-450$ кВ) на катод и анод, возникает электрическое поле, вызывающее взрывную электронную эмиссию с поверхности катода и их ускоренное движение к аноду. Таким образом формируется пучок электронов. Вывод пучка в реакционную камеру ускорителя ТЭУ-500 реализуется через выводное окно, представляющее собой поддерживающую анодную решетку с оптической прозрачностью 70%, поверх которой расположена алюминиевая фольга толщиной 140 мкм.

2.1.4 Получение нанокompозитных порошков с использованием ТЭУ-500

Одно из основных направлений использования импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500 – получение нанодисперсных порошков импульсным плазмохимическим методом с инициацией процесса импульсным электронным пучком. Метод получения наноразмерных порошков можно представить в несколько последовательных стадий (рисунок 2.7):

Стадия 1. В реакционную камеру вводятся реагенты.

Стадия 2. Инжектируется импульсный электронный пучок.

Стадия 3. Происходит объёмное возбуждение реакционного газа импульсным электронным пучком и организуется процесс протекания реакций во всей области возбуждения. Возникает неравновесная плазма, следовательно, запускаются химические реакции, продуктом которых является наноразмерный порошок.

Стадия 4. Собираются продукты синтеза.

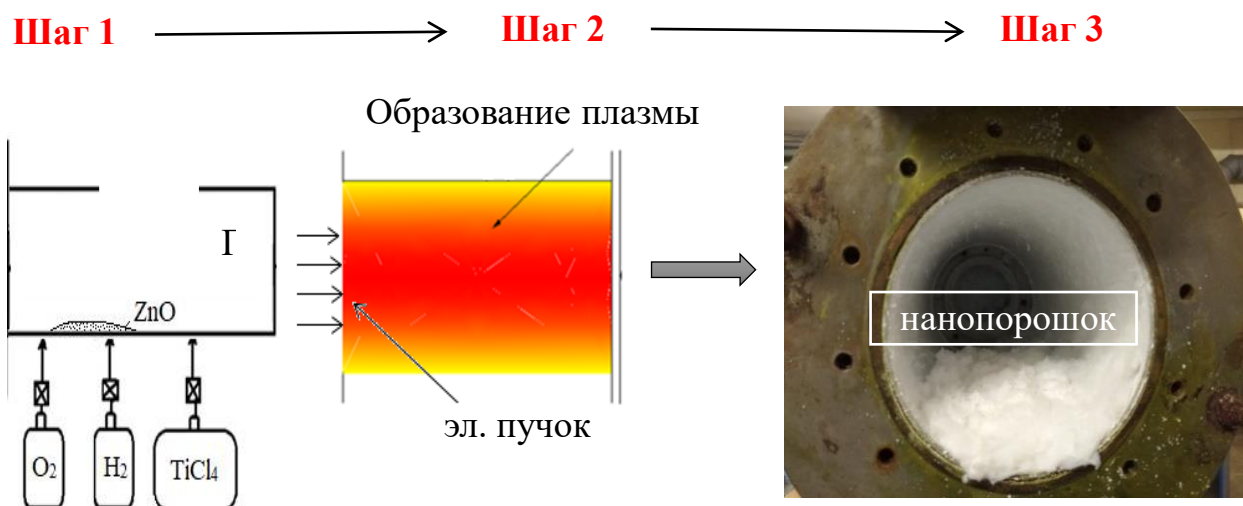


Рисунок 2.7 – Стадии получения наноразмерных порошков на ТЭУ-500

Импульсным плазмохимическим методом получают наноразмерные композиты с высокой химической чистотой за счёт отсутствия возможности внесения технологических загрязнений при высоких температурах. За счёт изменения режимов синтеза возможно варьирование параметров выпускаемого продукта по всем основным характеристикам – размер, форма, химическая чистота, фазовый состав частиц.

2.2 Методы анализа нанопорошков

Существует несколько методов исследования наночастиц, среди которых:

- *просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)* – для определения размера и формы наночастиц, их морфологии, топологии и формы;
- *метод инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопия)* – для исследования химических связей вещества;
- *метод рентгенофазового анализа (РФА)* – для определения фазового состава кристаллических тел;
- *энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDX-метод)* – для исследования элементного состава образцов;
- *методика фотодеградациии метиленового синего* – для определения фотокаталитической активности нанопорошков и т.д.

2.2.1 Просвечивающая электронная микроскопия

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) основана на формировании увеличенного изображения объекта потоком электронов, прошедших сквозь объект [42]. Схема просвечивающего электронного микроскопа продемонстрированы на рисунке 2.8а. Источником электронов в просвечивающем электронном микроскопе служит электронная пушка, из которой происходит эмиссия электронов по направлению к образцу. При помощи электромагнитных линз луч электронов фокусируется на исследуемом образце и проходит через него. При прохождении луча электронов сквозь образец снимается информация о размере, морфологии, структуре наночастиц. Данный метод позволяет также изучить фазовый и элементный состав образцов, ориентацию кристаллов и т.п. Нанопорошки обычно исследуют путем нанесения на аморфную углеродную пленку – подложку или углеродную сетку.

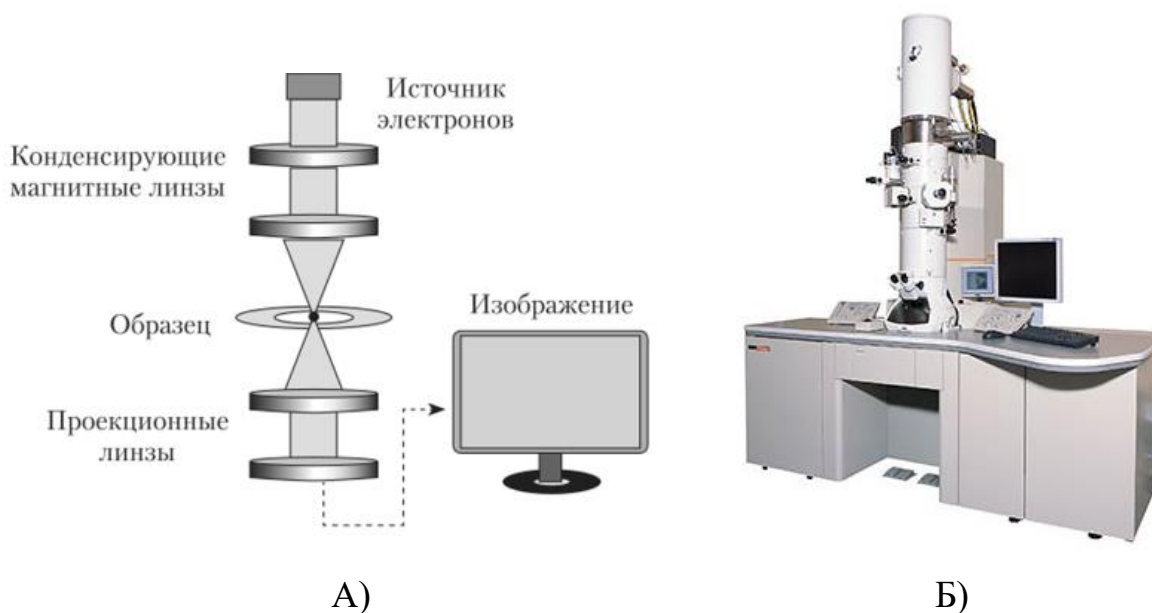


Рисунок 2.8 – Схема просвечивающего электронного микроскопа (а) и фото просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-2100F (б)

Источником электронов в просвечивающем электронном микроскопе служит электронная пушка, из которой происходит эмиссия электронов по направлению к образцу. При помощи электромагнитных линз луч электронов фокусируется на исследуемом образце и проходит через него. При прохождении луча электронов сквозь образец снимается информация о размере, морфологии, структуре наночастиц. Данный метод позволяет также изучить фазовый и элементный состав образцов, ориентацию кристаллов и т.п. Нанопорошки обычно исследуют путем нанесения на аморфную углеродную пленку – подложку или углеродную сетку.

Современные ПЭМ позволяют работать в следующих основных режимах:

- светлое поле (контраст формируется за счет поглощения электронов образцом);
- темное поле (контраст в зависимости от атомного номера);
- дифракционный контраст (контраст, вызванный рассеянием Брэгга, возникающим при попадании пучка в кристаллическую структуру);

- спектроскопия энергетических потерь электронов (измерение потери электроном начальной энергии после прохождения через образец), а также энергетическая фильтрация;
- элементное картирование с помощью рентгеновского энергодисперсионного спектрометра;
- изображение во вторичных электронах;
- изображение в обратно-рассеянных электронах;
- электронно-лучевая томография (объемное изображение образца) [43].

При анализе морфологии полученного наноразмерного композита $Zn_xO_y@TiO_2$, метод ПЭМ был реализован на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM-2100F с ускоряющим напряжением от 80 до 200 кВ и диапазоном увеличений – от $\times 50$ до $\times 1\,500\,000$ (рисунок 2.8б).

Для исследования синтезированных порошков методом ПЭМ на микроскопе JEOL JEM-2100F были приготовлены коллоидные растворы полученных наночастиц в воде с последующей обработкой раствора ультразвуком. Приготовленный таким образом раствор наносили на медную сетку и сушили на воздухе.

По полученным ПЭМ изображениям с помощью программы Photoshop был вручную измерен геометрический размер синтезированных нанопорошков с выборкой 500 частиц. На основе полученных данных в программе Origin построены статистические гистограммы распределения частиц по размерам.

С помощью рентгеновского энергодисперсионного спектрометра был исследован элементный состав образцов $Zn_xO_y@TiO_2$ (EDX-метод). Данный метод основан на испускании характеристического рентгеновского излучения образца. EDX-анализ дает спектр, который отображает пики, коррелированные с элементным составом исследуемого образца. Кроме того, с помощью этого метода характеристики было сделано элементное картирование образцов $Zn_xO_y@TiO_2$.

2.2.2 Рентгенофазовый анализ

Метод рентгенофазового анализа (РФА) используется для определения фазового состава кристаллических тел. В основу РФА положено явление дифракции рентгеновских лучей при прохождении сквозь кристаллическую решетку исследуемого вещества. В результате интерференции отраженных лучей образуются конусы под углом θ , которые дают систему дифракционных максимумов (рефлексов) для данного сорта плоскостей, характеризующейся разной интенсивностью. Угловое положение максимума определяется межплоскостным расстоянием в кристалле d_{hkl} , а последнее – геометрией кристаллической решетки (рисунок 2.9) [1, 44, 45].

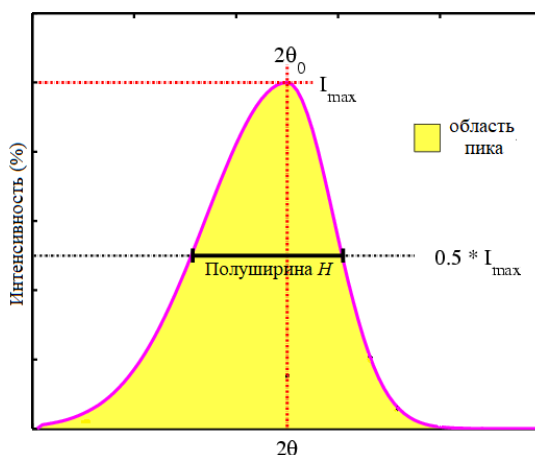


Рисунок 2.9 – Рефлекс и его характеристики

Каждая фаза обладает своей кристаллической решеткой и характеризуется только ей присущим набором межплоскостных расстояний d_{hkl} [46].

Если исследуемый объект состоит из нескольких фаз, то каждой фазе будет соответствовать своя собственная дифракционная картина. В этом случае на рентгенограмме присутствуют пики всех фаз образца. Интенсивность рефлексов каждой фазы будет зависеть от ее количества в исследуемой смеси и степени кристаллизации.

Для получения рентгенограмм синтезированных нанокomпозитов $Zn_xO_y@TiO_2$ с целью определения содержащихся в нем кристаллических структур был использован рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000. Принципиальная схема дифрактометра показана на рисунке 2.10 [47]. Детектор и рентгеновская трубка дифрактометра размещаются на подвижной опоре – гониометре. Одно плечо гониометра задает угол облучения образца рентгеновской трубкой, другое определяет угол брэгговского отражения излучения от образца (детектируемый сигнал). Детектор непрерывно во время движения (при изменении угла) регистрирует интенсивность рентгеновского излучения.

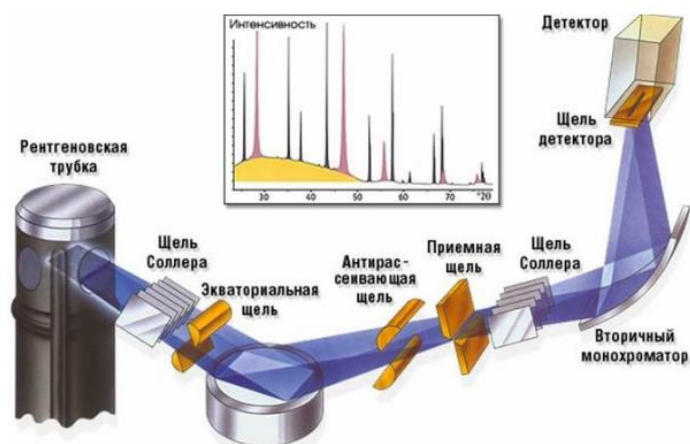


Рисунок 2.10 – Принципиальная схема дифрактометра Shimadzu XRD-7000

Дифракционные спектры получены при использовании отфильтрованного $CuK\alpha$ -излучения (длина волны: 1,5405 Å). Съемка рефлексов проводилась в режиме сканирования с шагом 0.02° в диапазоне от 0 до 80° .

Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) кристаллических частиц $Zn_xO_y@TiO_2$ были рассчитаны с помощью уравнения Дебая-Шеррера [55, 56]:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}, \quad (2.1)$$

где K – постоянная Шеррера, значения которой варьируются от 0,62 до 2,08, и которая характеризует форму и распределение по размерам кристаллитов; λ –

длина волны рентгеновского излучения (1.5405 \AA); β – ширина рефлекса ($\Delta\theta$) на полувысоте (в радианах); θ – угол дифракции (брэгговский угол).

2.2.3 ИК-спектрометрия

Для исследования межатомного взаимодействия и химических связей твердых веществ с помощью колебательных спектров молекул используется физический метод ИК-спектрометрии, который позволяет измерять оптический спектр поглощения ИК излучения. Поглощение ИК излучения веществом происходит за счет колебаний атомов в молекулах – валентных (изменение межатомных расстояний – длин связей) или деформационных (изменение углов между связями). Это поглощение количественно описывается законом Бугера–Ламберта–Бера, а спектр получается при построении зависимости пропускания или оптической плотности от длины волны (частоты, волнового числа) [48]. Данный ИК-спектр служит характерным «молекулярным отпечатком пальца», который может быть использован для идентификации органических и неорганических образцов.

Исследования нанопорошков данным методом проводились на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 со спектральным разрешением 0.09 см^{-1} , точностью по волновому числу $0,01 \text{ см}^{-1}$ и спектральным диапазоном $9600\text{--}50 \text{ см}^{-1}$ (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – ИК Фурье спектрометр Nicolet 5700

Полученный нанокompозит исследовался в средней ИК-области 2,5–25 мкм (4000–400 см⁻¹). Для приготовления пробы, использовался метод галогенидной таблетки – к навеске из порошка добавлялся порошок бромида калия (KBr), и полученная смесь прессовалась в таблетку. При проведении анализа полученных спектров нанопорошка, спектр отражения KBr вычитается из исследуемого спектра образца как спектр фона. На рисунке 2.12 приведены характерные ИК спектры наночастиц диоксида титана и оксида цинка.

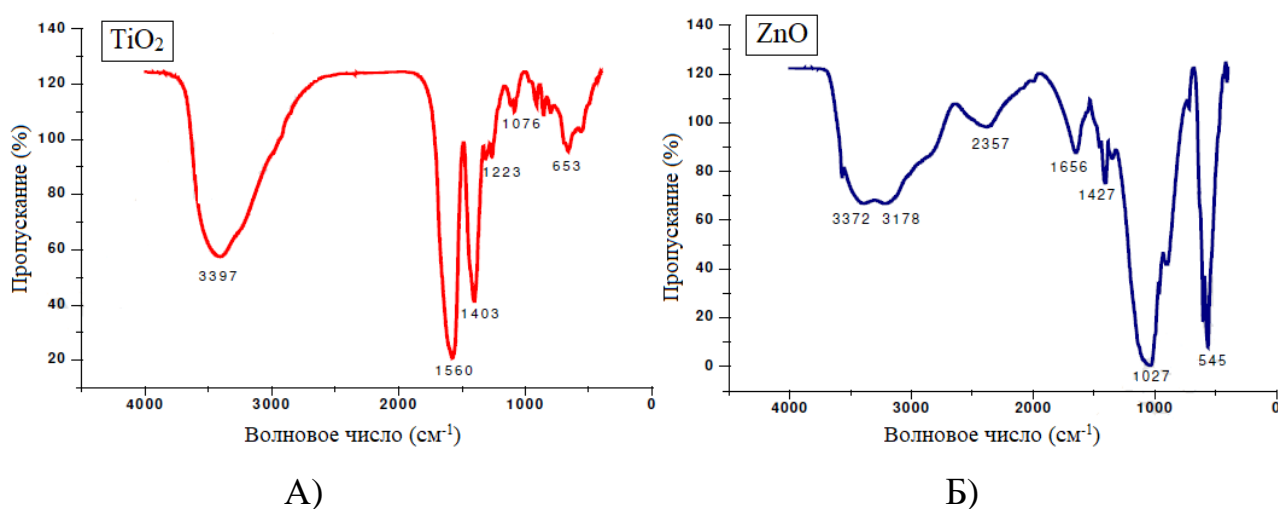


Рисунок 2.12 – ИК-спектры диоксида титана (а) и оксида цинка (б)

2.2.4 Методика определения фотокаталитической активности

Фотокаталитическая активность означает способность исследуемого вещества разлагать органические соединения под воздействием ультрафиолетового и/или видимого излучения. Фотокаталитическая активность нанопорошка напрямую зависит от структуры катализатора. Например, наиболее эффективной фазой диоксида титана является анатаз, поскольку он имеет наиболее стабильную структуру и высокую адсорбционную способность. Морфология также является важным фактором. Например, образец оксида цинка сферической формы показывает более высокую эффективность, чем стержнеобразная структура, поскольку имеет большую площадь поверхности.

Фотокатализатор используется в наноформе, поскольку в наномасштабе материал имеет небольшой размер и большую площадь поверхности (величина удельной поверхности), доступную для реакции, поэтому скорость реакции увеличивается.

Современные фотокатализаторы обладают малой чувствительностью к видимому свету и активны в основном в ультрафиолетовом диапазоне при длинах волн менее 380 нм.

Фотокаталитические свойства порошка диоксида титана, модифицированного оксидом цинка, испытаны на разложение органических загрязняющих красителей (метиленовый синий (МС)) в воде, в зависимости от времени. Кинетика деградации МС проверена в условиях имитации солнечного света с использованием УФ-видимой спектроскопии. Для определения фотокаталитической активности синтезированного порошка использовался стенд (рисунок 2.13).

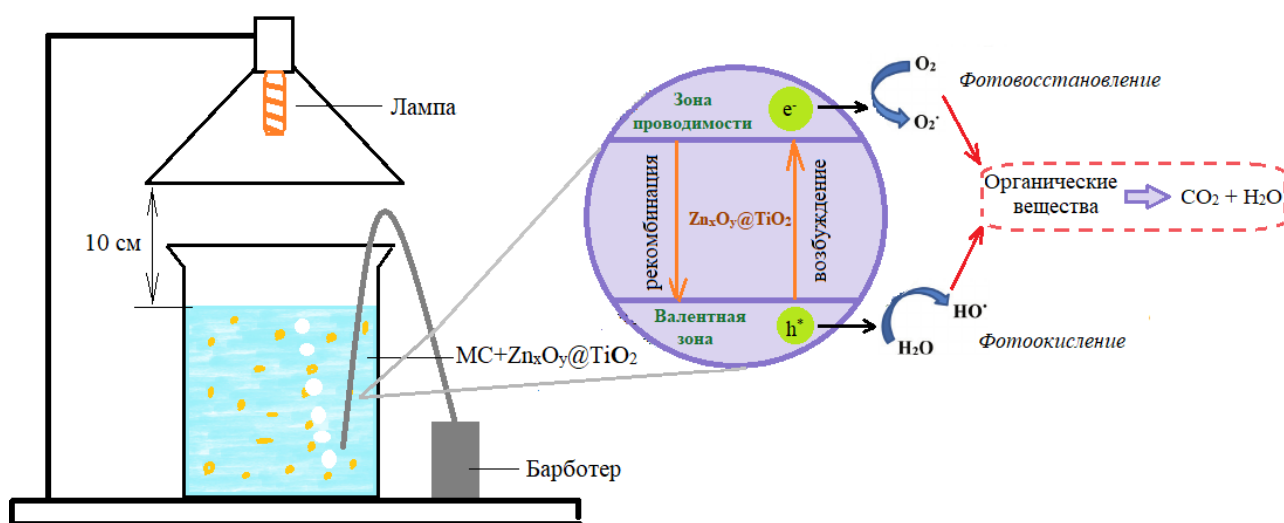


Рисунок 2.13 – Стенд для исследования фотокаталитической активности нанопорошков

Раствор разводился 0,05 г МС на 2 л воды. Затем в МС добавлялся синтезированный порошок 0,05 г. Колба с МС и порошком помещалась в

темноту для установления адсорбционно-десорбционного равновесия и находилась там 20 мин. при включенном барботере. После включался источник света (лампа “ТЕК ЛПО 2004 В (8)”, 16 Вт или лампа накаливания 75 Вт), который располагали на высоту 10 см от реакционной колбы, и через каждые 10 мин отбиралась проба в объеме 5 мл, фильтровалась через целлюлозно-бумажный фильтр типа «Белая лента» для удаления взвешенных частиц катализатора, и с помощью спектрофотометра регистрировалась оптическая плотность МС при 520 нм. Таким образом определялся процент сорбции и устанавливалась начальная концентрация облучаемого раствора. Активность полученных материалов оценивалась после 50 минут облучения.

Процент фотокаталитической активности нанокompозита определялся по формуле:

$$\mu = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100, \quad (2.2)$$

где A_0 – исходная концентрация МС, а A – поглощение красителя после излучения.

Для оценки фотодегradации МС использовался спектрофотометр модели ПЭ-6100УФ (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Устройство спектрофотометра ПЭ-6100УФ

В спектрофотометре луч света от лампы фокусируется на входной щели монохроматора, где коллимирующее зеркало направляет пучок света на решетку. Решетка рассеивает пучок света для образования спектра, часть которого фокусируется при помощи коллимирующего зеркала на выходной щели монохроматора. Отсюда пучок света направляется в кюветное отделение для проб через один из фильтров, предназначенных для устранения нежелательного излучения второго порядка из дифракционной решетки. На выходе из кюветного отделения пучок попадает на кремниевый фотодиод детектора и преобразуется в электрический сигнал, который отображается на цифровом дисплее [49].

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательская работа заключается в получении нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ импульсным плазмохимическим методом на базе импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, расположенным в аудитории 03, 11Г корпуса Томского политехнического университета. Актуальность исследования обусловлена тем, что промышленное использование нанопорошков – это наиболее перспективное инновационное направление для большинства ключевых промышленных секторов мировой экономики. В настоящее время рынок нанотехнологий переживает бум во многих секторах экономики и имеет большие перспективы развития. Развитие нанотехнологий стимулируется растущим спросом на новые материалы из-за интенсивного внедрения нанотехнологий в производство товаров с принципиально новыми свойствами. Благодаря наноматериалам уже в ближайшее время могут появиться эффективные решения множества задач в таких отраслях, как энергетика, здравоохранение и производство продуктов питания.

Наноматериалы также займут важное место в решении экологических проблем. Они станут ядром современных сенсорных систем, а также средств очистки воды, технологических процессов разделения водных смесей на фракции и многих других областей «зеленой» химии. Экономический эффект возникает за счет значительного повышения эффективности технологических процессов за счет сокращения трудовых, временных, материальных затрат, а также за счет улучшения качества и функциональных свойств конечной продукции.

Целью данного раздела ставится анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения научно-исследовательского проекта и проанализирована финансово-экономическая составляющая выполненных работ.

Для этого будет оценена перспективность использования данного метода синтеза несоразмерного порошка, определены потенциальные потребители результатов исследования, проведен анализ конкурентоспособности технических решений, SWOT-анализ, разработаны технико-экономическое обоснование и план реализации работ и рассчитан бюджет проведения исследований с целью анализа экономической эффективности использования данного метода синтеза наноразмерных порошков.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для определения потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

К потенциальной аудитории потребления нанокompозитных порошков можно отнести:

- компании, занимающиеся исследованиями в области нанотехнологий;
- участники рынка нанопорошков;
- потенциальные инвесторы;
- участники смежных рынков.

К сожалению, большая часть производимых в настоящее время наноматериалов используется в большинстве случаев в области научных исследований. Этот факт подтверждается статистикой: 95% потребляемых нанопорошков используются в научных исследованиях, остальные 5% находят применение в конечных продуктах для потребителей [67].

Можно выделить основные сегменты целевого рынка наноматериалов по следующим критериям:

- по типу наноматериала: нанопорошки, нанотрубки, наностержни, нанокompозиты и др.;

- по отрасли промышленного использования: фармацевтика и здравоохранение, электроника, фотокатализ, личная гигиена и косметика, керамика и др.;
- по размеру наночастиц: мелкий ~ 30 нм, средний ~ 50 нм и большой ~ 80 нм;
- по методу синтеза: химические, физические и механические методы;
- по регионам: Северная Америка (США и Канада); Европа (Германия, Великобритания, Франция, Италия, Испания, Россия и остальные страны Европы); Азиатско-Тихоокеанский регион (Китай, Индия, Япония, Южная Корея, Австралия, остальные страны Азиатско-Тихоокеанского региона); остальной мир (Латинская Америка, Ближний Восток и Африка);
- по конечному потребителю: научно-исследовательские институты, промышленные предприятия.

Для финансовой эффективности, предприятию, вовлеченному в производство наноразмерных материалов, необходимо выделить самые востребованные сегменты, на которые необходимо ориентироваться, и выявить те сегменты рынка, которые могут быть перспективными в будущем.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ рынка конкурентной среды позволяет организации оценить слабые и сильные стороны конкурентов, выявить тенденции развития интересующей области деятельности, и, соответственно этим данным, определить свои цели и ориентиры, сформировать схему привлечения потребителя, спрогнозировать развитие ситуации на рынке и в организации и, наконец, смоделировать схему роста бизнеса.

На рынке получения нанопорошков, основными конкурирующими методами получения нанокомпозитов являются золь-гель метод и гидротермальный метод.

Проведем анализ конкурентных методов синтеза наноразмерных порошков с помощью оценочной карты (таблица 4.1). Позиция импульсного плазмохимического синтеза и альтернативных вариантов 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.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Энергоэкономичность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Проведение синтеза в один цикл	0,05	5	1	1	0,25	0,05	0,05
4. Универсальность технологии и оборудования для получения различных композитов	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
5. Проведение синтеза при низких температурах	0,05	5	1	3	0,25	0,05	0,15
6. Контроль параметров продукта (форма, размер, фазовый состав)	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
7. Чистота конечного продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8. Простота эксплуатации оборудования	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
9. Возможность синтезировать принципиально новые материалы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
3. Цена продукта	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого	1	54	38	40	4,4	3,3	3,4

ϕ – импульсный плазмохимический метод; $\kappa 1$ – золь-гель метод; $\kappa 2$ – гидротермальный метод.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности импульсного плазмохимического метода получения наноразмерных порошков:

$$k_K = \frac{K_\phi}{K_{\text{сред}}} = \frac{4,4}{(3,3+3,4)/2} = 1,31. \quad (4.2)$$

Так как $k_K > 1$, следовательно, данный метод конкурентоспособен. Согласно оценочной карте, главные преимущества импульсного плазмохимического метода получения наноразмерных порошков:

- низкие удельные энергозатраты;
- потенциально низкая себестоимость нанопорошков;
- возможность контролируемого проведения реакций;
- универсальность технологии и оборудования для получения различных композитов;
- потенциально высокая производительность оборудования (десятки кг/час готового продукта);
- возможность управления параметрами выпускаемого продукта по всем основным характеристикам: форма и размер (20–200 нм) частиц, химическая чистота, фазовый состав.

Недостатками импульсного плазмохимического метода получения композитов являются:

- дорогостоящее и сложное в эксплуатации оборудование;
- низкое проникновение на рынок.

Дальнейший анализ и расчёты будут применены только к импульсному плазмохимическому методу получения нанокompозитов.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой один из самых распространенных методов, оценивающих в комплексе внутренние и внешние факторы, влияющие на развитие организации. Данный анализ позволяет организации разработать стратегические цели и задачи для повышения своей конкурентоспособности.

В таблице 4.2 приведена матрица SWOT с описанием сильных и слабых сторон данного метода получения нанопорошка, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, и результатами анализа проекта полей «Сильные стороны и возможности», «Слабые стороны и возможности», «Сильные стороны и угрозы», «Слабые стороны и угрозы».

Таким образом, проведенный SWOT-анализ позволил выделить основные проблемы в технологии получения наноразмерных композитов с помощью импульсного плазмохимического метода и наметить пути их возможного решения.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

<p>Внутренние факторы</p> <p>Внешние факторы</p>	<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Уникальность методики 2. Опытный персонал 3. Чистота продукта 4. Универсальность технологии и оборудования 5. Высокая производительность 6. Контроль параметров продукта 	<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Потребность в больших инвестициях 2. Дорогостоящее и сложное в эксплуатации оборудование 3. Отсутствие импульсных ускорителей электронов с длительным ресурсом работы 4. Генерация тормозного рентгеновского излучения
<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциально широкая область применения 2. Адаптация продукта под большой рынок 3. Большой потенциал применения технологии 4. Государственная поддержка (РФФИ, РНФ) 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность использования инфраструктуры ТПУ 2. Получение продукта высокого качества 3. Возможность использования оборудования для других применений и проектов 4. Привлечение дополнительного государственного финансирования 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование вспомогательного оборудования 2. Использование возможностей и площадок ТПУ 3. Обеспечение безопасности производственного процесса 4. Усовершенствование ускорителя с целью увеличения ресурса работы 5. Модифицирование оборудования для сбора готового продукта
<p>Угрозы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сложность выхода на рынок по причине длительной процедуры апробации метода 2. Отсутствие большого спроса на наноразмерные композиты 3. Развитая конкуренция технологий производства 4. Недостаточное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства 5. Спад в экономике 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невысокая стоимость конечного продукта 2. Компенсирование затрат за счет государственного финансирования 3. Повышение конкурентоспособности используемого метода 4. Высокая компетентность персонала и выполнение задач в полном объеме и с рок позволят привлечь дополнительное финансирование 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ускоренная апробация данного метода синтеза 2. Реклама конечного продукта 3. Возможности привлечения пиар отдела ТПУ для продвижения технологии на рынок

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации и метод коммерциализации результатов

Для оценки степени готовности научной разработки к коммерциализации, необходимо проанализировать степень проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчиков научного проекта. Данные показатели приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
ИТОГО БАЛЛОВ	60	55

В таблице 4.3 степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика оценивались по 5-тибальной шкале от 1 (не проработанность/не знаком) до 5 (высокая степень проработанности/знаний).

Проект по получению наноразмерных порошков является перспективным, поскольку степень проработанности проекта и уровень знаний коллектива научной группы являются достаточными для успешной ее коммерциализации. Однако, рекомендуется привлечь специалиста по коммерциализации проекта, для повышения конкурентоспособности, помощи выхода на рынок и внедрения в промышленное производство.

В качестве метода коммерциализации данной научной разработки целесообразным видится *инжиниринг* – самостоятельный вид коммерческих операций, который предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Структура работ в рамках выполнения работ

Планирование работ предполагает определение структуры работ в рамках научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научно-исследовательских работ по синтезу и анализу нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ была создана рабочая группа, в которую вошли:

1. Сазонов Р.В., старший научный сотрудник Научно-производственной лаборатории Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий, – научный руководитель проекта (НР);

2. Лаптева О.П., студент, выполняющий магистерскую диссертацию, – инженер (И).

Предполагается вовлеченность всей рабочей группы на всех этапах проведения работ.

Иерархическая структура работ предполагает планирование всех этапов выполнения научно-технического проекта от разработки технического задания и до оформления итогового отчета для эффективной оценки планирования бюджета и времени. Структура выполнения всех этапов работ по получению наноразмерного композита импульсным плазмохимическим методом представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Структура работ

Этапы работы	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач исследования	НР – 80%; И – 20%
Обзор литературы	И – 100%
Разработка технического задания	НР – 50%; И – 50%
Разработка календарного плана работ	НР – 20%; И – 80%
Подготовка оборудования	НР – 80%; И – 20%
Расчет режимов проведения эксперимента	НР – 100%
Приобретение исходных реагентов	НР – 80%; И – 20%
Проведение экспериментов по синтезу нанокompозита	НР – 50%; И – 50%
Анализ порошков методами ПЭМ, РФА, ИК спектроскопии	НР – 50%; И – 50%
Обработка полученных результатов	НР – 20%; И – 80%
Подготовка материалов к публикации	НР – 70%; И – 30%
Оформление отчета (расчётно-пояснительной записки)	И – 100%
Подведение итогов	НР – 100%

4.2.2 Контрольные события проекта

Основные контрольные события выполнения научно-исследовательских работ, дата начала события и его результат представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
Постановка целей и задач	11.03.2021	Определение цели и задач
Изучение научной и технической литературы	13.03.2021	Литературный обзор
Составление технического задания	18.03.2021	Техническое задание
Разработка плана экспериментальных работ, расчет режимов	20.03.2021	План работ, теоретические расчеты
Подготовка оборудования	25.03.2021	Оборудование в рабочем состоянии
Подготовка исходных материалов	28.03.2021	Исходные реагенты
Проведение экспериментов	01.04.2021	Журнал записи условий и результатов экспериментов
Обработка экспериментальных данных	08.04.2021	Отчет по анализу проведенных экспериментов
Исследование полученных образцов	10.04.2021	Данные РФА, ПЭМ и др. исследований
Анализ данных исследований	01.05.2021	Обработка полученных данных исследований
Подготовка отчета/публикации	09.05.2021	Отчет/публикации

4.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования

В рамках планирования проведения исследований построен календарный график проекта (таблица 4.6). Был составлен полный перечень проводимых работ, определен состав группы и построен календарный график работ. Определено, что на реализацию заявленного проекта требуется группа, состоящая как минимум из двух сотрудников, и рассчитана длительность выполнения проекта – 90 дней.

Таблица 4.6 – Календарный план-график выполнения работ

Вид работ	Исполнители	Т _к *, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ (месяцы и декады)											
			Март			Апрель			Май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Постановка задачи	НР	2		■										
Изучение научно-технической литературы	И	5		■										
Составление технического задания	НР, И	2		■	■									
Разработка плана экспериментальных работ, расчет режимов	НР	5			■									
Подготовка оборудования	НР, И	3			■									
Подготовка исходных материалов	НР, И	4			■									
Проведение экспериментов	НР, И	7				■								
Обработка экспериментальных данных	НР, И	2					■							
Исследование полученных образцов	НР, И	19					■	■	■					
Анализ данных исследований	НР, И	8								■	■			
Подготовка отчета/публикации	НР, И	23										■	■	■

*Т_к – трудоемкость

■ – НР ■ – И

Из диаграммы видно, что практическая часть всего исследования занимает порядка двух календарных месяцев. Основную часть времени занимает исследование полученных образцов и подготовка отчета/публикации.

4.3 Бюджет научно технического исследования

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

- сырье, материалы;
- затраты на оборудование;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Сделаем расчет проведения исследований по получению и анализу наноразмерного композита $Zn_xO_y@TiO_2$ импульсным плазмохимическим методом на базе ускорителя ТЭУ-500. Будем исходить из того, что данный ускоритель работает на частоте 1 Гц. За один импульс можно получить 1,5 г нанокompозита.

4.3.1 Материальные затраты

Данная статья включает все затраты, связанные с приобретением всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для проведения работ по данному проекту, расходы на приобретение работ и услуг и пр. В стоимость материальных затрат входят транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены).

Чтобы синтезировать нанокompозит $Zn_xO_y@TiO_2$ нам потребуются следующие реагенты: $TiCl_4$ (жидкость, е.и. – литры), H_2 (баллоны 40 л), O_2 (баллоны 40 л) и ZnO (порошок, е.и. – кг).

Для получения одного образца нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ весом 1,5 г необходимо: 0,021 моль $TiCl_4$, 0,020 моль H_2 , 0,020 моль O_2 и 0,0006 моль ZnO . При проведении наших исследований нам необходимо получить 4 образца – это 6 г. Исходя из имеющегося опыта работы группы по получению нанопорошков, необходимо также заложить возможные утечки реагентов – 10% запаса. С учетом возможной утечки реагентов, требуемое для получения 4-х образцов количество реагентов: 0,0924 моль $TiCl_4$, 0,088 моль H_2 , 0,088 моль O_2 и 0,00264 моль ZnO .

Переведем исходные единицы измерения реагентов в моли. Поскольку условия хранения O₂ и H₂ отличаются от нормальных (давление в баллоне газа P = 150 атм.; T = 20 °C = 293 K), для подсчета числа молей в баллоне газа воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона:

$$P \cdot V = \nu \cdot R \cdot T, \quad (4.3)$$

где P – давление, атм.; T – температура, K; R – универсальная газовая постоянная = 0,0821 л·атм/моль·K; V – объём, л; ν – количество вещества, моль.

$$\nu = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{150 \cdot 40}{0,0821 \cdot 293} \sim 249 \text{ моль} \quad (4.4)$$

Таким образом, объем O₂ и H₂ в баллоне 40 л составляет 249 моль.

Количество тетрахлорида титана и оксида цинка в молях рассчитываем по формуле:

$$\nu = \frac{m}{M}, \quad (4.5)$$

где m – масса вещества, г; M – молярная масса вещества, г/моль.

$$\nu_{TiCl_4} = \frac{1730}{189,679} \sim 9 \text{ моль}$$

$$\nu_{ZnO} = \frac{1000}{81,38} \sim 12 \text{ моль}$$

Таким образом, в 1 л (=1, 73 кг) TiCl₄ содержится 9 моль, а в 1 кг ZnO – 12 моль.

Рассчитаем стоимость реагентов на производство 4 образцов нанокompозита Zn_xO_y@TiO₂ (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Стоимость сырья на производство нанокompозита Zn_xO_y@TiO₂

Наименование материала (производитель)	Ед. изм.	Цена за 1 ед., руб	Требуемое кол-во	Стоимость затрат, руб
Кислород (ООО «ГВС», г. Томск)	л	6,25	0,014	0,09
Водород (ООО «ГВС», г. Томск)	л	100	0,014	1,4
Хлорид титана(IV), 99,9% (АО «Chemical Line», г. Санкт- Петербург)	л	3 500	0,01	35

Оксид цинка (нанопорошок в.ч. 99.85%) («Плазмотерм», г. Москва)	кг	24 500	0,00022	5,39
Всего за материалы				41,88
Транспортно-заготовительные расходы (3 %)				1,26
Итого по статье				43,14

Затраты на материалы также включают в себя расходы на канцелярские принадлежности (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Материальные затраты на канцелярские принадлежности

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	248	1 шт.	248
Тетрадь общая, А5, 48 л.	242	1 шт.	242
Шариковая ручка	18	2 шт.	36
Пакет Зип-Лок 7см*10см*80мкм	160	1 уп.	160
Всего за материалы			686
Транспортно-заготовительные расходы (3 %)			20,58
Итого по статье			706,58

Затраты на проведение анализов полученных порошков также должны быть включены в статью материальные затраты. В таблице 4.9 перечислены методы анализа полученных четырех образцов нанокompозита и стоимость услуг на проведение данных анализов.

Таблица 4.9 – Материальные затраты на проведение анализов образцов нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во образцов	Сумма, руб.
Просвечивающая электронная микроскопия	6200	4	24 800
Рентгено-фазовый анализ	300	4	1 200
ИК-спектроскопия	480	1	480
Всего			26 480
Транспортно-заготовительные расходы (3 %)			794,4
Итого по статье			27 274,4

Таким образом, материальные затраты на получение нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ состоят из затрат на исходные реагенты, канцелярские принадлежности и проведение анализов и составляют **28 024,12 руб.**

4.3.2 Расчет амортизационных отчислений

Выполнение научно-исследовательской работы по плану занимает 3 месяца. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет.

Норма амортизации H_A рассчитывается как:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

где T – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации H_A :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%. \quad (4.7)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1650 \cdot 3 = 4950 \text{ руб.}$$

4.3.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды

Оклад научного руководителя (в должности старшего научного сотрудника) составляет 34 453 рублей в месяц с учетом РК рублей. Оклад студента принимается равным окладу инженера и составляет 13 078 рублей. В 2020 году с учётом 48-дневного отпуска старшего научного сотрудника 252 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1640 рублей в день, для инженера – 623 рубля в день.

Статья включает в себя основную и дополнительную заработную плату. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{дн} \cdot T_{РД}, \quad (4.8)$$

где $ЗП_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; $T_{РД}$ – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0,12, \quad (4.9)$$

где $ЗП_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{внеб} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,3, \quad (4.10)$$

где $ЗП_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $ЗП_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Результаты расчётов по формулам 4.8, 4.9 и 4.10 приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт основной и дополнительной заработной платы, и отчислений во внебюджетные фонды

Исполнители	ЗП_{осн}, руб	T_{РД}, дней	ЗП_{осн}, руб	ЗП_{доп}, руб	ЗП/месяц, руб	ЗП_{внеб}, руб
Руководитель	1640	21	34440	4132,8	38 572,8	11 571,6
Инженер	623	21	13083	1569,96	14 652,96	43 95,89
Итого					53 225,76	15 967,49
Итого за 3 месяца					159 677,28	47 902,47

4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех расходов.

4.3.5 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат на выполнение научно-исследовательских работ по синтезу и анализу нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ сведена в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательских работ по синтезу и анализу нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	28 024,12	11
Амортизационные отчисления	4 950	2
Заработная плата	159 677,28	60
Отчисления во внебюджетные фонды	47 902,47	18
Накладные расходы	24 055,39	9
Итого	264 609,26	100

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (60 %) средств расходуется на заработную плату исполнителей научно-исследовательских работ.

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

В данном разделе рассматриваются два способа получения наноразмерного композита $Zn_xO_y@TiO_2$:

Исполнитель 1 – импульсный плазмохимический метод;

Исполнитель 2 – газофазный способ.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.11)$$

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

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

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

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{8383}{8383} = 1 \qquad I_{финр}^{исп2} = \frac{800000}{800000} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4.12)$$

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

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.12).

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка ресурсоэффективности исполнителей проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп. 2
Надежность	0,2	4	4
Универсальность	0,2	5	3
Простота получения	0,2	5	3
Возможности	0,2	5	5
Энергосбережение	0,2	5	4
Итого	1	4,8	3,8

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 3,8$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (4.13)$$

Таким образом, интегральный показатель эффективности для исполнителей:

$$I_{исп1} = \frac{4,8}{1} = 4,8$$

$$I_{исп2} = \frac{3,8}{1} = 3,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 4.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{испmax}} \quad (4.14)$$

Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исполнитель 1	Исполнитель 2
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
Интегральный показатель ресурсо-эффективности разработки	4,8	3,8
Интегральный показатель эффективности	4,8	3,8
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация импульсного плазмохимического синтеза получения нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$ является достаточно эффективной, по сравнению с газофазным способом, с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выводы по Главе 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были выполнены следующие задачи:

1. Определен круг потенциальных потребителей результатов исследования. Выявлено, что наиболее вероятная область применения на данный момент – научные исследования.
2. Проведен анализ конкурентных технических решений выполнения проекта. Было выявлено, что основными конкурирующими методами получения нанокompозитов на данный момент являются золь-гель метод и гидротермальный метод. Предлагаемый плазмохимический метод получения нанокompозитов является перспективным, но необходимо продвижение данного метода на рынок.
3. Коммерческий потенциал и перспективность выполнения проекта были оценены на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения методики, выделил основные проблемы в технологии получения наноразмерных композитов с помощью импульсного плазмохимического метода и наметил пути их возможного решения.
4. Определена структура работ, проводимых в рамках выполнения научно-исследовательских работ. Определена рабочая группа, описаны этапы работ, контрольные события проекта, намечен план-график выполнения проекта. Было определено, что на реализацию заявленного проекта требуется группа, состоящая как минимум из двух сотрудников, и рассчитана длительность выполнения работ – 90 дней.
5. Проработан бюджет выполнения работ из расчета на три месяца. Было рассчитано, что на получение четырех образцов композиционного порошка $Zn_xO_y@TiO_2$, полученного импульсным плазмохимическим методом, и

проведение его анализа требуется сумма 264 609,26 руб, основная часть которой относится к заработной плате.

б. Рассчитан интегральный показатель ресурсоэффективности импульсного плазмохимического метода и газофазного способа получения нанокмползита $Zn_xO_y@TiO_2$ и выявлено, что реализация импульсного плазмохимического синтеза получения нанокмползита $Zn_xO_y@TiO_2$ является достаточно эффективной, по сравнению с газофазным способом, с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

По результатам проведенных исследований, можно сделать вывод о высокой теоретической и практической значимости выполнения данных научно-исследовательских работ.

Глава 5 Социальная ответственность

Получение и исследование наноразмерных порошков является важным этапом в создании новейших технологий и материалов с уникальными свойствами. Нанопорошки широко применяют в химической и фармацевтической промышленности, в нанoeлектронике и в машиностроении, в лакокрасочной промышленности, в химических аккумуляторах солнечной энергии, для очистки сточных вод и др. Нанотехнологии играют важную роль в охране окружающей среды. Ведутся многочисленные исследования по поведению наночастиц в окружающей среде [68–70]. Но наночастицы способны причинить и огромный вред окружающей среде и здоровью человека. Из-за маленького размера, наночастицы химически более активны, благодаря большой суммарной площади поверхности, в результате этого малотоксичные продукты могут превратиться в супертоксичные. Также в материалах могут проявляться квантовые эффекты благодаря химическим и электрическим свойствам наночастиц, что может сделать продукт очень опасным. Более того, наночастицы способны проходить сквозь клеточные мембраны благодаря своему наноразмеру, повреждая при этом клетки. Поэтому нельзя недооценивать потенциальную опасность наночастиц.

Целью данного раздела ставится рассмотрение безопасности и экологичности получения наноразмерного порошка импульсным плазмохимическим методом на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 с использованием плазмохимического реактора, расположенным в НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Персонал лаборатории, работающий на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500, обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [71].

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

Согласно инструкции №55 по охране труда на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 [72], к работе с ускорителем ТЭУ-500 допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, прошедшие обучение, инструктаж по безопасности труда на рабочем месте (1 раз в 3 месяца) и проверку знаний требований безопасности (1 раз в год) в комиссии на допуск к работе:

- по радиационной безопасности;
- по электробезопасности;
- с сосудами, работающими под давлением;
- по химической безопасности.

Также согласно данной инструкции, работы на установке относятся к категории работ повышенной опасности, выполняемые по наряду, выдаваемым лицом, уполномоченным на это приказом директора ИШНПТ ТПУ. Работы разрешается проводить аттестованному персоналу в составе бригады не менее 2-х человек, имеющему квалификационные группы по электробезопасности: для ответственного руководителя – не ниже 4-ой, для производителя работ – не ниже 3-ей [73].

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

5.2 Производственная безопасность

При работе на установке ТЭУ-500 имеют место опасные и вредные производственные факторы [72, 74]:

- опасные уровни напряжения в электрических цепях, замыкание которых может привести к поражению человека электрическим током (силовые цепи вакуумных насосов – 380 В, цепи питания приборов – 220 В, ГИН до 40 кВ);
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне (источник: ускоритель ТЭУ-500);
- химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях.

При работе с плазмохимическим реактором:

- повышенная пожароопасность при работе с кислородом.

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при работе с ускорителем ТЭУ-500 и нормативные документы, их регулирующие [75–82], сведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы при работе с ускорителем ТЭУ-500

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Отсутствие естественного света	СП 52.13330.2016 СНиП 23-05-95
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	СанПиН 2.6.1.2523-09
Повышенная пожаро- и взрывоопасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ
Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях	ПНД Ф 12.13.1-03 ПОТ Р М-004-97

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при работе на ускорителе ТЭУ-500 являются сам ускоритель, вытяжка, форвакуумные насосы. Поскольку ускоритель работает в импульсном режиме и оператор во время его работы находится в пультовой, шум оказывает слабое воздействие на персонал. Основная вытяжка работает постоянно, а дополнительная включается при сборе полученного нанопорошка над плазмохимическим реактором. Форвакуумные насосы работают только во время создания вакуума в реакторе и диодной камере, шум от которых не более 50 дБ, что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 60 дБ [83].

Шум является очень важным фактором, влияющим на организм человека. Повышенный уровень шума вызывает проблемы со здоровьем, например, тугоухость, глухоту, оказывает неблагоприятное воздействие на психику и центральную нервную систему человека. В результате его воздействия у

человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии, наблюдаются подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. В целом, можно заключить, что шум снижает работоспособность и производительность труда персонала [84].

В рассматриваемом производственном помещении удалось добиться снижения общего уровня шума за счет применения малозумной вытяжной вентиляции и размещения вентиляционного блока в соседнем производственном помещении, а также применением насосов с низким уровнем шума и вибрации.

2. Отсутствие естественного света

Согласно СНиП 23-05-95, работа в лаборатории имеет разряд зрительной работы VIII а. Освещение в производственном помещении не должно давать глазам ощущения напряжения. При недостаточном освещении оператор быстро утомляется, производительность труда падает, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может вызвать профессиональные заболевания (например, близорукость или дальнозоркость, спазмы и др.).

Ускоритель ТЭУ-500 и пультовая к нему расположены в помещении без окон и естественное освещение там отсутствует. Для достижения требуемого качества искусственного освещения установлены люминесцентные лампы. Норма освещенности производственного помещения должна составлять 200 лк [77]. Освещение в данном производственном помещении соответствует санитарным нормам: искусственное освещение на рабочих поверхностях составляет 350 лк [74].

2.2 Расчет светильников и их размещение

Производственное помещение, где располагается установка ТЭУ-500, имеет следующие параметры (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Параметры помещения 03, корпус 11Г НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
5,63	5,58	2,94	1,3

Согласно СНиП 23-05-95, необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности).

Рассчитаем площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 5,63 \cdot 5,58 = 31,4 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

Коэффициент отражения стен, оклеенных светлыми обоями $R_c = 30\%$, свежепобеленного потолка $R_n = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли, $k = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем тип светильника ОД – 2-40 (две лампы мощностью 40 Вт каждая) с длиной $l_{cv} = 1,23$ м, шириной = 0,266 м и КПД = 75%.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников для люминесцентных светильников без защитной решётки $\lambda = 1,4$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0$ м.

Определяем расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 2,94 - 0 - 1,3 = 1,64 \text{ м}. \quad (5.2)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами светильников L рассчитываем по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,64 = 2,296 \text{ м}. \quad (5.3)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,8 \text{ м}.$$

Определяем число рядов светильников $n_{ряд}$ в помещении и количество светильников в ряду $n_{св}$:

$$n_{ряд} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(5,58 - \frac{2}{3} \cdot 2,296)}{1,81} + 1 \approx 2. \quad (5.4)$$

$$n_{св} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{св} + 0,5} = \frac{(5,63 - \frac{2}{3} \cdot 2,296)}{1,23 + 0,5} \approx 2. \quad (5.5)$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить по два светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом расстояние между светильниками в ряду составит 1,57 м. На рисунке 5.1 изображен план помещения и размещения на нем светильников. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N_l = 8$.

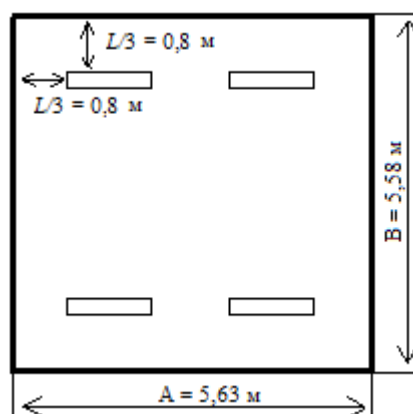


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения i определим по формуле:

$$i = S/h(A + B) = 31,4/(1,64(5,63 + 5,58)) \approx 1,7. \quad (5.6)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $R_c = 30\%$, $R_n = 70\%$ и индексе помещения $i = 1,7$ равен $\eta = 0,6$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп в каждом из рядов определяем по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 31,4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,6} = 2159 \text{ лм.} \quad (5.7)$$

Ближайшая по параметрам стандартная лампа – ЛД мощностью 40 Вт со световым потоком 2300 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%. \quad (5.8)$$

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2159}{2300} \cdot 100\% = 6,1\% \quad (5.9)$$

Получаем: $-10\% \leq 6,1\% \leq +20\%$. Необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Определяем электрическую мощность осветительной установки P :

$$P = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт.}$$

Таким образом, в производственном помещении площадью 31,4 м², где ведутся работы с импульсным электронным ускорителем ТЭУ-500, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности), для создания освещенности данного помещения не ниже $E_{\text{н}} = 200$ лк, необходимо четыре светильника ОД – 2-40 (две лампы мощностью 40 Вт каждая), при этом электрическая мощность осветительной установки будет равна 320 Вт.

3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Источниками высокого напряжения при работе с ускорителем ТЭУ-500 являются силовые цепи вакуумных насосов – 380 В, цепи питания приборов – 220 В, ГИН – до 300 кВ на выходе, высоковольтный трансформатор – 35–40 кВ на выходе [72].

При прикосновении к незащищенным частям электрооборудования, которое находится под напряжением или где протекает ток, человек

подвергается опасности. Пороговой чувствительной величиной силы тока у большинства людей является пропускание тока в 1 мА. При токе, превышающим 10–15 мА, человек не может самостоятельно освободиться от токоведущих частей. При токе 20–25 мА (50 Гц) человек начинает испытывать затруднение дыхания. Действие тока 100 мА в течение 2–3 секунд приводит к смерти. [85].

Напряжение в силовых цепях вакуумных насосов на ускорителе ТЭУ-500 составляет 380 В, 50 Гц, и прикосновение к ним может вызвать летальный исход. Высокое напряжение достигает в генераторе импульсных напряжений 300 кВ, а в высоковольтном трансформаторе 35–40 кВ, а ток в импульсном режиме может достигать 10 кА [86].

Обеспечение безопасности установок при их нормальном режиме работы производится за счет применения следующих защитных мер:

- применением изоляции;
- недоступностью токоведущих элементов;
- применением низких напряжений;
- изоляцией элементов, в которых есть ток от земли [87].

Для предотвращения поражения электрическим током при эксплуатации ТЭУ-500, запрещается проведение работ при неисправной изоляции токоведущих частей, так и производить ремонт установки при включенном высоковольтном источнике питания. При включении электрической части запрещается производить электрические отключения и подключения внутри соответствующих блоков, взаимные перемещения этих блоков. Также запрещается работать с незаземленным оборудованием, проводить работы с источником одному человеку, устранять неисправности на включенной установке, отлучаться в течение всей работы на установке [72]. Для того, чтобы обезопасить персонал при работе ускорителя в импульсном режиме, персонал, проводящий эксперименты, должен находиться в пультовой, а все двери должны быть заблокированы. Присутствие посторонних лиц в помещении при проведении работ на ТЭУ-500 запрещается.

Для защиты от высокого напряжения предусмотрены блокировки включения высоковольтного трансформатора при открытой входной двери. Предлагаемыми средствами коллективной защиты от данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление. В качестве средства индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки и коврики, штанги для снятия остаточного напряжения [87].

4. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне

Источником повышенного уровня ионизирующих излучений при работе на ускорителе ТЭУ-500 является сильнооточный электронный пучок, который генерирует тормозное рентгеновское излучение, мощность которого превышает допустимую норму для обслуживающего персонала.

Даже небольшие дозы рентгеновского излучения могут увеличить риск сердечно-сосудистых заболеваний или вызвать изменения в хромосомном аппарате половых клеток, что может проявиться в последующих поколениях вредными для потомства изменениями (аномалиями развития, снижением общей сопротивляемости и т. д.). Систематическое облучение может привести к генетическим изменениям в организме человека. [88].

Контрольные уровни дозы облучения устанавливаются администрацией ТПУ. Их численные значения учитывают достигнутый в университете уровень радиационной безопасности и обеспечивают условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Допустимые уровни мощности дозы при внешнем облучении всего тела от техногенных источников, мкЗв/час [74, 89].

Назначение помещения	Мощность дозы, мкЗв/час
Помещение постоянного пребывания лиц из персонала	6
Помещения временного пребывания персонала	12
Помещения, в которых имеются постоянные рабочие места лиц, не отнесенных к персоналу	0,25
Территория, прилегающая к наружным стенам здания ускорителя	1,2
Жилые помещения и территория, где постоянно находятся лица из населения	0,1

Предельно допустимая мощность дозы составляет 20 мЗв/год, для НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ установлена контрольная мощность дозы – 3,0 мкЗв/час. [74].

При работе ускорителя ТЭУ-500 за один импульс эквивалентная доза на расстоянии 20 см от выводного окна ускорителя превышает 0,1 мкЗв за импульс [41]. Поэтому для защиты персонала от ионизирующего облучения предпринимаются следующие мероприятия по индивидуальной и коллективной защите. При проведении экспериментов на ускорителе ТЭУ-500, оператор находится в отдельном от источника излучения (диодного узла ускорителя) помещении (пультовой), отделенной от установки бетонной стеной и металлической дверью. Также входная металлическая дверь защищает коридорное пространство лаборатории от облучения. Входная дверь в производственное помещение, где находится ускоритель, блокируется с включением высокого (ускоряющего) напряжения так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала. Для предотвращения облучения рентгеновским излучением запрещается включение высоковольтного блока питания в случае нахождения персонала в помещении вне пультовой комнаты. При работе на ускорителе применяется персональный дозиметр, который далее

сдается на анализ, подтверждающий не облученность персонала при работе с ускорителем.

В лаборатории 2 раза в год проходят исследования по определению радиационной обстановки и соответствию основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) и нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

5. Повышенная пожаро- и взрывоопасность

Источником повышенной пожаро- и взрывоопасности является ускоритель ТЭУ-500: нарушение правил его эксплуатации, неисправность оборудования, нарушение технологического процесса производства, нарушение правил пожарной безопасности (ППБ 01-03).

Основными поражающими факторами пожаров на человека являются: тепловое излучение и токсическое действие продуктов горения. В результате, человек может получить как ожоги тела, так и ожоги верхних дыхательных путей разных степеней. Отравление токсическими продуктами горения является основной причиной смерти человека при возникновении пожара. Для персонала, работающего в помещении без окон, где расположен ускоритель, это особенно опасно, поскольку даже при незначительном пожаре помещение быстро заполнится горячим воздухом и дымом.

Для обеспечения пожарной безопасности при работе на импульсном ускорителе электронов ТЭУ-500, должно быть обеспечено наличие:

- углекислотного огнетушителя - 1 шт.;
- пенного огнетушителя - 1 шт.;
- ящика с песком и совком - 1 шт.

Для корпусов ТПУ разработан план эвакуации, в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации. Помещение, где установлен ускоритель ТЭУ-500,

оборудовано системой автоматической пожарной сигнализации, а также системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

б. Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях

Химические вещества, используемые при синтезе наноразмерных порошков, могут находиться в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях. При выполнении работ на ускорителе, есть опасность проникновения этих химических веществ в организм человека через органы дыхания, глаза, поверхности ран, желудочно-кишечный тракт, кожу, и возникновения при этом местных или общих поражений. В результате этого могут быть поражены внутренние органы, нервная система и головной мозг. В таблице 5.4 приведены некоторые вещества, используемые при работе на ускорителе ТЭУ-500, их характеристики, воздействие данных веществ на человека и меры оказания первой медицинской помощи при проявлении признаков отравления данными веществами.

Таблица 5.4 – Характеристики веществ, используемых при работе на ускорителе, их воздействие на человека и меры оказания первой медицинской помощи при проявлении признаков отравления

Наименование	Характеристика	Воздействие на человека	Оказание первой мед помощи при отравлении
Аргон	Бесцветный газ без цвета и запаха	При давлении 4 атм. вызывает оцепенение, нервно-мышечные расстройства, затуманенность мышления	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.
Ацетон	Летучая бесцветная жидкость с характерным запахом	При вдыхании накапливается в организме, вызывает заторможенность, галлюцинации	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.

Соляная кислота	Бесцветная жидкость с резким запахом	Токсична, вызывает сильные ожоги слизистых оболочек, удушье	При поражении кожного покрова, промыть большим количеством воды, затем обработать слабым раствором соды и наложить бинты. В случае удушья, обеспечить доступ к свежему воздуху. Обратиться за медицинской помощью.
Уайт-спирит	Прямогонный или гидроочищенный бензин	Головная боль, кашель, раздражение слизистой оболочки глаз, носа. Головокружение, неустойчивая походка, психическое возбуждение	Свежий воздух, покой. Дать сердечные и успокоительные средства. При попадании в желудок – принять внутрь растительное масло (30-50 г). Обратиться за медицинской помощью.
Диоксид кремния	Бесцветное кристаллическое или аморфное вещество	Развитие гранулем при попадании в живые ткани. Раздражение верхних дыхательных путей и бронхов, силикоз легких	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.
Оксид цинка	Бесцветный кристаллический порошок	Малотоксичен. Раздражение верхних дыхательных путей и кашель	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.
Тетрахлорид титана	Бесцветная подвижная прозрачная ядовитая жидкость, дымящая на воздухе	Токсичен. Поражает слизистые оболочки рта и верхних дыхательных путей, а также роговицы глаз. Вызывает ожоги кожи и бронхит.	При вдыхании: свежий воздух, покой. Полусидячее положение. Искусственное дыхание по показаниям. При попадании на кожу: промыть кожу водой с мылом. При попадании в глаза: промыть водой. Обратиться за медицинской помощью.

Для обеспечения безопасности при работе на ускорителе используются следующие технические способы и средства коллективной и индивидуальной защиты:

- средства защиты органов дыхания (респираторы, противогаз, защитная маска);
- вытяжная вентиляция;
- дополнительная вытяжная вентиляция над плазмохимическим реактором;
- средство защиты глаз (очки).

Также персонал, при работе на ТЭУ-500, должен быть обеспечен спецодеждой (халат х/б, перчатки резиновые, нарукавники пластиковые (дежурные), спецобувь (сапоги)).

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Условия эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, согласно документации [72, 90], следующие:

- численность работающих на установке: 2-4 человека;
- производственный шум: менее 50 дБ;
- уровень вибрации: отсутствует;
- загрязненность и запыленность воздушной среды: отсутствует;
- влажность воздуха: 45%;
- скорость движения воздуха: 0,2 м/с;
- радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений: ускоритель ТЭУ-500;
- электромагнитные излучения: отсутствуют;
- классификация помещения по степени опасности поражения электрическим током: повышенной опасности;
- наличие химических веществ (ацетон, уайт-спирит) в стеклянной таре по 0,5 л. в сейфе.

Площадь производственного помещения, где располагается ТЭУ-500, на одного человека составляет не менее 8 м² при санитарной норме 4,5 м². Объем производственного помещения на одного работающего – не менее 23,5 м³ при санитарной норме 15 м³ [91].

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать величинам, приведенным в соответствующих документах. [92, 93]

В производственном помещении, где расположен ускоритель ТЭУ-500, оптимальные величины температуры воздуха и его относительной влажности соблюдается. Повышенная скорость движения воздуха объясняется постоянной работой вытяжной вентиляции, которая обеспечивает удаление из помещения загрязненного воздуха, поскольку в ходе технологического процесса и при обслуживании установки в воздухе присутствуют пары диффузионного масла, этилового спирта, бензина, ацетона, а также наночастицы получаемых порошков и их компонентов.

Пары используемых при работе химических веществ воспламеняются, при смешивании с воздухом становятся взрывоопасными. Ацетон, бензин, этиловый спирт являются органическими растворителями, и относятся к четвертому классу опасности [94]. При работе форвакуумного (механического) насоса в воздух выбрасываются пары масла, которые относятся к углеводородам, и также вредно влияют на организм. Для удаления выхлопного газа форвакуумного насоса, содержащего пары масла, используется трубопровод, по которому выхлоп выводится за пределы рабочих помещений.

Для защиты от высокого напряжения, формируемому узлами установки, предусмотрены блокировки включения высоковольтного трансформатора при открытой входной двери. Предлагаемыми средствами коллективной защиты от

данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление. В качестве средства индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки, штанги для снятия остаточного напряжения, и диэлектрические коврики [87].

Поскольку при работе в помещении, в котором находится ускоритель, существует опасность возникновения пожара, персонал должен знать сигналы оповещения о пожаре, место нахождения средств для тушения пожара и уметь ими пользоваться. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы. Требования инструкции являются обязательными для исполнения всеми сотрудниками. Лица, виновные в нарушении правил пожарной безопасности, несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Основные причины возникновения пожара при эксплуатации импульсного ускорителя ТЭУ-500:

- воспламенение используемых материалов в результате отказа системы охлаждения плазмохимического реактора;
- повышенное давление газа в корпусе ГИН;
- воспламенение изоляции электрических проводов, автотрансформаторов, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или других причин.

Меры предупреждения возникновения пожара: перед началом технологического процесса необходимо проверить:

- исправность системы охлаждения;
- правильность установки датчиков температуры;
- правильность подключения силовых разъемов питающих проводов;
- исправность системы заземления.

Во время технологического процесса каждые 30 минут производить осмотр рабочего оборудования, контроль температуры и остаточного давления в камере по соответствующим приборам [95].

Для защиты от повышенного давления газа в корпусе ГИН предусмотрен клапан аварийного сброса давления [96].

В случае возникновения пожара необходимо:

- выключить рубильник электропитания установки;
- принять меры для ликвидации очага пожара, используя средства пожаротушения: огнетушители, противопожарный пожарный песок;
- если пожар ликвидировать не удастся, необходимо немедленно вызвать по телефону пожарную команду (тел. 01) и сообщить администрации института.

Запрещается:

- курить на рабочих местах и в местах хранения термопластов;
- выключать вентиляцию во время технологического процесса, т.е. протекании реакции в плазмохимическом реакторе;
- оставлять без присмотра включенное оборудование на производственных участках;
- использовать неисправное электрооборудование и приборы;
- хранить в помещениях производственных участков промасленную ветошь, легковоспламеняющиеся вещества и горючие жидкости [97].

При получении композиционных нанопорошков $Zn_xO_y@TiO_2$ на ускорителе ТЭУ-500 исходным веществом является $TiCl_4$, кислород и водород. Кислород и водород находятся в подушках и подаются в реактор через герметичное соединение. [94, 98].

Поскольку в настоящий момент эксперименты производятся с безопасным для организма человека объемом производимого порошка, средства индивидуальной защиты включают в себя только респиратор, а при вскрытии реактора обязательно использование резиновых перчаток и работающая дополнительная вытяжная вентиляция.

В дополнение к существующим средствам защиты лаборатории приняты следующие меры:

- для вытяжки опасных летучих примесей из плазмохимического реактора используется вентиляция с фильтром абсолютной чистки. Данный фильтр обеспечивает задержку частиц меньше 0,1 микрона и защищает окружающую среду от радиоактивной пыли и аэрозольных примесей.
- используются перфокарты для сбора порошка, полиэтиленовые пакеты для транспортировки, что препятствует попаданию опасного вещества в рабочую зону.

5.3 Экологическая безопасность

Воздействие на атмосферу

Синтез наноразмерного порошка плазмохимическим методом на установке ТЭУ-500 предполагает использование химических и взрывоопасных материалов, которые хранятся в надежно закрытой стеклянной таре на полке вытяжного шкафа (ацетон, уайт-спирит, $TiCl_4$, хлороводород) и в полках (аргон, водород, кислород). Выбросы газообразных веществ в атмосферу, которые являются побочным продуктом синтеза нанопорошков, происходят только через вытяжную систему при наличии фильтров.

Воздействие на гидросферу

Воздействие на гидросферу не оказывается, поскольку вода используется только для охлаждения паромасляного насоса ускорителя без контакта с загрязняющими веществами. Радиоактивные отходы в производственном процессе не образуются.

Воздействие на литосферу

Накапливаемые производственные отходы складываются в стальной бак на входе в производственное помещение и далее утилизируются. Организация сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов является полномочиями органов местного самоуправления в области обращения с отходами и регулируется Федеральным законом Российской Федерации от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», Федеральным законом от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Федеральным законом от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно – эпидемиологическом благополучии населения», а также санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами [99].

По мере отработки, в источнике питания и в насосах меняется масло. Согласно п.6. ГОСТ Р 56828.42-2018 [100], обращение с отходами отработанных масел включает следующие основные этапы:

- сбор отработанных масел;
- накопление или хранение отработанных масел отдельно или в смеси;
- транспортирование отработанных масел;
- подготовка отработанных масел к утилизации;
- утилизация отработанных масел;
- обращение с вторичными отходами.

Отработанное масло с насосов установки ТЭУ-500 сливается в емкости, не хранится в помещении, а сдается в Отдел главного инженера ТПУ, в основные задачи которого входит осуществление производственного экологического контроля в области охраны окружающей среды и экологической безопасности в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством в области охраны

окружающей среды [101, п.3.7], и утилизируется в соответствии с правилами утилизации [100].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе работ на ускорителе ТЭУ-500 могут возникнуть аварийные чрезвычайные ситуации:

- короткое замыкание в силовых цепях питания оборудования;
- деструкция плазмохимического реактора (возникает опасность взрыва);
- пролив химических реактивов при подготовке к эксперименту;
- отключение подачи холодной воды;
- возникновение пожара.

При коротком замыкании в силовых цепях питания оборудования необходимо:

- отключить пульт управления ускорителя от сети;
- обесточить ускоритель, установив в нижнее положение ручку рубильника.

При деструкции плазмохимического реактора необходимо покинуть помещение, оставив включенной вентиляцию до полного исчезновения запаха.

При отключении холодной воды при работе паромаслянного насоса необходимо закрыть затвор высоковакуумной откачки.

При несчастном случае с наличием пострадавших необходимо:

- принять меры по освобождению пострадавшего от действия травмирующего объекта;
- оказать пострадавшему первую помощь в зависимости от вида травм;
- поставить в известность о случившемся руководство и принять меры к эвакуации пострадавшего в лечебное учреждение или вызвать скорую (тел. 03, моб. 103).

Возможными причинами пожара на ускорителе могут стать:

- неисправность электропроводки;
- перегрузка;
- плохие контакты;
- отсутствие воды в трубопроводе;
- плитка промасленного насоса;
- пробой конденсаторов и воспламенение масла в них.

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок. В случае возникновения пожара, алгоритм действий персонала следующий:

- вызвать пожарный расчет (тел. 01, моб. 101);
- отключить электропитание, выключить вентиляцию;
- закрыть двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
- воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП, УК или П) или песком. При невозможности - начать эвакуацию людей из помещения [102];
- сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.

Выводы по Главе 5 Социальная ответственность

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, а именно: повышенный уровень шума; отсутствие естественного света; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; повышенная пожаро- и взрывоопасность; химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях. По результатам анализа вредных и опасных факторов, был определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций, вызванных данными факторами при эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500.

Заключение

В рамках выполнения данной работы импульсным плазмохимическим методом была получена и проанализирована партия образцов наноразмерного композита $Zn_xO_y@TiO_2$.

В ходе работ был выполнен обзор литературы по данной тематике, рассмотрены методы получения данного нанокompозита и его физико-химические свойства. Изучен принцип работы и диагностическое оборудование импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, приобретены навыки работы на данном ускорителе. Описаны существующие методы анализа нанопорошков, такие как просвечивающая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, EDX анализ. Были приобретены навыки по анализу данных, полученных этими методами. Приобретен опыт по проведению испытаний на определение фотокаталитической активности синтезированных нанокompозитов.

В рамках выполнения работ по финансовому менеджменту, была определена ресурсная (ресурсосберегающая), финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования.

Также в рамках работы рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500 и определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций, вызванных данными факторами.

Выполненная работа имеет теоретическую и практическую значимость. Впервые продемонстрировано использование метода импульсного плазмохимического синтеза для получения нанокompозита $Zn_xO_y@TiO_2$. Выявлено, что нанокompозит $Zn_xO_y@TiO_2$ показывает фотокаталитическую активность не только под действием УФ источника, но и при облучении видимым светом, что говорит о том, что полученный нанокompозит может эффективно преобразовывать солнечную энергию.

Список публикаций

1. Сазонов Р.В., Холодная Г.Е., Пономарев Д.В., Лаптева О.П. Особенности влияния добавки буферного газа в процессе импульсного плазмохимического синтеза на морфологию и размер наноразмерных углеродсодержащих композитов на основе оксида титана. Труды 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ, стр. 143–144 (2020).
2. Sazonov R., Kholodnaya G., Ponomarev D., Lapteva O., Konusov F., Gadirov R., Zhirkov I. Pulsed plasma chemical synthesis of $\text{TiO}_2@ \text{Ti}_x\text{C}_y\text{O}_z$ nanocomposite. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*. (2021). DOI: 10.1080/1536383X.2020.1871331
3. Zhuravlev M., Sazonov R., Kholodnaya G., Pyatkov I., Ponomarev D., Konusov F., Lapteva O., Gadirov R. Synthesis and characterization of zinc oxide nanopowder. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*. Vol. 51, Iss. 6, p. 798-804 (2021). DOI: 10.1080/24701556.2020.1809460.
4. Sazonov R., Kholodnaya G., Ponomarev D., Zhuravlev M., Pyatkov I., Konusov F., Lapteva O., Gadirov R. Pulsed plasma-chemical modification of SiO_2 nanopowder by Zn_xO_y nanoparticles. *International Journal of Nanoscience*. Vol. 20, Iss. 1, Article ID 2150005 (2021). DOI: 10.1142/S0219581X21500058.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ильин А.П., Коршунов А.В., Перевезенцева Д.О., Толбанова Л.О. Диагностика нанопорошков и наноматериалов: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008, 249 стр.
2. Методы получения наноразмерных материалов. Курс лекций. Екатеринбург, 2007, 79 стр.
3. Jiang J., Pi J., Cai J. The advancing of zinc oxide nanoparticles for biomedical applications, bioinorganic chemistry and applications. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Vol. 2018, Article ID 1062562, 18 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1062562>.
4. Moellmann J., Ehrlich S., Tonner R., Grimme S. A DFT-D study of structural and energetic properties of TiO₂ modifications. *Journal of Physics: Condensed Matter*. Vol. 24, No. 42, Article ID 424206, 2012.
5. Тихонов В.А., Лановецкий С.В., Ткачева В.Э. Исследование фотокаталитической активности высокодисперсного диоксида титана. *Вестник технологического университета*. Т. 19, № 9, 2016.
6. Ресурсы сайта Википедия Сайт: URL [https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_титана\(IV\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_титана(IV)).
7. Goodeve C.F. The absorption spectra and photo-sensitising activity of white pigments. *Transactions of the Faraday Society*. Vol. 33, pp. 340–347, 1937.
8. Doğan S.Ş., Kocabaş A. Green synthesis of ZnO nanoparticles with *Veronica multifida* and their antibiofilm activity. *Human and Experimental Toxicology*. Vol. 39, Issue 3, pp. 319–327, 2020.
9. Singhal G., Bhavesh R., Kasariya K., Sharma A.R. Singh, R.P. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ocimum sanctum* (Tulsi) leaf extract and screening its antimicrobial activity. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 13, Issue 7, pp. 2981–2988, 2011.

10. Espitia P.J.P., Otoni C.G., Soares N.F.F. Zinc oxide nanoparticles for food packaging applications. *Antimicrobial Food Packaging*. Chapter 34, pp. 425–431, 2016.
11. Ghorbani H.R., Mehr F.P., Pazoki H., Rahmani B.M. Synthesis of ZnO nanoparticles by precipitation method. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 31, Issue 2, pp. 1219–1221, 2015.
12. Fink B. Revision of late periprosthetic infections of total hip endoprostheses: Pros and cons of different concepts. *International Journal of Medical Sciences*. Vol. 6, Issue 5, pp. 287–295, 2009.
13. Vijayakumar S., Vaseeharan B. Antibiofilm, anti cancer and ecotoxicity properties of collagen based ZnO nanoparticles. *Advanced Powder Technology*. Vol. 29, Issue 10, pp. 2331–2345, 2018.
14. Serrà A., Pip P., Gómez E., Philippe L. Efficient magnetic hybrid ZnO-based photocatalysts for visible-light-driven removal of toxic cyanobacteria blooms and cyanotoxins. *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol. 268, No. 5, Article ID: 118745, 2020.
15. Widiyandari H., Umiati N.A.K., Herdianti R.D. Synthesis and photocatalytic property of Zinc Oxide (ZnO) fine particle using flame spray pyrolysis method. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1025 Article ID: 012004, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1025/1/012004>.
16. Serrano-Lázaro A., Verdín-Betancourt F.A., Jayaraman V.K., López-González M.D.L., Hernández-Gordillo A., Sierra-Santoyo A., Bizarro M. Efficient photocatalytic elimination of Temephos pesticide using ZnO nanoflowers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. Vol. 393, No. 15 Article ID: 112414, 2020.
17. Jayaraman V.K., Hernández-Gordillo A., Bizarro M. Importance of precursor type in fabricating ZnO thin films for photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*. Vol. 75, pp. 36–42, 2018.

18. Araújo E.S., Libardi J., Faia P.M., Helinando P. de Oliveira. Hybrid ZnO/TiO₂ loaded in electrospun polymeric fibers as photocatalyst. *Journal of Chemistry*. Vol. 2015, Article ID 476472, 10 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/476472>.
19. Anitha V.C., Banerjee A.N., Joo S.W. Recent developments in TiO₂ as n- and p-type transparent semiconductors: synthesis, modification, properties, and energy-related applications. *Journal of Materials Science*. Vol. 50, pp. 7495–7536, 2015.
20. Wang H., Zhang L., Chen Z. et al. Semiconductor heterojunction photocatalysts: design, construction, and photocatalytic performances. *Chemical Society Reviews*. Vol. 43, No. 15, pp. 5234–5244, 2014.
21. Serpone N., Maruthamuthu P., Pichat P., Pelizzetti E., Hidaka H.J. Exploiting the interparticle electron transfer process in the photocatalysed oxidation of phenol, 2-chlorophenol and pentachlorophenol: chemical evidence for electron and hole transfer between coupled semiconductors. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. Vol. 85, No. 3, pp. 247–255, 1995.
22. Sukharev V. and Kershaw R. Concerning the role of oxygen in photocatalytic decomposition of salicylic acid in water. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. Vol. 98, No. 3, pp. 165–169, 1996.
23. Silva S. S., Magalhães F., Sansiviero M.T.C. ZnO/TiO₂ semiconductor nanocomposites. Photocatalytic tests. *Quimica Nova*. Vol. 33, No. 1, pp. 85–89, 2010.
24. Marci G., Augugliaro V., López-Muñoz M.J. Preparation characterization and photocatalytic activity of polycrystalline ZnO/TiO₂ systems. 2. Surface, bulk characterization, and 4-nitrophenol photodegradation in liquid-solid regime. *The Journal of Physical Chemistry B*. Vol. 105, No. 5, pp. 1033–1040, 2001.
25. Zhang Z., Yuan Y., Fang Y., Liang L., Ding H., Jin L. Preparation of photocatalytic nano-ZnO/TiO₂ film and application for determination of chemical oxygen demand. *Talanta*. Vol. 73, No. 3, pp. 523–528, 2007.
26. Tian J., Chen L., Yin Y. Photocatalyst of TiO₂/ZnO nanocomposite film: preparation, characterization, and photodegradation activity of methyl orange. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 204, No. 1–2, pp. 205–214, 2009.

27. Tian J., Wang J., Dai J., Wang X., Yin Y. N-doped TiO₂/ZnO composite powder and its photocatalytic performance for degradation of methyl orange. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 204, No. 5, pp. 723–730, 2009
28. Gaurav K. Upadhyaya, Jeevitesh K. Rajputa, Trilok K. Pathaka, Vinod Kumara, L.P. Purohita, Synthesis of ZnO:TiO₂ nanocomposites for photocatalyst application in visible light. *Vacuum*. Issue 160, pp. 154–163, 2019.
29. Terabe K., Kato K., Miyazaki H., Yamaguchi S., Imai A., Iguchi Y. Microstructure and crystallization behaviour of TiO₂ precursor prepared by the sol-gel method using metal alkoxide. *Journal of Materials Science*. Vol. 29, No. 6, pp. 1617–1622, 1994.
30. Zhao X., Zhao Q. Photocatalytic activity of nanometer TiO₂ thin films prepared by the sol–gel method. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 69, No. 1–3, pp. 25–29, 2001.
31. Ohya Y., Saiki H., Tanaka T., Takahashi Y. Microstructure of TiO₂ and ZnO films fabricated by the sol-gel method. *J. Am. Ceram. Soc.* Vol. 79, No. 4, pp. 825–830, 1996.
32. Bischoff B.L., Anderson M.A. Peptization process in the sol-gel preparation of porous anatase (TiO₂). *Chem. Mater.* Vol. 7, No. 10, pp. 1772–1778, 1995.
33. Zalani N.M., Kaleji B.K., Mazinani B. Synthesis and characterisation of the mesoporous ZnO-TiO₂ nanocomposite; Taguchi optimisation and photocatalytic methylene blue degradation under visible light. *Materials Technology*. Vol. 35, No. 5, pp. 281–289, 2020.
34. Chen D., Zhang H., Hu S., Li J. Preparation and enhanced photoelectrochemical performance of coupled bicomponent ZnO-TiO₂ nanocomposites. *Journal of Physical Chemistry C*. Vol. 112, Issue 1, pp. 117–122, 2008.
35. Barreca D., Comini E., Ferrucci A.P., Gasparotto A., Maccato C., Maragno C., Sberveglieri G., Tondello E. First example of ZnO–TiO₂ nanocomposites by chemical

- vapor deposition: structure, morphology, composition, and gas sensing performances. *Chem. Mater.* Vol. 19, No. 23, 5642–5649, 2007. <https://doi.org/10.1021/cm701990f>.
36. Kibombo H.S. Peng R., Rasalingam S., Koodali R.T. Versatility of heterogeneous photocatalysis: synthetic methodologies epitomizing the role of silica support in TiO₂ based mixed oxides. *Catalysis Science & Technology.* Vol. 2, pp. 1737–1766, 2012.
37. Yoon K.H., Cho J., Kang D.H. Physical and photoelectrochemical properties of the TiO₂-ZnO system. *Materials Research Bulletin.* Vol. 34, No. 9, pp. 1451–1461, 1999.
38. Vaezi M.R. Two-step solochemical synthesis of ZnO/TiO₂ nanocomposite materials. *Journal of Materials Processing Technology.* Vol. 205, Issue 1–3, pp. 332–337, 2008.
39. Kim G.S., Nathanael J.A., Kim Y.J., Oh T.H. Preparation of TiO₂-coated ZnO nanoparticles and their effect on the UV absorption of a poly(vinyl alcohol) composite film. *Fibers and Polymers.* Vol. 19, No. 8, pp. 1747–1752, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-8328-3>.
40. Remnev G.E., Pushkarev A.I. Research of chain plasmochemical synthesis of superdispersed silicon dioxide by pulse electron beam. *IEEJ Transactions on fundamentals and materials.* Vol. 124, No. 6, pp. 483-486. 2004
41. Пушкарев А., Исакова Ю., Сазонов Р., Холодная Г. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом. М.: Физматлит. 2013, 240 стр.
42. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вивчення структури матеріалів методом електронної мікроскопії» з курсів «Введення до нанотехнологій», «Технології і техніка нанорівня», «Наноматеріали і нанотехнології» для студентів машинобудівних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Уклад.: Л.І. Пупань. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 35 стр. Рос. мовою.
43. <https://emicroscope.ru/microscopes/prosvet/>.

44. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Методические указания к лабораторным работам по диагностике материалов. Санкт-Петербург: ЦКП "Материаловедение и диагностика в передовых технологиях" при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. 2010, 25 стр.
45. Методические указания к практическим и лабораторным работам по дисциплине «Основы кристаллографии» для направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень бакалавриата). Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. 2016, 57 стр.
46. Надольский А.Л., Горбунов В.А., Серикова В.П., Плещев В.Г. Качественный рентгенографический фазовый анализ. Описания лабораторных работ. Екатеринбург, Изд-во Уральского университета, 2003, 62 стр.
47. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Издательство Томского политехнического университета, 2010. 47 стр.
48. Larkin P.J. Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. Elsevier, 2011, p. 230. ISBN 978-0-12-386984-5.
49. Спектрофотометр модель ПромЭкоЛаб ПЭ-6100УФ. Руководство по эксплуатации. Санкт-Петербург, 2014.
50. Zhuravlev M., Sazonov R., Kholodnaya G., Pyatkov I., Ponomarev D. Electrospray method for obtaining nanopowders. J. Phys. Conf. Ser. Vol. 1393, Article ID 012156, 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1393/1/012156>.
51. Remnev, G.E., Furman, E.G., Pushkarev, A.I., Karpuzov, S.B., Kondrat'ev, N.A., and Goncharov, D.V. A high-current pulsed accelerator with a matching transformer. Instruments and Experimental Techniques. Vol. 47, No. 3, pp. 394–398, 2004.
52. Ponomarev D.V., Remnev G.E., Sazonov R.V., Kholodnaya G.E. Pulse plasma-chemical synthesis of ultradispersed powders of titanium and silicon oxide. IEEE Transactions on Plasma Science. Vol. 41, Issue 10, Article ID 6572808, pp. 2908–2912, 2013.

53. Налбандян А.Б., Воеводский В.В. Механизм окисления и горения водорода. М.: Изд-во АН СССР, 1949, 179 стр.
54. Кондратьев В.Н., Никитин Е.Е. Химические процессы в газах. М.: Наука, 1981, 264 стр.
55. Hall B.D., Zanchet D., Ugarte D. Estimating nanoparticle size from diffraction measurements. *Journal of Applied Crystallography*. Vol. 33, No. 6, pp. 1335–1341, 2000. <https://doi.org/10.1107/S0021889800010888>.
56. Alexander L., Klug H. Determination of crystallite size with the X-ray spectrometer. *Journal of Applied Physics*. Vol. 21, pp. 137–142, 1950. <https://doi.org/10.1063/1.1699612>.
57. Yuvaraj D., Rao K.N. Optical and electrical properties of ZnO films deposited by activated reactive evaporation. *Vacuum*. Vol. 82, No. 11, pp. 1274–1279, 2008.
58. Ivanova T., Harizanova A., Koutzarova T., Vertruyen B. Preparation and characterization of ZnO-TiO₂ films obtained by sol-gel method. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 357, Issue 15, 2011.
59. Prakasha P., Satheesha U., Devaprakasama D. Study of high temperature thermal behavior of alkyl and perfluoroalkylsilane molecules self-assembled on titanium oxide nanoparticles. *arXiv: Materials Science*, Article ID: 1409.6823, 2014 .
60. Weichman M.L., Song X., Fagiani M.R., Debnath S., Gewinner S., Schöllkopf W., Neumark D.M., Asmis K.R. Gas phase vibrational spectroscopy of cold (TiO₂)⁻_n (*n* = 3–8) clusters. *J. Chem. Phys.* No. 144, Article ID 124308, 2016. <https://doi.org/10.1063/1.4942194>.
61. Gao Y., Masuda Y., Seo W.-S., Ohta H., Koumoto K. TiO₂ nanoparticles prepared using an aqueous peroxotitanate solution. *Ceramics International*. Vol. 30, Issue 7, pp. 1365–1368, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2003.12.105>.
62. Mahdavi S., Afkhami A., Jalali M. Reducing leachability and bioavailability of soil heavy metals using modified and bare Al₂O₃ and ZnO nanoparticles. *Environ. Earth Sci.* Vol. 73, pp. 4347–4371, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3723-6>

63. Susko F.J., Scheiner B.J. Infrared spectroscopic study of the flocculation of zinc and copper precipitates. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1990. 5 p.
64. Zhang R., Gao L. Synthesis of nanosized TiO₂ by hydrolysis of alkoxide titanium in micelles. *Key Eng. Mater.* pp. 224–226, 2002.
65. Mofokeng S.J., Kumar V., Kroon R.E., Ntwaeaborwa O.M. Structure and optical properties of Dy³⁺ activated sol-gel ZnO-TiO₂ nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds.* Vol. 711, pp. 121–131, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.03.345>.
66. Pant H.R., Chan H., *et al.* Synthesis, characterization, and photocatalytic properties of ZnO nano-flower containing TiO₂ NPs, *Ceram. Int.* Vol. 38, pp. 2943–2950, 2012.
67. Golubev S.S., Sekerin V.D., Gorokhova A.E., Gayduk N.V. Nanotechnology market research: Development and prospects. *Espacios.* 2018.
68. Nowacka B., Bucheli T.D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environmental Pollution.* Vol. 150, Issue 1, pp. 5–22, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.006>.
69. Aitken R.J., Chaudhry M.Q., Boxall A.B.A., Hull M. Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends. *Occup. Med.,* Vol. 56, pp. 300–306, 2006.
70. Anastasio C., Martin S.T. Atmospheric nanoparticles. J.F. Banfield, A. Navrotsky (Eds.), *Nanoparticles and the Environment* pp. 293–349, 2001.
71. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
72. Инструкция №55 по охране труда на импульсном электронном ускорителе «ТЭУ-500» (установка 1-2) Лаборатория №1 комната 03 корпуса 11Г, ТПУ, Томск, 2011.
73. ПОТ Р М-016-2001 РД 153-34.0-03.150 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. Москва, 2001

74. Инструкция №53-рб по радиационной безопасности при работе на установке. Электронный ускоритель ТЭУ-500 (установка 17.17.-2) Лаборатория №1 комната 03 корпуса 11Г, ТПУ, Томск, 2017.
75. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума
76. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
77. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
78. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
79. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности.
80. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
81. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
82. ПОТ Р М-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.
83. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
84. Суворов Г.А. Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы). Суворов Г.А., Прокопенко Л.В., Якимова Л.Д. М: Союз, 1996, 150 с.
85. Ажибаев К.А. Физиологические и патофизиологические механизмы поражения организма электрическим током. Изд. «Илим», Фрунзе, 1978, 267 с.
86. Kholodnaya G., *et al.* Plasma chemical purification of flue gases using pulsed electron beams. J. Phys.: Conf. Ser. Article ID 1115 022028, 2018.
87. ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
88. Бекман И.Н. Курс лекций Ядерная медицина Лекция 9. Биологическое действие излучений, радиационные поражения. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по внутренней медицине (военная терапия). Для студентов 5 курса медицинского факультета. ЗГМУ, Запорожье, 2017.

89. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
90. Пояснительная записка на сдачу в эксплуатацию ТЭУ-500 в помещении высоковольтного зала 03 НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ.
91. Постановление 2 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
92. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
93. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
94. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – 12 с.
95. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
96. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
97. Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10–115–96). – ПИООБТ, 1996.
98. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
99. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».
100. ГОСТ Р 56828.42-2018 Наилучшие доступные технологии. Утилизация отработанных масел. Показатели для идентификации.
101. Положение об Отделе главного инженера Управления эксплуатации объектов Томского политехнического университета. ТПУ, 2020.
102. ГОСТ 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.