

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Синтез в воздушной плазме и исследование оксидных композиций «оксид неодима-оксид самария - оксид магния»

УДК 66.01:533.9:661.865'02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Андреев Дмитрий Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Е.С. Киселева	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02. Ядерные физика и технологии	П.Н. Бычков	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных

	<p>параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P13	<p>Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.</p>
P14	<p>Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработке способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.</p>
P15	<p>Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования</p>

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

---

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ П.Н. Бычков  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Андрееву Дмитрию Викторовичу

Тема работы:

Синтез в воздушной плазме и исследование оксидных композиций «оксид неодима-оксид самария - оксид магния»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/С от 28.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1. Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима-оксид самария - оксид магния». Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор и анализ способов получения оксидных композиций. 2. Определение составов водно-органических растворов, включающих органический компонент и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. 3. Термодинамический расчет и оптимизация процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций требуемого состава.

	4. Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда и получение порошков оксидных композиций. 5. Исследование физико-химических свойств полученных порошков. 6. Выводы по работе. Заключение
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Расчетная часть	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ А.Г. Каренгин
Экспериментальная часть	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ А.Г. Каренгин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Е.С. Киселева
Социальная ответственность	Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	17.01.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Каренгин Александр Григорьевич	к.ф.-м.н.		17.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Андреев Дмитрий Викторович		17.01.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Андрееву Дмитрию Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

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

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

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Определение: интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности.

**Перечень графического материала**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	28.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		28.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6Д	Андреев Дмитрий Викторович		28.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Андрееву Дмитрию Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Синтез в воздушной плазме и исследование оксидных композиций «оксид неодима-оксид самария - оксид магния»	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: оксидные композиции. Область применения: атомная промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правовые нормы трудового законодательства; – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ; – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		13.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6Д	Андреев Д.В.		13.04.2020

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 страницы, 23 рисунка, 23 таблицы, 21 источник, 30 формул.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, водно-органический нитратный раствор, уран-плутониевое топливо, дисперсионное ядерное топливо.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла.

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного уран-плутониевого топлива.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горения различных по составу ВОНР на основе СНР; термодинамические расчеты процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций самария и неодима из ВОНР в воздушной плазме; измерение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

В работе были определены составы смешанных водно-органических нитратных растворов, включающие неодим, самарий и матричный материал (магний), а также режимы их переработки, обеспечивающие прямой синтез в воздушной плазме топливных композиций для уран-плутониевого дисперсионного топлива.

Область применения: результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза гомогенных оксидных композиций для плутониевого ядерного топлива.

## Определения

**Плазма** – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

**ВЧФ-плазмотрон** – устройство для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы.

**Плазмохимический синтез** – химический метод получения высокодисперсных порошков нитридов, карбидов, боридов и оксидов, заключающийся в протекании реакции в низкотемпературной плазме вдали от равновесия при высокой скорости образования.

**Нанодисперсный порошок** – порошок, размер всех частиц которого менее 100 нм.

**Сканирующая электронная микроскопия** – способ получения изображения с высоким пространственным разрешением, основанное на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом.

**Просвечивающая электронная микроскопия** – способ получения изображения ультратонкого образца путём пропускания через него пучка электронов.

**Рентгенофазовый анализ** – метод исследования структурных характеристик материала при помощи дифракции рентгеновских лучей. БЭТ-анализ – метод математического описания физической адсорбции, основанный на теории полимолекулярной (многослойной) адсорбции.

## Обозначения и сокращения

**БЭТ-анализ** – метод, предложенный Брунауэром, Эммитом и Тэллером.

**ВЧФ-разряд** – высокочастотный факельный разряд.

**ВЧФ-плазмотрон** – высокочастотный факельный плазмотрон.

**ВЧГ** – высокочастотный генератор.

**ВСК** – водно-солевая композиция.

**ВСОК** – водно-солеорганическая композиция.

**ВОНР** – водно-органический нитратный раствор

**ПЭМ** – просвечивающая электронная микроскопия.

**РФА** – рентгенофазовый анализ.

**СНР** – смесевой нитратный раствор

**СЭМ** – сканирующая электронная микроскопия

## Содержание

Введение.....	14
1 Обзор литературы .....	15
1.1 Методы получения порошков оксидных композиций .....	15
1.1.1 Плазменный метод получения дисперсных порошков .....	15
1.1.2 Золь-гель процесс.....	18
1.1.3 Восстановление оксидов урана.....	21
1.1.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония .....	22
1.2 Оксид неодима: свойства и получение .....	22
1.3 Оксид магния: свойства и получение.....	24
2 Расчетная часть.....	26
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов.....	26
2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР.....	27
3 Экспериментальная часть.....	34
3.1 Описание экспериментальной установки ВЧФ-плазматрона .....	34
3.2 Определение расходов воздуха через ВЧФ-плазмотрон и газоход .....	35
3.3 Определение расхода газа реактор.....	37
3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазматрона .....	38
3.5 Методика проведения экспериментов .....	39
3.5.1 Исследование физико-химических свойств оксидных композиций ..	40
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	45

4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	46
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	46
4.1.2	SWOT-анализ.....	48
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	51
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	51
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	52
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	53
4.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	56
4.3.1	Расчет материальных затрат .....	56
4.3.2	Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ....	57
4.3.3	Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	59
4.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	62
4.3.5	Накладные расходы.....	63
4.4	Определение ресурсной эффективности проекта.....	64
5	Социальная ответственность .....	68
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	68
5.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	68
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	70
5.2	Производственная безопасность .....	71
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	71

5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов .....	73
5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	74
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	75
5.3.4 Превышение уровня шума .....	75
5.3.5 Психофизиологические факторы .....	76
5.3.6 Поражение электрическим током.....	77
5.4 Экологическая безопасность.....	79
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	80
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС .....	81
Выводы .....	83
Заключение .....	84
Список использованных источников .....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	94

## Введение

К явным преимуществам применения низкотемпературной плазмы для синтеза сложных оксидных композиций из диспергированных смесевых водных нитратных растворов следует отнести: одностадийность; высокую скорость образования соединений; возможность активно влиять на размер и морфологию частиц; компактность технологического оборудования. Однако плазменная переработка только смесевых водных нитратных растворов требует значительных энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать в одну стадию оксидные композиции требуемого стехиометрического состава без дополнительного водородного восстановления.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто в воздушно-плазменном потоке при плазмохимическом синтезе сложных оксидных композиций (включающих оксиды РЗЭ и матрицу из тугоплавких оксидов металлов с высоким коэффициентом теплопроводности) из диспергированных водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.) и имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг. Плазменная переработка таких растворов ВОНР приводит к снижению (до 0,1 МВт·ч/т) удельного расхода энергии на их обработку, значительно улучшая производительность плазменного оборудования, а также обеспечивает условия в плазмохимическом реакторе для прямого синтеза в воздушной плазме наноразмерных сложных оксидных композиций с равномерным фазовым распределением, высокой теплопроводностью, а также стехиометрией.

Впервые предлагается применить после плазмохимического реактора охлаждение (закалку) в центробежно-барботажных аппаратах продуктов плазмохимического синтеза для управления физико-химическими свойствами получаемых порошков сложных оксидных композиций (размер и морфология частиц, удельная поверхность, гранулометрический и фазовый состав).

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Методы получения порошков оксидных композиций

#### 1.1.1 Плазменный метод получения дисперсных порошков

Плазменные процессы могут протекать при атмосферном давлении и использовать электроэнергию, получаемую от источников постоянного, переменного тока или радиочастотного излучения. На рисунке 1 показаны два различных типа устройств, применяемых для синтеза порошка с использованием электроэнергии переменного или постоянного тока [1].

В обоих случаях плазма горит между двумя коаксиальными электродами. Выдувается из системы мощным газовым потоком. Этот газовый поток выполняет две основные задачи: он является источником газа для плазмы (плазмообразующий газ) и предотвращает перегрев электродов. В случае мощных систем может потребоваться дополнительная система водяного охлаждения.

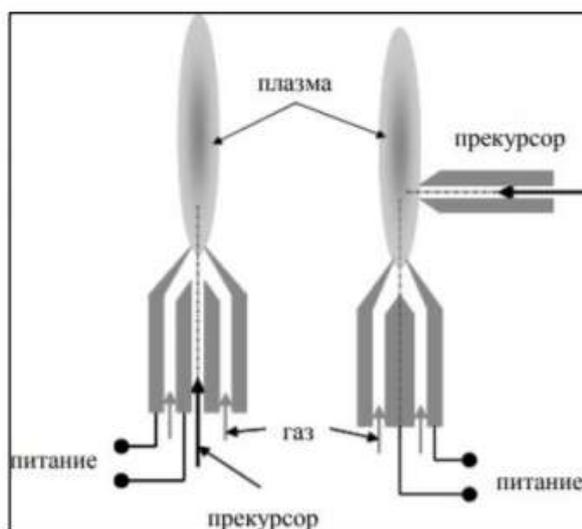


Рисунок 1.1 – Два типа подачи прекурсора в плазму

Два устройства для синтеза плазмы изображены на рисунке 1, в зависимости от подачи прекурсора. В таких системах могут использоваться твердые прекурсоры (в виде порошка) или жидкие (в виде раствора). В случае осевой подачи прекурсора, он засасывается в систему коаксиальным газовым потоком. Подача прекурсора со стороны, непосредственно в плазменную камеру,

в большинстве случаев, применяется только при получении дисперсных порошков. Температура в плазме крайне высокая (выше 4000 К). При этой температуре все металлы и большинство оксидов испаряются или, по крайней мере, расплавляются. Следовательно, поскольку прекурсор в значительной степени испаряется, практически не возникает проблем с размером частиц или капель. В плазме частицы движутся хаотично и в направлении потока газа. Поэтому, как и в любом другом аэрозольном процессе, существует высокая вероятность столкновения частиц и образования кластеров или агломератов. Вероятность образования агломератов значительно снижается при быстром охлаждении газа сразу после выхода из зоны реакции. Проектировка этой зоны охлаждения имеет решающее значение для качества продукции. Охлаждающий газ вводится в систему радиально или аксиально противоположно направлению движения потока. Резкое охлаждение улучшает качество продукта.

После синтеза следует этап гашения или закалки. Кроме того, крайне важно рециркулировать технологический газ. Примером, где это необходимо, является синтез нитридов, где для азотирования используются смеси чистого азота или азот-аммиак, а в случае синтеза карбида металла в большинстве случаев в качестве газа-носителя используется аргон. Зачастую является недостатком то, что плазмотроны переменного или постоянного тока склонны к предрасположенности производства только сильно агломерированных порошков.

Низкотемпературные плазменные процессы всегда связаны с системами с пониженным давлением. В данном контексте низкотемпературные системы определяются как системы, в которых используются температуры ниже 1000 К. В этих системах питание подается либо от радиочастотных, либо от высокочастотных источников питания. Физика использования радиочастот или микроволн в некоторой степени отличается. Чтобы понять влияние частоты, необходимо изучить передачу энергии заряженным частицам в колебательном электрическом поле. Поскольку масса электронов в несколько тысяч раз меньше массы ионов, электронам передается в несколько тысяч раз больше энергии по

сравнению с энергией, передаваемой ионам. Кроме того, радиочастотная система работает с частотами вплоть до мегагерцового диапазона; микроволновые системы находятся в диапазоне гигагерц. Следовательно, в микроволновой системе энергия, передаваемая заряженным частицам, на шесть порядков меньше, чем в радиочастотной системе. Это благоприятствует низкотемпературным системам. В обоих случаях плазма не находится в тепловом равновесии; «температура» электронов значительно выше, чем у ионов или нейтральных частиц. Таким образом, «температура реакции» представляет собой среднее значение, определенное на выходе из плазменной зоны [2].

Ситуация в плазме иная: в ней присутствуют свободные электроны, ионы, диссоциированный газ и молекулы-предшественники в дополнение к нейтральным видам газа. Поэтому столкновения между заряженными и незаряженными частицами ограничивают длину свободного пробега заряженных частиц, ускоренных в электрическом поле. Это влияет на передачу энергии частицам.

В радиочастотных системах из-за короткой длины свободного пробега электронов энергия электронов находится в диапазоне нескольких эВ, тогда как энергия электронов в микроволновой плазме находится в диапазоне кэВ. Электроны с энергией всего несколько эВ могут присоединяться к поверхности частиц; это отличается в случае электронов, богатых энергией, поскольку они ионизируют частицы. Поэтому в радиочастотных системах участвуют отрицательно заряженные частицы, тогда как электрический заряд частиц в микроволновых системах положительный. В обоих случаях в хорошем приближении электрический заряд частиц линейно возрастает с увеличением диаметра частиц. Увеличение заряда частиц с увеличивающимся диаметром имеет серьезные последствия для процессов коагуляции и агломерации частиц. Частицы с одинаковыми электрическими зарядами отталкиваются друг от друга. Поскольку заряд частиц увеличивается с увеличением диаметра частиц, частицы с большими диаметрами отталкивают друг друга больше, чем частицы с меньшими диаметрами. Это ограничивает образование более крупных частиц и

образование агломератов. Иными словами, в хорошо спроектированной низкотемпературной плазменной системе для синтеза наночастиц, получают частицы с узким спектром распределения размеров частиц.

### 1.1.2 Золь-гель процесс

Золь-гель процесс представляет собой технологию получения дисперсных частиц с преобразованием коллоидной системы на одной из стадий процесса. Этот метод используется для изготовления оксидов металлов, особенно  $SiO_2$  оксидов кремния (Si) и титана (Ti). Процесс включает в себя превращение мономеров в коллоидный раствор – золь (стабильная взвесь коллоидных частиц, равномерно распределенных в жидкости). Также золь выполняет роль предшественника для геля. Гель представляет пористую трехмерную непрерывную жидкую фазу, которая окружает и поддерживает непрерывную фазу жидкости. Часто образуется ковалентными связями между золями частиц [3]. Образование геля из коллоидного раствора представлено на рисунке 2.

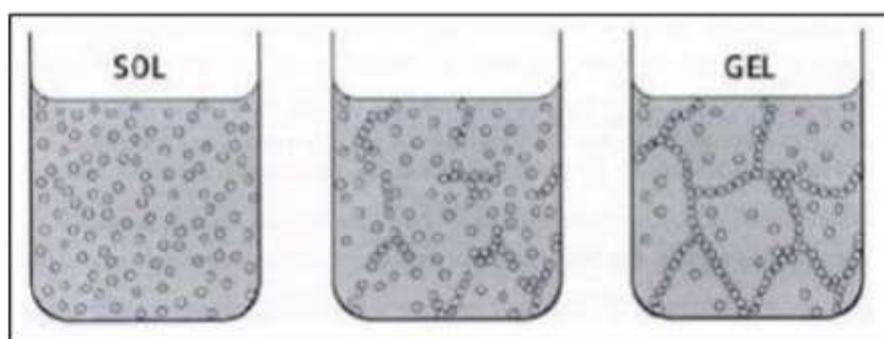


Рисунок 1.2 – Процесс образования геля из коллоидного раствора

«Золь» (коллоидный раствор), постепенно переходит в гелеобразную двухфазную систему, в которой присутствует жидкая и твердая фазы. Морфология двухфазной системы меняется от дискретных частиц до сплошных полимерных сетей. Объемная доля частиц, в случае коллоида, может принимать настолько низкое значение, что для улучшения гелеобразных свойств приходится удалять значительное количество жидкости. Подобный эффект

может быть достигнут разными способами. Самый простой метод состоит в том, чтобы дать частицам дисперсной фазы, находящимся под влиянием центробежных сил или гравитационного поля, осесть в жидкости или газе, а затем слить оставшуюся жидкость. Для ускорения процесса разделения фаз также можно использовать центрифугирование.

Для удаления оставшейся жидкой фазы требуется процесс сушки, который обычно способствует значительной усадке и уплотнению частиц. Скорость удаления растворителя определяет пористость геля.

Для улучшения структурной стабильности и поддержке дальнейшего процесса поликонденсации необходима термическая обработка (или процесс 28 обжига). За счет этого происходит окончательное спекания, уплотнение и рост зерна.

Одним из преимуществ использования этой технологии по сравнению с более традиционными методами получения наночастиц является то, что уплотнение достигается при гораздо более низкой температуре, чем в других методах [4].

По технологии золь может быть либо нанесен на подложку для формирования пленки, помещен в подходящий контейнер требуемой формы (например, для получения монолитной керамики, стекол, волокон, мембран, аэрогелей) и использоваться для синтеза порошков (например, микросфер, наносфер).

Возможности дальнейшего развития золь-гель процесса представлены на рисунке 3.



Рисунок 1.3 – Возможности дальнейшего развития золь-гель процесса

Золь-гель процесс является дешевым и низкотемпературным методом, который позволяет точно контролировать химический состав продукта. Даже небольшие количества легирующих примесей, таких как органические красители и редкоземельные элементы, могут быть введены в золь и в результате равномерно диспергированы в конечном продукте. Он может быть использован при обработке и производстве керамики в качестве материала для литья по выплавляемым моделям или в качестве средства для производства очень тонких пленок оксидов металлов различного назначения. Материалы, полученные из золь-геля, имеют широкий спектр применения в оптике, электронике, энергетике, космосе, биосенсорах, медицине (например, контролируемое высвобождение лекарственного средства), хроматографии [5].

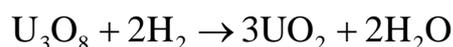
Интерес к данному методу можно проследить еще в середине 1800-х годов, когда было обнаружено, что гидролиз тетраэтилортосиликата в кислых условиях приводит к образованию  $\text{SiO}_2$  в виде волокон и монолитов. Схема получения нанопорошков с помощью золь-гель метода, начиная от получения исходных растворов и заканчивая спеканием заготовки, описана на рисунке 4 [6].



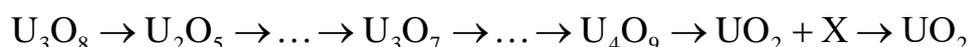
Рисунок 1.4 – Этапы получения нанопорошков золь-гель методом

### 1.1.3 Восстановление оксидов урана

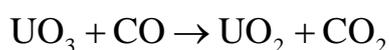
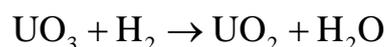
В процессе восстановления оксидов урана восстановителями выступают газы. В пример можно привести водород:



Данная реакция является многостадийной:



Максимальной температурой данного процесса можно принять 650 °С, т.к. выше данной температуры скорость протекания реакции не возрастает. Восстановителем может выступить разбавленный водород в виде  $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 1 : 4$ . Процесс восстановления можно провести по данным реакциям (при 650°С):



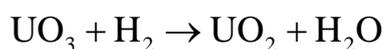
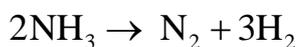
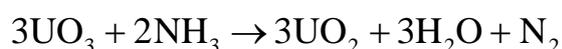
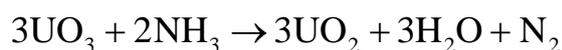
Реакция восстановления триоксида урана обязательно протекает через промежуточную стадию образования  $\text{U}_3\text{O}_8$  и лимитируется этой стадией [7].

### 1.1.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония

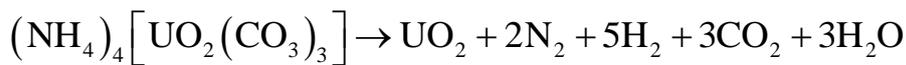
Процесс термолиза проводится в отсутствии воздуха, в этом случае уранилтрикарбонат аммония разлагается по реакции:



На второй стадии аммиак и продукты его разложения используются для восстановления триоксида урана. Процесс проводится при температуре 350-450 °С и проходит следующую серию реакций:



В случае, когда температура растет быстро при нагреве уранилтрикарбоната аммония выше 450 °С протекает следующая реакция:



В полученном  $\text{UO}_2$  содержание U (IV) составляет около 96%, а U (VI) составляет не менее 4%. Количество продуктов прямых и ступенчатых реакций зависит от скорости нагрева и способа дегазации. Важно знать, что объемные кристаллы и влажные кристаллы уранилтрикарбоната аммония не могут быть немедленно нагреты до необходимой конечной температуры (650-750 °С). Способ осуществляют в трубчатой закрытой печи или вращающейся горизонтальной трубчатой печи, имеющей подвижный слой [8].

### 1.2 Оксид неодима: свойства и получение

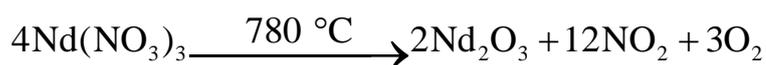
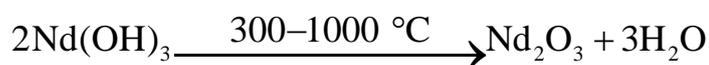
Оксид неодима III -  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  - бинарное неорганическое соединение металла неодима и кислорода с формулой  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , голубовато-фиолетовые кристаллы, не растворяется в воде.

Физические свойства. Оксид неодима (III) образует голубовато-фиолетовые кристаллы нескольких кристаллических модификаций:

- $\alpha$ -Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - кубическая сингония, пространственная группа *I a3*, параметры ячейки  $a = 1,1140$  нм,  $Z = 16$ , существует при температуре ниже 600-850 °С.
- $\beta$ -Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - гексагональная сингония, пространственная группа *P 3m1*, параметры ячейки  $a = 0,3831$  нм,  $c = 0,6008$  нм,  $Z = 1$ , существует при температуре выше 600-850 °С.

**Получение.** Неодим окись получается путем нагревания неодима на воздухе, в результате чего он очень быстро окисляется. При нагревании он реагирует с азотом, галогенами, серой, водородом и другими неметаллами.

Оксид неодима также получают разложением гидроксида, нитрата или оксалата неодима:



Нитрат неодима - неорганическое соединение, соль неодима и азотной кислоты с формулой Nd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, фиолетовые кристаллы. Образует кристаллогидраты состава Nd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·*n*H<sub>2</sub>O, где *n* = 4 и 6.

Кристаллогидрат состава Nd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O образует красно-фиолетовые кристаллы триклинной сингонии, пространственная группа *P1*, параметры ячейки  $a = 0,9307$  нм,  $b = 1,1747$  нм,  $c = 0,6776$  нм,  $\alpha = 91,11^\circ$ ,  $\beta = 112,24^\circ$ ,  $\gamma = 109,15^\circ$ ,  $Z = 2$ . Растворяется в воде, этаноле, ацетоне. Растворимость нитрата неодима 6-водного в воде приведена в таблице 1.1. [9]

Таблица 1.1 – Растворимость нитрата неодима 6-водного в воде

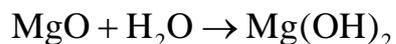
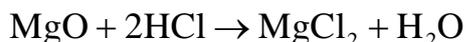
Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O		
t, °С	S, г/100 г воды	Тв. ф.
0	127	αб
15	136	αб
25	153	αб
50	185	βб
67,5	305	βб

### 1.3 Оксид магния: свойства и получение

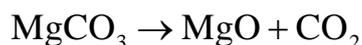
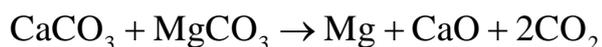
Формула химического соединения оксида магния – MgO, представляет из себя порошок белого цвета. Оксид магния в кристаллическом виде мало растворим в воде и практически не вступает в реакцию с кислотами. В порошкообразном виде при взаимодействии с кислотами растворяется в них, а при взаимодействии с водой образует гидроксид. Пожаро- и взрывобезопасен.

Физические свойства. Легкий, рыхлый порошок белого цвета, легко впитывает воду. На этом свойстве основано его применение в спортивной гимнастике: нанесенный на ладони спортсмена, порошок предохраняет его от опасности сорваться с гимнастического снаряда. Температура плавления - 2825 °С. Температура кипения - 3600 °С. Плотность=3,58 г/см<sup>3</sup>.

Химические свойства. Реагирует с разбавленными кислотами с образованием солей, плохо - с холодной водой, образуя Mg(OH)<sub>2</sub>. С горячей водой реагирует лучше, реакция идет



Получение. Оксид магния получают обжигом минералов магнезита и доломита.



Нитрат магния (магниева селитра - Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) в обычных условиях представляет собой твердое вещество белого цвета кристаллической структуры.

Получение. Безводный магния нитрат получают взаимодействием Mg с N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> с последующим отщеплением N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, гидратированный - реакцией MgCO<sub>3</sub> или MgO с разбавлением HNO<sub>3</sub>. Гексагидрат - исходное соединение при синтезе MgO особой чистоты, нитратов других металлов, а также разложении соединений магния. Растворимость нитрата магния б-водного в воде представлена в таблице 1.2 [10].

Таблица 1.2 – Растворимость нитрата магния 6-водного в воде

Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, г/100 г воды		
t, °C	S	Тв. ф.
-10	23,3	лед
-20	38,1	*
-30	49,7	*
-18	61,3	9+6
0	64	6
10	70,1	6
20	73,3	6
25	75,1	6
30	77,3	6
40	81,2	6

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов

Жидкими горючими композициями считают композиции с низшей теплотворной способностью  $Q_{нр} \geq 8,4$  МДж/кг. Низшая теплотворная способность водно-органических нитратных растворов определялась по уравнению:

$$Q_{н}^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_{н}^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{н}^c$  – низшая теплотворная способность горючего компонента, МДж/кг;

$W$  – содержание воды,

$A$  – негорючих минеральных веществ в композиции, %;

Коэффициент 2,5 учитывает скрытую теплоту испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Жидкие композиции могут становятся горючими при достижении низшей теплотворной способности  $Q_{н}^p \geq 8,4$  МДж/кг.

В таблице 2.1 приведены значения низшей теплотворной способности  $Q_{н}^c$  различных органических веществ.

Таблица 2.1 – Показатели горючести органических веществ

Параметр	Вещество				
	Метанол	Этанол	Пропанол	Бутанол	Ацетон
$Q_{н}^c$ , МДж/кг	19,95	26,80	31,38	33,47	31,54
$T_{вспышки}$ , К	284	285	285	302	254
$T_{самовоспл.}$ , К	658	619	673	618	738

В качестве горючего компонента был использован ацетон ( $C_3H_6O$ ), т.к. он обладает высокой теплотворной способностью, высокой взаимной растворимостью с водными растворами, а также легкой доступностью.

Результаты проведенных расчетов низшей теплотворной способности водно-органических нитратных растворов самария, неодима и магния, включающих органический компонент, представлены в приложении А.

## 2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР

Термодинамические расчеты равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР проведены с использованием лицензионной программы термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA». Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10-90 %).

На рисунках 2.1-2.6 представлены характерные равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза ОК из растворов ВОНР на основе ацетона при  $\alpha = Sm/(Sm+Nd)=0,1$ .

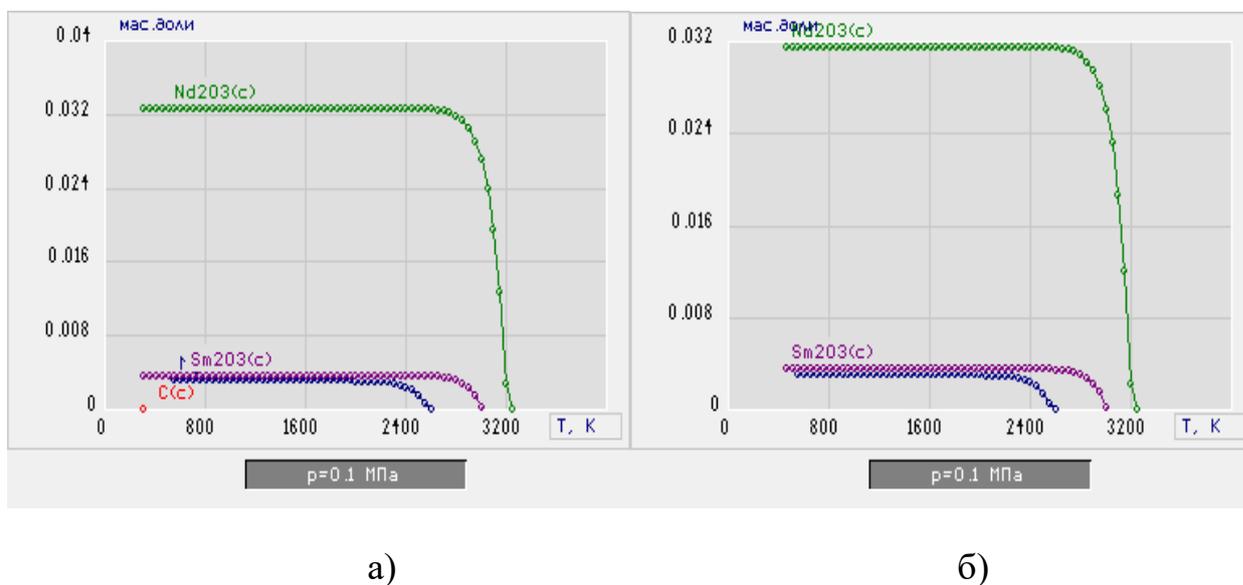
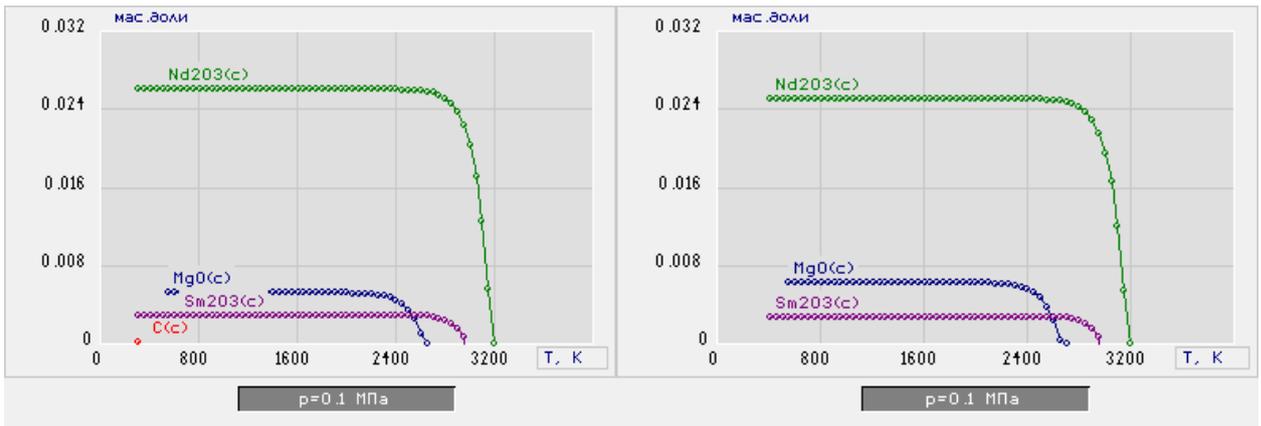


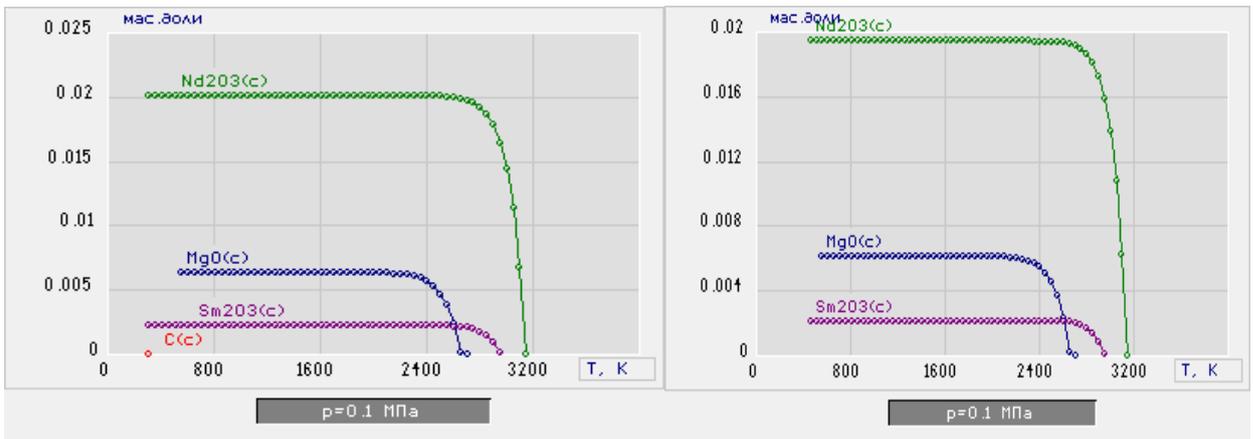
Рисунок 2.1 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 5 %)



а)

б)

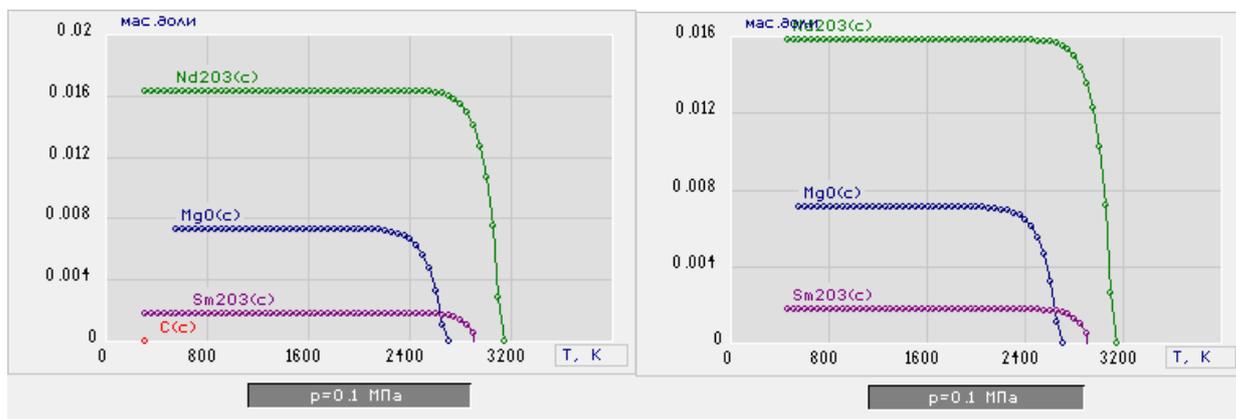
Рисунок 2.2 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-2 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 10 %)



а)

б)

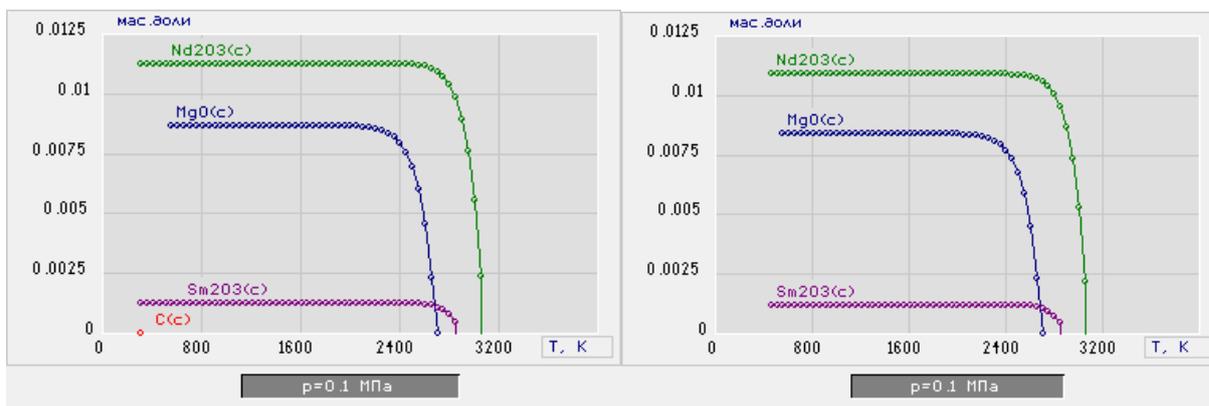
Рисунок 2.3 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-3 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 15 %)



а)

б)

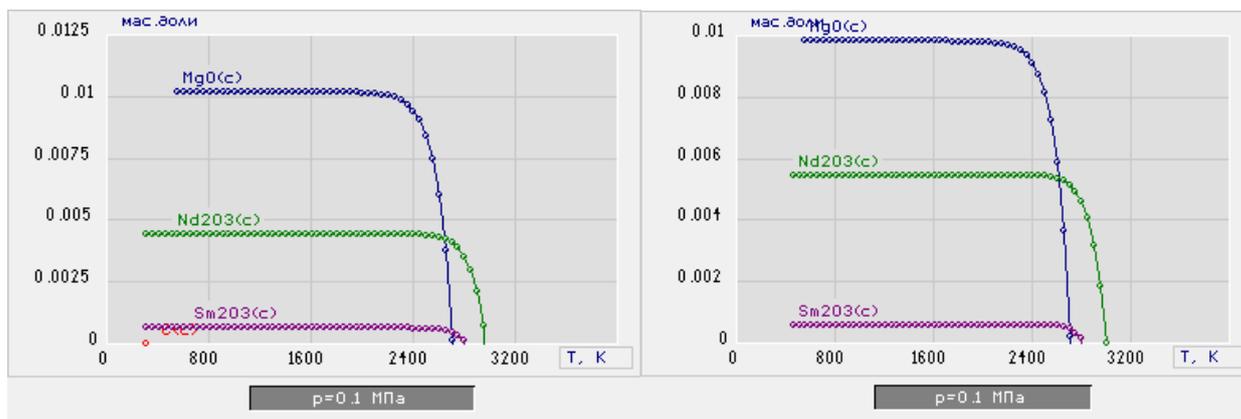
Рисунок 2.4 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-4 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 20 %)



а)

б)

Рисунок 2.5– Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-5 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 30 %)



а)

б)

Рисунок 2.6 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-6 на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б): (MgO – 50 %)

Из анализа равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР на основе ацетона (рис. 2.1-2.6) следует, что при массовой доле воздуха 69 % основными продуктами в конденсированных фазах являются оксиды  $\text{Sm}_2\text{O}_3(\text{с})$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{с})$  и  $\text{MgO}(\text{с})$ , которые образуют требуемые оксидные композиции ОК-1÷ОК-18. При этом также образуется углерод  $\text{C}(\text{с})$ , содержание которого резко возрастает при снижении массовой доли воздуха менее 69%. Повышение массовой доли воздуха с 69% и более не приводит к образованию углерода  $\text{C}(\text{с})$  и не изменяет состав целевых продуктов. Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 69% приведет лишь к уменьшению содержания целевых продуктов и снижению производительности данного процесса.

Далее были проведены расчеты энергозатрат на процесс плазмохимического синтеза в воздушной плазме в виде оксидных композиций ОК-1-18.

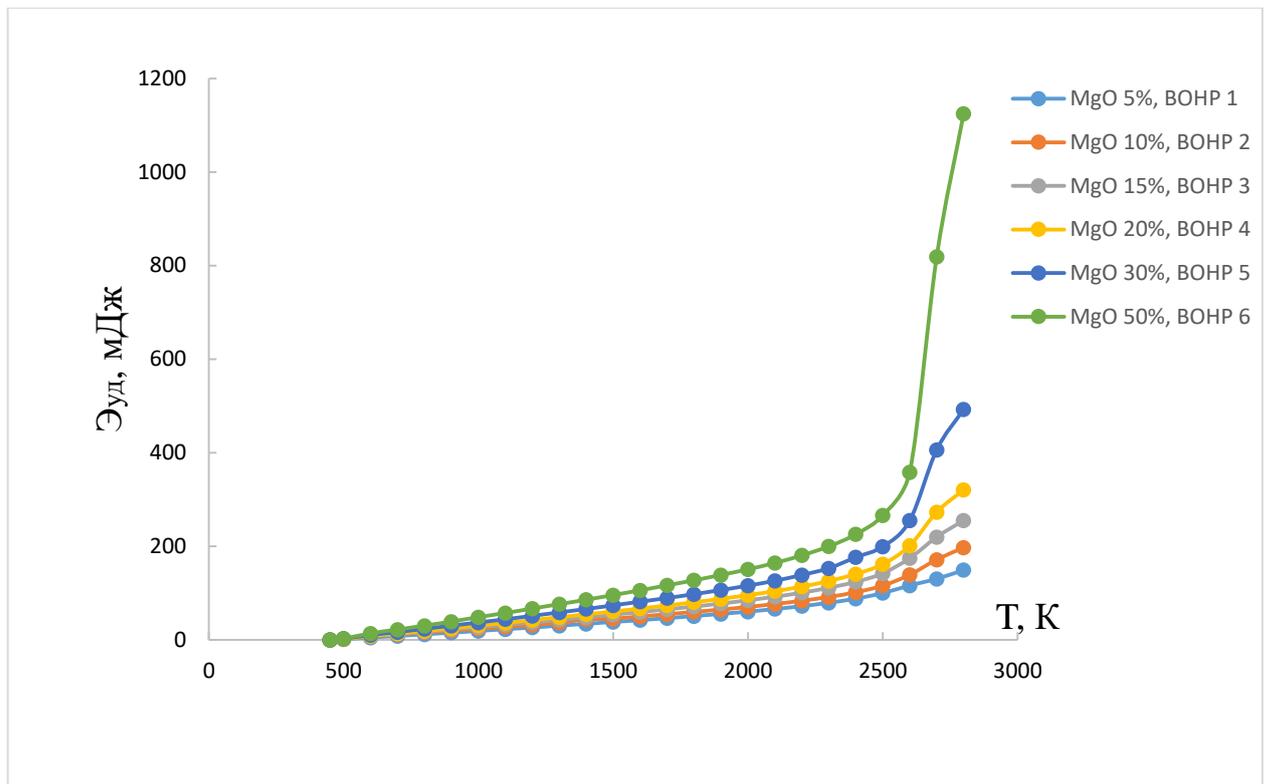


Рисунок 2.7 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-1÷6 из растворов ВОНР-1÷6 при  $\alpha=0,1$

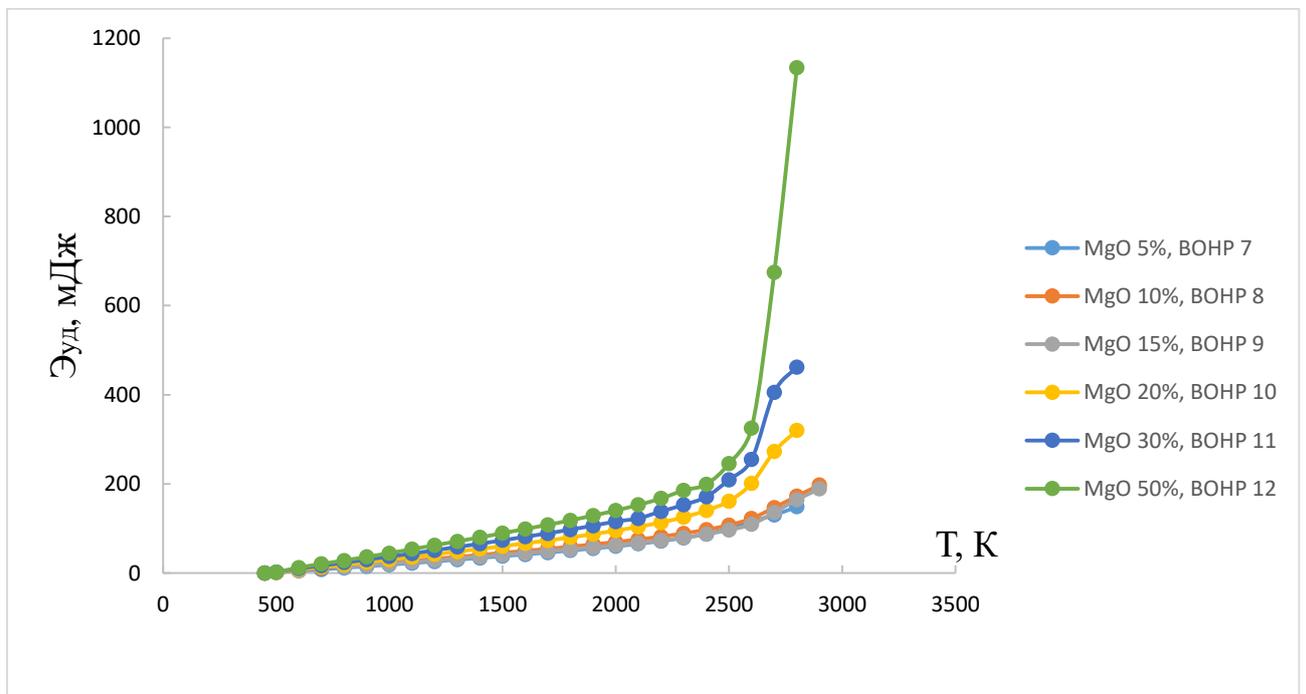


Рисунок 2.8 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-7÷12 из растворов ВОНР-7÷12 при  $\alpha=0,2$ .

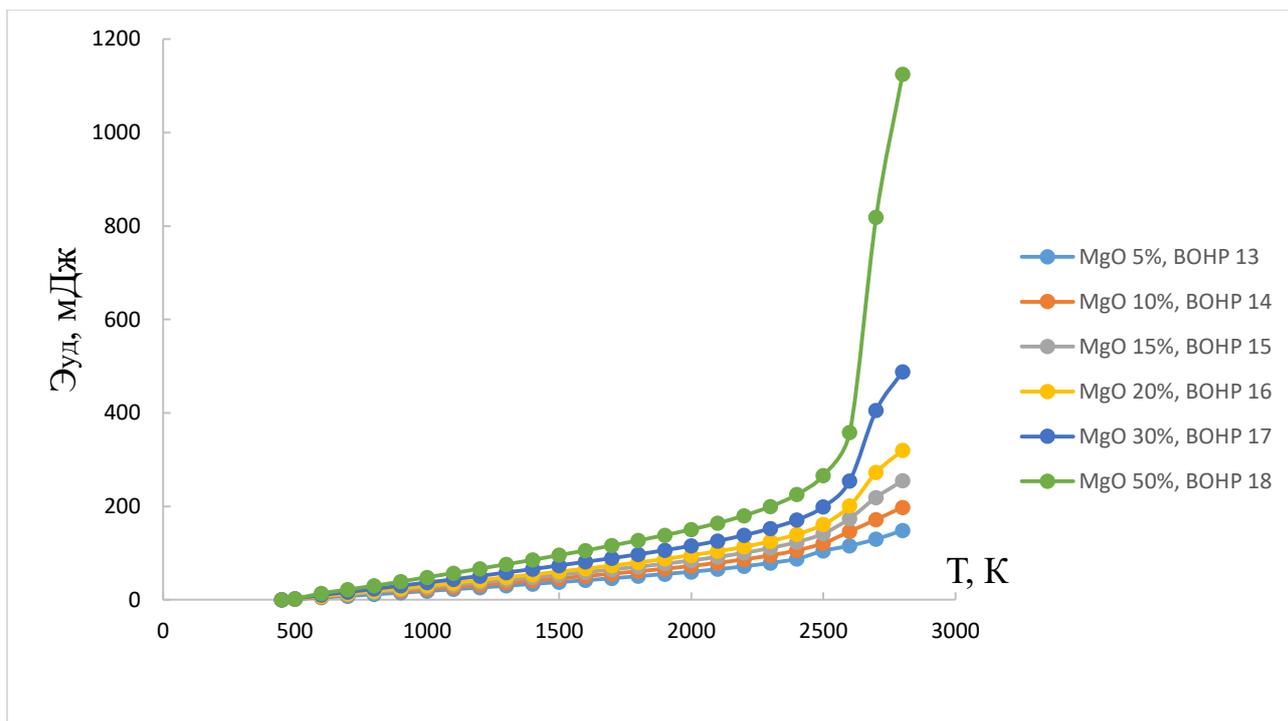


Рисунок 2.9 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-13÷18 из растворов ВОНР-13÷18 при  $\alpha=0,3$

Таблица 2.2 – Удельные энергозатраты на получение 1 кг оксидной композиции «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при различных значениях  $\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})$

ВОНР	Z	Эуд, МДж
ВОНР-1 ( $\alpha=0,1$ )	0,0374	87,97
ВОНР-2 ( $\alpha=0,1$ )	0,03336	101,62
ВОНР-3 ( $\alpha=0,1$ )	0,02705	123,84
ВОНР-4 ( $\alpha=0,1$ )	0,02397	140,59
ВОНР-5 ( $\alpha=0,1$ )	0,01979	176,35
ВОНР-6 ( $\alpha=0,1$ )	0,01516	225,59
ВОНР-7 ( $\alpha=0,2$ )	0,03746	87,83
ВОНР-8 ( $\alpha=0,2$ )	0,03258	107,73
ВОНР-9 ( $\alpha=0,2$ )	0,03654	96,61
ВОНР-10 ( $\alpha=0,2$ )	0,024	140,42
ВОНР-11 ( $\alpha=0,2$ )	0,01979	171,30
ВОНР-12 ( $\alpha=0,2$ )	0,01626	199,26
<b>ВОНР-13 (<math>\alpha=0,3</math>)</b>	<b>0,03751</b>	<b>87,71</b>
ВОНР-14 ( $\alpha=0,3$ )	0,03134	105,93
ВОНР-15 ( $\alpha=0,3$ )	0,0271	123,62
ВОНР-16 ( $\alpha=0,3$ )	0,02401	140,36
ВОНР-17 ( $\alpha=0,3$ )	0,01981	171,13
ВОНР-18 ( $\alpha=0,3$ )	0,01516	225,59

По результатам проведенных расчетов могут быть рекомендованы следующие оптимальные условия для процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций требуемого состава из растворов ВОНР: массовая доля воздушного плазменного теплоносителя не менее 69 %; рабочая температура  $1500 \pm 200$  К.

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Описание экспериментальной установки ВЧФ-плазматрона

Исследования процесса плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов металлов в воздушно-плазменном потоке проводились на плазменном стенде на базе ВЧФ-плазмотроном, схема которого представлена на рисунке 3.1.

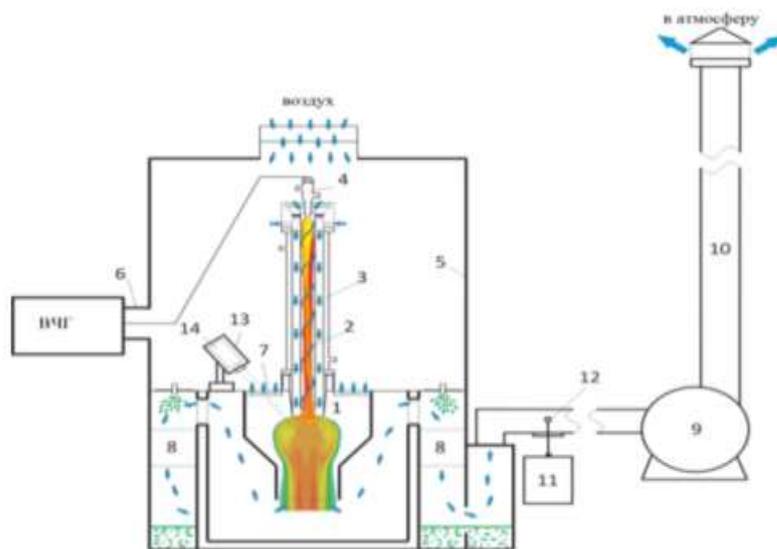


Рисунок 3.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазматрона:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздуховод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01.

Высокочастотный ток подается от высокочастотного генератора через 30 коаксиальный вывод 6 к электроду 4, выполненному из меди и охлаждаемому водой. Электрод конструкционно располагается в ВЧФ-плазмотроне 3, который непосредственно генерирует плазменную струю (среднемассовая температура  $\approx 4000$  К). Плазменная струя горит внутри разрядной камеры плазматрона, которая изготовлена из кварцевого стекла ( $d = 50$  мм,  $l = 860$  мм). Мощный вентилятор 9

производит откачку воздуха через газоход из следующих узлов плазмохимической установки: ВЧФ-плазмотрон 3 и плазмохимический реактор.

Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь  $S_{\text{ип}} = 25 \text{ см}^2$ . Конструкционно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Над импеллером находится шибер 7, позволяющий контролировать расход прокачиваемого воздуха. Входная площадь реакторного шибера  $S_{\text{шиб}}$  регулируется в интервале 0–1650  $\text{см}^2$ . Для контроля концентрации вредных газообразных веществ (например, CO, NO, NO<sub>2</sub>) в отходящих газах используется газоанализатор 11, снабженный пробоотборником 12. Дополнительно при помощи газоанализатора и трубки Пито возможно определять такие параметры воздушного потока, как напор, скорость и расход. Для контроля температуры воздушно-плазменного потока в плазмохимическом реакторе используется бесконтактный пирометр 14.

### 3.2 Определение расходов воздуха через ВЧФ-плазмотрон и газоход

Величина расхода воздушного плазменного теплоносителя через кварцевую разрядную камеру плазмотрона, а также через газоход вычислялись при помощи трубки Пито.

Трубка Пито измеряет напор  $f$ , который создается потоком газа, и значение данного напора отображалось на дисплее газоанализатора. Известна формула:

$$f = \frac{(\rho V^2)}{2} = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}} \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{п}}$  – полное давление, Па;

$P_{\text{ст}}$  – статическое давление, Па;

$f = \frac{(\rho V^2)}{2}$  – напор, создаваемый набегающим потоком воздуха;

$\rho$  – плотность воздуха при температуре  $T$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

Скорость набегающего потока  $V$  будет выражена из формулы 3.2, как:

$$V = \left[ \frac{2(P_{II} - P_{CT})}{\rho} \right]^{0,5} \quad (3.2)$$

Конечное значение объёмного расхода воздуха через воздуховод находится по формуле:

$$Q = S \cdot V \quad (3.3)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения воздуховода.

Напор набегающего потока воздуха измерялся трубкой Пито при разной входной площади импеллера реактора, которая регулировалась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора.

На рисунке 3.2 показано влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона.

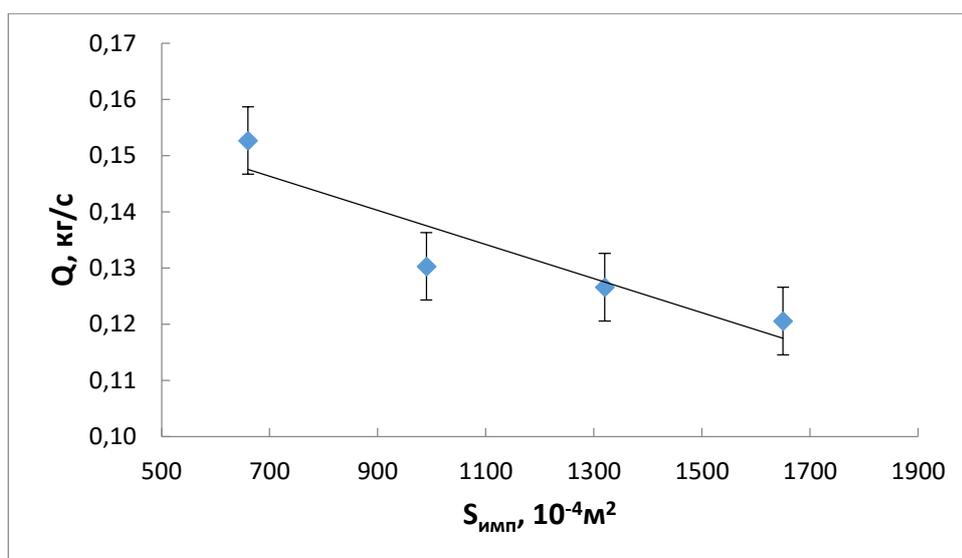


Рисунок 3.2 – Влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Из анализа полученного графика следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к снижению массового расхода плазмообразующего газа (воздуха) через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона.

На рисунке 3.3 показано влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через газоход после узла «мокрой» очистки реактора.

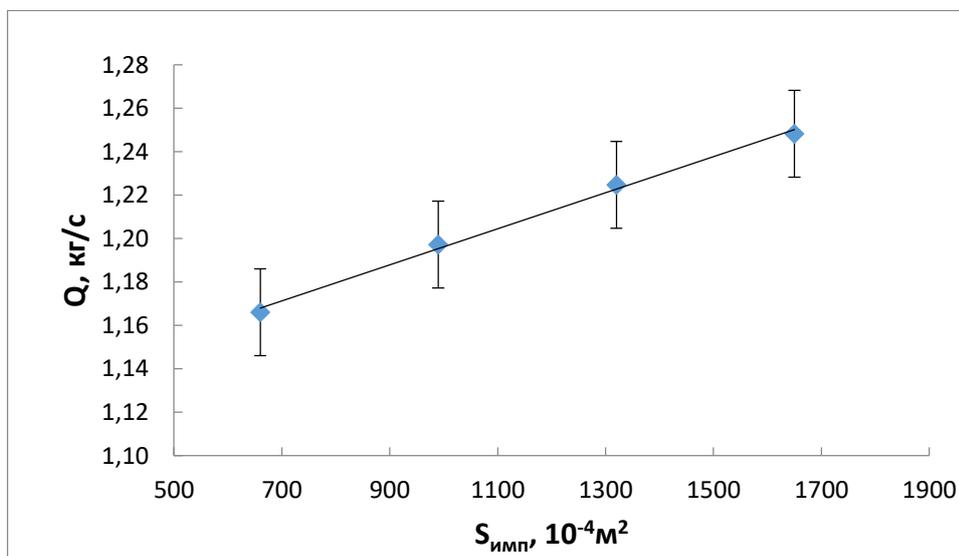


Рисунок 3.3 – График зависимости объемного расхода воздуха через газоход от площади импеллера реактора

Из анализа полученного графика следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к увеличению массового расхода воздуха через газоход после узла «мокрой» очистки реактора.

### 3.3 Определение расхода газа реактор

Чтобы рассчитать расход воздуха через реактор было использовано выражение:

$$Q_p = Q_{\text{ГХД}} - Q_{\text{ПТР}} \quad (3.4)$$

где  $Q_p$  – расход воздушного теплоносителя через реактор,  $\text{ м}^3 / \text{ с}$  ;

$Q_{\text{ГХД}}$  – расход воздушного теплоносителя через газоход,  $\text{ м}^3 / \text{ с}$  ;

$Q_{\text{ПТР}}$  – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон,  $\text{ м}^3 / \text{ с}$  .

На рисунке 3.4 показано влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через реактор.

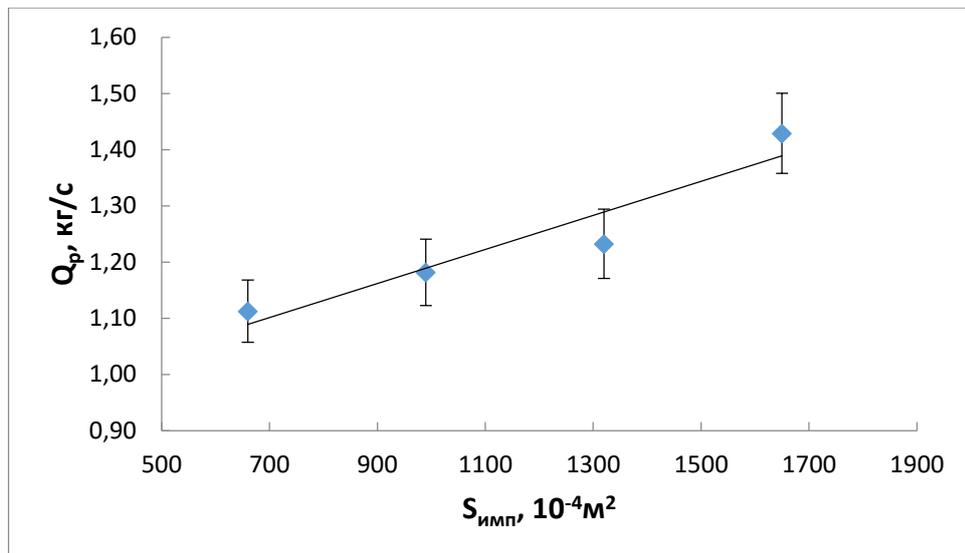


Рисунок 3.4 – Измерение расхода воздуха в реакторе

Полученные графические зависимости позволяют путем изменения входной площади импеллера реактора осуществлять плавную регулировку расхода воздушного теплоносителя через реактор и плазмотрон. Данные для построения графиков 3.2-3.4 приведены в приложении А.

### 3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазматрона

Были рассчитаны потери тепловой мощности на теплонапряженных элементах ВЧ-генератора, которые охлаждались водой (анод генераторной лампы, сеточная индуктивность), и ВЧФ-плазматрона (электрод, корпус) и определены теплофизические параметры плазменного стенда (КПД, энтальпия, температура воздушной плазменной струи и др.). Расчетные соотношения представлены ниже:

$$P_o = I_a \cdot U_a \quad (3.5)$$

где  $I_a$  – анодный ток, А;

$U_a$  – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186 \text{ кВт} \quad (3.6)$$

где  $m_a$  – массовый расход воды, кг/с;

$C_p$  – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

$\Delta t_a$  – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

По этой же формуле рассчитываем тепловую мощность рассеиваемой на сеточной индуктивности, электроде корпусе плазматрона.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{\text{разр}} = P_0 - (P_a + P_c + P_{\text{эл}}), \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Мощность плазменной струи определяется как разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, рассеиваемой на корпусе плазматрона:

$$P_{\text{стр}} = P_{\text{разр}} - P_{\text{кп}}, \text{ кВт} \quad (3.8)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{\text{разр}}}{Q_{\text{пг}}}, \text{ кДж/кг} \quad (3.9)$$

где  $H_0$  – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

$Q_{\text{пг}}$  – массовый расход плазмообразующего газа, кг/с.

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазматрона:

$$\eta_{\text{пд}} = \left( \frac{P_{\text{стр}}}{P_{\text{разр}}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.10)$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta_{\text{пд}} = \left( \frac{P_{\text{стр}}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (3.11)$$

Полученные данные приведены в приложении Б. Режим работы плазматрона подбирался таким образом, чтобы температура плазменной струи была не меньше температуры воспламенения горючего компонента перерабатываемого раствора ВОНР.

### 3.5 Методика проведения экспериментов

Для подготовки растворов ВОНР использовались соли нитрата неодима  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , нитрата самария  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , а также нитрата магния  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  для образования матрицы в виде оксида магния в составе ОК.

Изначально готовился с использованием дистиллированной воды (1 л) водный нитратный раствор (ВНР) из нитратных солей металлов и смешивался с ацетоном (3 л) с получением раствора ВОНР. Предварительно подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) на диспергатор и далее в диспергированном виде поступали в реактор, где в процессе переработки в воздушно-плазменном потоке осуществлялся плазмохимический синтез ОК при температуре  $T_p \geq 1000$  °С. Контроль температуры  $T_p$  осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром (IRE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора пыле-парогазовая смесь поступала на центробежно-барботажные аппараты узла «мокрой» очистки отходящих газов, где происходило ее резкое охлаждение (закалка) оборотной технологической водой (ОТВ) с получением водных суспензий из полученных ОК. Очищенные отходящие газы забирались высоконапорным вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу. Полученные водные суспензии ОК помещали в емкости из нержавеющей стали, отбирали пробы для определения гранулометрического состава суспензий методом лазерной дифракции (ЛД). Затем водные суспензии ОК отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокачивали в течение 20 минут при температуре 120-150 °С.

### **3.5.1 Исследование физико-химических свойств оксидных композиций**

Исследования морфологических, структурных, кристаллических и технологических свойств порошков ОК проводили на базе аналитического оборудования Центра коллективного пользования НОИЦ НМНТ ИШНПТ ТПУ (Научно-образовательный инновационный центр «Наноматериалы и нанотехнологии», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»).

Для определения гранулометрического состава водных суспензий ОК использовали метод лазерной дифракции (ЛД), реализованный на приборе

SALD-7101 (Shimadzu, Япония). Для сопоставления с режимами и другими свойствами порошков использовали количественный результат в виде медианного значения полученного распределения, равного широко применяемому в производстве техническому параметру « $D_{50}$ ». Поскольку использованный метод позволяет определить размер частиц суспензии (взвеси), независимо от их структурного строения, включая жёсткие агломераты, этот результат использовали для определения степени агломерации исследованных порошков.

Величину удельной поверхности исследуемых порошков оценивали методом Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) на приборе Сорби-М (ЗАО «МЕТА», Россия). Полученные данные пересчитывали в размер частиц, исходя из предположения о их сферической геометрии.

Рентгенофазовый анализ (РФА) исследуемых порошков ОК проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu, Япония) с применением стандартной базы данных кристаллических структур неорганических материалов PDF-4, в свободно распространяемом программном обеспечении PowderCell по алгоритму Ритвельда для полнопрофильного анализа рентгеновских дифрактограмм. Определяли фазовый состав порошков ОК, параметры кристаллической структуры обнаруженных фаз, а также средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР, кристаллитов). Отношение последних к размеру частиц по данным БЭТ характеризует морфологию и развитость поверхности частиц и может быть выражено количественно коэффициентом гигроскопичности  $K$ : форма частиц, для которых этот коэффициент меньше или приближается к единице, близка к равноосной; коэффициент больше единицы характеризует частицы с развитой поверхностью и/или с внутренними порами; коэффициент меньше единицы характеризует плотные агломераты, состоящие из нескольких кристаллитов. Степень агломерированности таких частиц количественно характеризует коэффициент агломерации  $Q$ , величина которого определяется как отношение размера частиц

по результатам ЛД к размеру ОКР (количество кристаллитов на линейном поперечном размере частицы).

Из анализа результатов, представленных в приложении В следует, что при расходе ОТВ 2,8 кг/с на закалку ОК и частоте 35 Гц диспергатора при увеличении массовой доли матрицы (MgO) от 5 % до 50 % в составе ОК (при  $\alpha=0,1$ ), полученных из растворов ВОНР-1,2,3,4,5,6 приводит к снижению размера образующихся частиц ОК с 10,2 мкм до 4,3 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК-1,2,3,4,5,6 увеличивается с 10,1 м<sup>2</sup>/г до 21,0 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц снижается с 79 нм до 38 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 5 % до 50 % в составе ОК (при  $\alpha=0,2$ ), полученных из растворов ВОНР-7,8,9,10,11,12 также приводит к снижению размера образующихся частиц ОК-7,8,9,10,11,12 с 12 до 5,3 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 10,0 м<sup>2</sup>/г до 12,6 м<sup>2</sup>/г, а размер частиц снижается с 79 нм до 63 нм (БЭТ-анализ).

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 5 % до 50 % в составе ОК (при  $\alpha=0,3$ ), полученных из растворов ВОНР-13,14,15,16,17,18 также приводит к снижению размера образующихся частиц ОК-13,14,15,16,17,18 с 7,8 до 4,7 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК также уменьшается с 15,2 м<sup>2</sup>/г до 11,9 м<sup>2</sup>/г (БЭТ-анализ).

Характерная гистограмма распределения по размерам частиц водной суспензии ОК-4 (метод ЛД) представлена на рисунке 3.5.

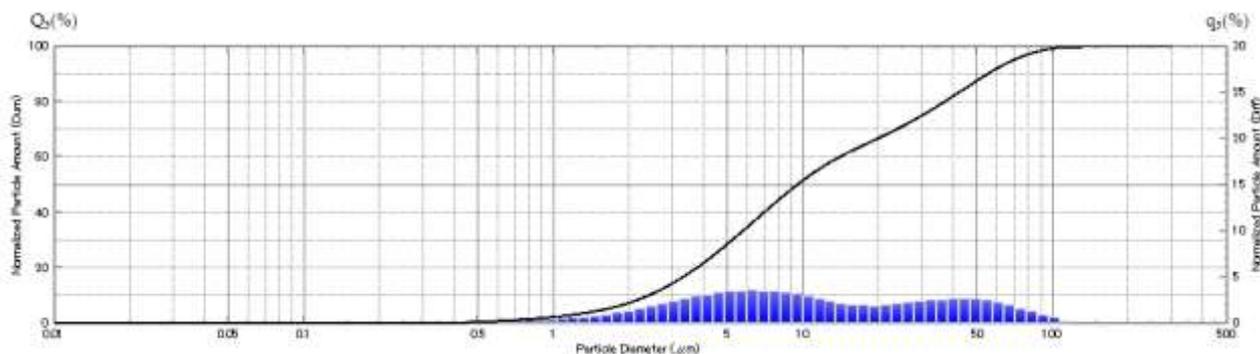


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения по размерам частиц водной суспензии ОК-4

Исследуемые водные суспензии характеризуются достаточно широким распределением по размерам, распределение для частиц водной суспензии ОК-4 имеет два достаточно выраженных максимума (6 мкм и 45 мкм). Характерные величины медианных значений распределения частиц для ОК-4 лежат в диапазоне от 1–95 мкм. Среднее значение размера частиц  $D_{50}$  для ОК-4 составляет 9,4 мкм.

Анализ рентгенограмм образцов порошков после проведения РФА показывает, что основными продуктами проб порошков ОК-23 являются целевые оксиды неодима ( $Nd_2O_3$ ), самария ( $Sm_2O_3$ ) и магния ( $MgO$ ). Средний размер ОКР для проб порошка ОК-4 равен 92 нм.

СЭМ-изображение синтезированных порошков ОК-4 представлено на рисунке 3.6.

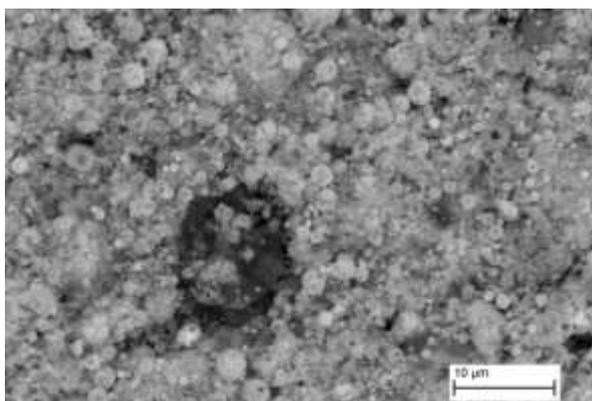


Рисунок 3.6 – СЭМ-изображение морфологической структуры частиц порошка ОК-4

Анализ СЭМ-изображений подтверждает достаточно широкий диапазон размеров частиц, наличие различных фаз, мелких плотных частиц. Микроскопия показывает, что форма частиц – округлая.

Величина площади удельной поверхности по методу БЭТ для проб ОК-23 составила  $15,3 \text{ м}^2/\text{г}$ . Полученные значения площади пересчитывались в размер частиц, исходя из предположения об их сферической геометрии. Таким образом, размер частиц, определенный по БЭТ, для ОК-4 составляет 53 нм.

Насыпная плотность исследуемых проб порошков определялась по ГОСТ 27801-93 и для ОК-4 составила  $0,441 \text{ г}/\text{см}^3$ . Свойства прессуемости, найденные

по результатам прессования порошков, имеют характерные для большинства оксидных материалов значения: уплотняемость порошка ОК-4 составляет 0,091; порошки принадлежат к 4 группе сложности прессования.

Таким образом, производство из этих порошков керамических таблеток возможно при использовании серийно выпускаемого оборудования и пресс-форм из углеродистой инструментальной стали. Прессование порошковых материалов проводилось в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 10 мм под давлением 400 МПа с последующим спеканием полученных прессовок при температуре 1300 °С. Микрофотографии спеченной керамики приведены на рисунке 3.7.

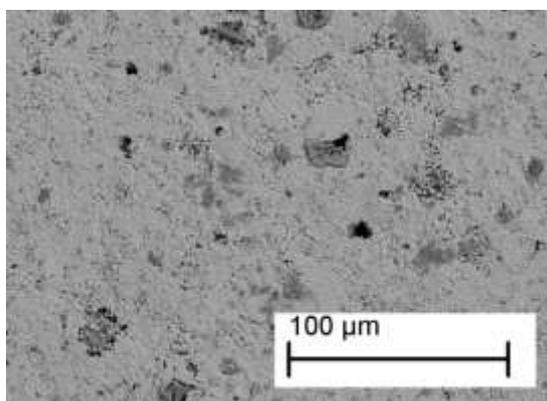


Рисунок 3.7 – Микрофотографии спеченной керамики из порошков ОК-4

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

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

В общем, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, по изучению процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций. В работе необходимо оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

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

##### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. Определены следующие технические критерии оценки:

- Время наработки данных – технические характеристики вычислительных технологий.
- Помехоустойчивость – способность устройства выполнять свои функции при наличии помех.
- Мобильность – возможность передвижения установок для работы в различных местах.
- Потребность в ресурсах памяти – технические характеристики вычислительных технологий.
- Наличие отходов – чистота производства.

- Простота в эксплуатации – удобство в использовании.
- Наличие дорогостоящего оборудования – возможность использования современного оборудования.
- Помимо технических критериев оценки ресурсоэффективности определены также и экономические критерии оценки:
  - Конкурентоспособность продукта – соотношение достоинств и недостатков различных способов обеспечения, с помощью полученных материалов и объектов, точной диагностики в лучевой терапии.
  - Стоимость реализации проекта – оценка финансовых затрат на реализацию проекта.
  - Трудоемкость – количество времени, затрачиваемого на производство единицы продукции.
  - Финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами.

В таблице 4.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Время наработки данных	0,04	3	4	1	0,12	0,16	0,04
Помехоустойчивость	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
Мобильность	0,01	5	3	5	0,05	0,03	0,05
Уровень шума	0,2	3	4	4	0,6	0,8	0,8
Потребность в ресурсах памяти	0,03	5	3	2	0,15	0,09	0,06
Наличие отходов	0,01	5	3	5	0,05	0,03	0,05
Простота в эксплуатации	0,13	5	3	1	0,65	0,39	0,13
Наличие дорогостоящего оборудования	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
Цена	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Финансовая эффективность научной разработки	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
Трудоемкость	0,06	4	5	1	0,24	0,3	0,06
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>4,14</b>	<b>3,91</b>	<b>3,61</b>

Полученные данные в таблице 4.1 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными. Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

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

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились

или могут появиться в его внешней среде. Интерактивная матрица данного научно-исследовательского проекта представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта			
	С1	С2	С3	С4
В1	+	+	+	+
В2	+	+	+	+
В3	+	+	+	+
В4	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>С1.</b> Одностадийность получения ДЯТ;</p> <p><b>С2.</b> Невысокая стоимость переработки сырья.</p> <p><b>С3.</b> Гомогенное распределение фаз в продукте с заданным стехиометрическим составом.</p> <p><b>С4.</b> Возможность активно влиять на морфологию частиц.</p> <p><b>С5.</b> Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии.</p> <p><b>С6.</b> Компактность необходимого оборудования.</p> <p><b>С7.</b> Маленький срок получения результатов при</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>Сл1.</b> Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p><b>Сл2.</b> Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов.</p> <p><b>Сл3.</b> Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p><b>Сл4.</b> Работа с модельными композициями.</p> <p><b>Сл5.</b> Большое количество возможных вариантов композиций.</p>
--	---	---

	проведении исследования.	научного	
<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Увеличение отходов ядерного производства.</p> <p><b>В2.</b> Уменьшение количества урана-235.</p> <p><b>В3.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p><b>В4.</b> Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p><b>В5.</b> Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ДЯТ, полученное плазмохимическим синтезом, совершеннее используемого сейчас ЯТ.</li> <li>2. Россия обладает сравнительно небольшими запасами урана-235, поэтому в недалеком будущем необходимо будет менять/усовершенствовать используемую технологию производства ЯТ.</li> <li>3. В случае успеха удастся переработать часть захороненного топлива.</li> <li>4. При благоприятном раскладе станет возможным строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.</li> </ol>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение спроса на данную продукцию обеспечит приток кадров.</li> <li>2. Использование научно-исследовательского потенциала ТПУ позволит подобрать необходимую композицию.</li> </ol>	
<p><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p><b>У2.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p><b>У3.</b> Неудача эксперимента.</p> <p><b>У4.</b> Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Качественные преимущества нового ДЯТ создают хорошую конкуренцию используемым методам производства ЯТ.</li> <li>2. Такие факты, как нехватка урана-235 и необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на новые технологии производства ЯТ.</li> <li>3. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных композиций обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной композицией или в случае прекращения финансирования.</li> </ol>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.</li> </ol>	

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

Из матрицы видно, что сильными сторонами проекта являются: одностадийность получения ДЯТ, невысокая стоимость переработки сырья, гомогенное распределение фаз в продукте с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на морфологию частиц, наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии, компактность необходимого оборудования, маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.

Слабыми же сторонами являются: отсутствие прототипа научной разработки, отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов, отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ, работа с модельными композициями, большое количество возможных вариантов композиций.

## **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 4.4 – Перечень работ

Этап работы	Исполнители
Постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель, инженер
Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, инженер
Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель, инженер
Разработка календарного плана	Руководитель, инженер
Обсуждение литературы	Руководитель, инженер
Разработка модели	Руководитель, инженер
Определение адекватности модели	Руководитель, инженер
Изучение результатов	инженер
Оформление расчетно-пояснительной записки	инженер
Оформление графического материала	инженер
Подведение итогов	Руководитель, инженер

В данном подпункте составлен полный перечень проводимых работ исполнителей. Из таблицы 4.4 можно сделать вывод о том, что большая часть работы приходится на инженера.

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который

по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ  $t_{ОЖ}$  применяется формула:

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (4.2)$$

где  $t_{\min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{\max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{\text{prob}}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ :

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 4.5.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 365$ );

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 104$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 14$ ).

Полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в (таблицу 4.5).

Таблица 4.5 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	1	4	3	2,8	1,8	1,4	0,9	2,1	1,3
Составление и утверждение ТЗ	8	-	12	-	9,6	-	9,6	-	14,2	-
Знакомство с принципом работы оборудования	-	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	17,2
Подбор и изучение материалов по тематике	2	3	4	7	2,8	4,6	1,4	2,3	2,1	3,4
Разработка календарного плана	6	-	8	-	6,8	-	3,4	-	5	-
Обсуждение литературы	8	15	12	18	9,6	16,2	4,8	8,1	7,1	12
Разработка модели	6	8	10	14	7,6	10,4	3,8	5,2	5,6	7,7
Определение адекватности модели	4	4	6	8	4,8	5,6	2,4	5,6	3,6	8,3
Изучение результатов	2	4	4	8	2,8	5,6	1,4	2,8	2,1	4,1

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Гантта, которая представлена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Диаграмма Гантта

Диаграмма Гантта представляет собой тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 4.6 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	106
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	86
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	44

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- Материалы;
- Затраты на оплату труда работников;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Спецоборудование для научных и экспериментальных работ;
- Прочие прямые расходы;
- Накладные расходы.

Статьи 1-6 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного научно-технического исследования, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание общетехнических служб.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на плазматроне и на компьютере. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на бумагу для принтера формата А4, картридж для принтера, ацетон, нитрат самария  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ . Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Ацетон	70	2,5 л.	175
Нитрат самария $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ .	8400	2,5 кг.	21000
Итого:	22975 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 22975 рублей. Самый дорогостоящий материал – нитрат самария, необходимое количество которого 2,5 кг, при цене за единицу 8400 рублей. Общая сумма всех материалов, за исключением нитрата самария составляет 1975 рублей.

#### 4.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

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

Все работы для ВКР проводились на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 и на персональном компьютере.

Таблица 4.8 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	15	10000000	10000000
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
<b>Итого:</b>	1045000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.5:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.6:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

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

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{15} = 0,06$$

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,06 \cdot 10000000}{12} \cdot 4 = 200000 \text{ руб.}$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 4 = 4950 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 200000 + 4950 = 204950 \text{ руб.}$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет составила 0,06, а общая сумма амортизационных отчислений 200000 рублей. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма

амортизационных отчислений 4950 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 204950 рублей.

### **4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования**

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.7)$$

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

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст.преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{доп} = K_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (4.8)$$

где  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата в рублях;

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{осн}$  – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}, \quad (4.9)$$

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

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.10:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\partial}}, \quad (4.10)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$T_{\partial}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 9).

а) при отпуске в 56 раб.дн. количество месяцев работы без отпуска составляет  $M = 10,1$  месяца при 5-дневной рабочей неделе;

б) при отпуске в 48 раб.дн. количество месяцев работы без отпуска составляет  $M = 10,4$  месяца при 6-дневной рабочей неделе.

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники):	118	118
-выходные;	104	104
-праздничные.	14	14
Отпуск	48	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	218	232

Инженер во время написания диплома ежемесячно получает стипендию в размере 2400 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;

- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;

- доплата за работу во вредных условиях труда;
- оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_z, \quad (4.11)$$

где  $Z_{ок}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_z$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 35000. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$ , руб.	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ , дн	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	35000	45500	2170	8	17360
Инженер	2400	3120	140	63	8820
Итого $Z_{осн}$	26180 руб.				

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	17360	8820
Дополнительная зарплата, руб.	4397	1323
Зарплата исполнителя, руб.	21757	10143
Итого по статье С <sub>зп</sub> , руб.	31900 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 21757 руб, а инженера – 10143 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 31900 рублей.

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.12)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году - 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,302$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 21757 = 6571 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда инженера вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 10143 = 3063 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и инженера, при том что

коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 6571 руб., а для инженера 3063 рубля.

#### 4.3.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей 1-6}), \quad (4.13)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = (9634 + 22975 + 204950 + 31900) \cdot 0,16 = 43113 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
204950 руб.	22975 руб.	26180 руб.	5720 руб.	9634 руб.	269459 руб.	43113 руб.	312572 руб.

В итоге бюджетная стоимость составила 312572 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 43113 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

#### 4.4 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 4.14:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.14)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.13.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,15	5	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	2
4. Энергосбережение	0,1	5	4	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,2	4	3	4
Итого	1	4,25	3,65	3,15

$$I_p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,25$$

$$I_{a1} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,65$$

$$I_{a2} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,15$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (4.15)$$

где  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{312572}{350000} = 0,89$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\max}} = \frac{180000}{200000} = 0,9$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{300000}{300000} = 1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p} \quad (4.16)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} \quad (4.17)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,25}{0,89} = 4,77$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,65}{0,9} = 4$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,15}{1} = 3,15$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 4.18:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_p} \quad (4.18)$$

Таблица 4.14 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	3,15	4,25
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4	3,15	4,77
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1	1,12

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов.

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 106 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 86 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 44;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 312562 руб.;

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

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,89, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,25, по сравнению с 3,65 и 3,15;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,74, по сравнению с 4 и 3,15, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

В работе проводится изучение процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной плазменной технологии для создания матриц, для дисперсного ядерного топлива, которое может использоваться в реакторах на быстрых нейтронах.

Эксперименты проводились в 10 корпусе Томского политехнического университета, при этом использовался плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

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

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

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства [11].

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

## 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рисунке 5.1.

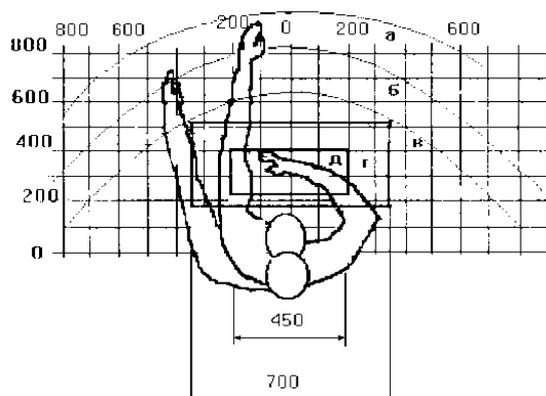


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования, которые представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [12].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

- по высоте +3 см;
- наклон относительно вертикали 10 - 20 градусов;
- в левом и правом направлениях.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [13].

## **5.2 Производственная безопасность**

### **5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов**

Для проведения экспериментов в работе используется плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

Производственные условия на месте выполнения работы характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые по природе возникновения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Опасные и вредные факторы, которые могут воздействовать на персонал при проведении эксперимента и работе на ПЭВМ, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Эксперимент	Расчеты на ПК	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
4. Превышение уровня шума	+	-	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- нервно - эмоциональные перегрузки;

- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

### **5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов**

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>.

#### **5.3.1 Отклонение показателей микроклимата**

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	22-24	40	0,1

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях

соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

### 5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока, и является источником ВЧ-излучения. Генератор полностью экранирован. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ЭВМ также производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.4.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [14].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

### **5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [15].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:

- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

### **5.3.4 Превышение уровня шума**

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди

многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [16].

В таблице 5.5 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование										50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

### 5.3.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных

процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

### **5.3.6 Поражение электрическим током**

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой [17].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения (ГОСТ Р 12.1.019-2017);
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка

помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год.

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

#### **5.4 Экологическая безопасность**

В работе проводится изучение процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла. При этом используется плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 и ПЭВМ.

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и ВЧФ-плазматрон не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет.

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте:

- Правильная утилизация ПЭВМ и других систем, а также их комплектующих;
- Использование энергосберегающих ламп;
- Использование аккумуляторов вместо солевых батареек.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также

эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде от десятков до сотен лет.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании;
- старение изоляции;
- увлажнение изоляции;
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

### **5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность помещения должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации [18].

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т. к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;

- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Рабочее помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре.

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации. План эвакуации представляет собой заранее разработанную схему, на которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Существует порядок действий и правила поведения в случае возникновения пожара:

- 1) Незамедлительно позвонить в аварийную службу или МЧС (112);
- 2) Поставить в известность руководство (дежурного);
- 3) По возможности принять меры для эвакуации людей и меры для тушения пожара.

В данном разделе рассмотрены вопросы социальной ответственности, к которым относятся правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, а также безопасность в ЧС.

В первой части раздела рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

В подразделе «Производственная безопасность» проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, также приведены мероприятия по снижению воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.

В части «Экологическая безопасность» проведен обзор возможного влияния процесса исследования на окружающую среду, также рассмотрены меры по защите окружающей среды.

В заключительной части раздела «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» проведен анализ вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, помимо этого приведены мероприятия по предотвращению ЧС и порядок действий во время возникновения ЧС.

## Выводы

1. В результате проведенных расчетов установлены закономерности влияния органического компонента (ацетона) на показатели горючести водно-органических нитратных растворов самария, неодима, магния и определены составы растворов ВОНР, имеющие низшую теплотворную способность  $\approx 8,4$  МДж/кг и обеспечивающие энергоэффективный синтез оксидных композиций «оксид самария-оксид неодима-оксид магния».

2. По результатам термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР в широком диапазоне температур (300÷4000) К установлены закономерности влияния массовой доли воздушного теплоносителя на состав образующихся продуктов и определены условия, обеспечивающие в воздушной плазме синтез оксидных композиций «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO»: массовая доля воздуха не менее 69 %; температура 1500±200 К.

3. В ходе экспериментальных исследований определены режимы работы плазменного стенда на база ВЧФ-плазмотрона, обеспечивающие эффективную плазменную переработку диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке: мощность ВЧФ-разряда – 14,5 кВт; расход раствора ВОНР – 300 л/ч; расход воздуха – 1,2 кг/с; частота вращения ротора диспергатора – 50 Гц; расход воды на «закалку» оксидных композиций – 2,8 кг/с.

4. Осуществлен плазмохимический синтез оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР и исследованы их физико-химические свойства. Установлены закономерности влияния массовой доли матрицы (оксид магния) на площадь удельной поверхности и размер получаемых ОК. Показано, что при постоянном расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) увеличение массовой доли MgO в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» от 5,0 до 50 % при  $\alpha=0,1\div 0,3$  приводит к увеличению удельной поверхности порошков ОК с 10,0 м<sup>2</sup>/г до 21,0 м<sup>2</sup>/г и уменьшению размера кристаллитов в составе ОК с 79 нм до 38 нм.

## **Заключение**

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния, а также других редкоземельных, редких и рассеянных металлов.

## Список использованных источников

1. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 160 с.
2. Сергеев Г.Б. Нанохимия - М.: Изд-во МГУ, 2003. - 288 с.
3. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы - М.: Академия, 2005. - 192 с.
4. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 760 с
5. Toumanov I. V., Galkin A.F., Gracev V.G., Rousanov V.D. Little-Invetigated Fields in Plasma Technology of Conversion of Solutions and Melts // 14th Intern. Symposium on Plasma Chemistry. Prague, Czech Republic, August 2-6, 1999. Symposium Proceedings. V. 5. P. 2507-2512.
6. Бойко В. И. Топливные материалы в ядерной энергетике / В. И. Бойко, Г. Н. Колпаков, О. В. Селиванова. Томск : Изд-во ТПУ, 2008. 186 с.
7. Галкин Н. П. Технология переработки концентратов урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин. М. : Атомиздат, 1960. 162 с.
8. Химия и технология фтористых соединений урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин, Б. Н. Судариков, Н. С. Николаев, Ю. Д. Шишков, А. Б. Крутиков. М. : Госатомиздат, 1961. 348 с.
9. Никольский Б.П. и др. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы» / Справочник химика. Т 3, 1965.
10. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. — М.: Высшая школа, 1970. — 192 с.
11. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
12. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5.

13. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7.

14. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.

15. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.

16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

17. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. – Directmedia, 2014.

18. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004 – 85 ССБТ Пожарная безопасность.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Расчет состава растворов ВОНР 1-6, имеющих  $Q_{нр}^p, \approx 8,4$  МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при  $\alpha=0,1$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР							Q <sub>нр</sub>	Доля ВОНР
		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	Ацетон, %	А	W		
альфа 0.1		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O						
ОК-1	9,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 85,5%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	2,982084561	27,4216492	7,873042596	31,72322364	30	38,28	31,72	8,67	0,7
ОК-2	9%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 81%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	2,301952802	21,16752256	12,83010331	33,70042133	30	36,30	33,70	8,62	0,7
ОК-3	8,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 76,5%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 15%-MgO	1,834364689	16,86783322	16,23806453	35,05	30	34,94	35,06	8,59	0,7
ОК-4	8%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 72%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	1,493153013	13,73023376	18,72494589	36,05	30	33,95	36,05	8,56	0,7
ОК-5	7%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 63%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 30%-MgO	1,028526072	9,457773767	22,11132497	37,40	30	32,60	37,40	8,53	0,7
ОК-6	5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 45%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	0,515358328	4,738958599	25,851488	38,89	30	31,11	38,89	8,49	0,7

Таблица А2 – Расчет состава растворов ВОНР 7-12, имеющих  $Q_{нр}^P, \approx 8,4$  МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций « $Sm_2O_3-Nd_2O_3-MgO$ » при  $\alpha=0,2$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР							$Q_{нр}$	Доля ВОНР
		Соль, %			$H_2O, \%$	Ацетон, %	А	W		
альфа 0.2		$Sm(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	$Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$						
ОК-7	19%- $Sm_2O_3$ ; 76%- $Nd_2O_3$ ; 5%- $MgO$	4,06	32,12	5,37	28,45	30	38,26	31,74	8,67	0,7
ОК-8	18%- $Sm_2O_3$ ; 72%- $Nd_2O_3$ ; 5%- $MgO$	3,38	26,74	9,43	30,45	30	36,29	33,71	8,62	0,7
ОК-9	17%- $Sm_2O_3$ ; 68%- $Nd_2O_3$ ; 15%- $MgO$	2,85	22,52	12,61	32,02	30	34,93	35,07	8,66	0,7
ОК-10	16%- $Sm_2O_3$ ; 64%- $Nd_2O_3$ ; 20%- $MgO$	2,42	19,13	15,17	33,28	30	33,94	36,06	8,56	0,7
ОК-11	14%- $Sm_2O_3$ ; 56%- $Nd_2O_3$ ; 30%- $MgO$	1,77	14,00	19,04	35,19	30	32,59	37,41	8,53	0,7
ОК-12	10%- $Sm_2O_3$ ; 40%- $Nd_2O_3$ ; 50%- $MgO$	0,95	7,54	23,92	37,59	30	31,10	38,90	8,49	0,7

Таблица А3 – Расчет состава растворов ВОНР 12-18, имеющих  $Q_{нр}^P, \approx 8,4$  МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при  $\alpha=0,3$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР							Q <sub>нр</sub>	Доля ВОНР
		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	Ацетон, %	А	W		
альфа 0.3		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O						
OK-13	28,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 66,5%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	6,35	29,31	5,59	28,75	30	38,25	31,75	8,67	0,7
OK-14	27%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 63%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	5,25	24,22	9,76	30,77	30	36,28	33,72	8,62	0,7
OK-15	25,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 59,5%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	4,40	20,29	12,98	32,33	30	34,92	35,08	8,58	0,7
OK-16	24%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 56%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	3,72	17,15	15,55	33,58	30	33,93	36,07	8,56	0,7
OK-17	21%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 49%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 30%-MgO	2,70	12,47	19,39	35,44	30	32,58	37,42	8,53	0,7
OK-18	15%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 35%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	1,44	6,66	24,15	37,75	30	31,10	38,90	8,49	0,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Измерение расхода воздуха через газоход

№	S <sub>имп</sub>		P <sub>пг</sub> , ρv <sup>2</sup> /2							P <sub>ср</sub> мБар
	3хп	См <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	
1	3х10	1650	2,64	2,66	2,66	2,56	2,52	2,57	2,61	2,60
2	3х8	1320	2,56	2,54	2,5	2,48	2,49	2,48	2,49	2,51
3	3х6	990	2,41	2,36	2,42	2,39	2,4	2,41	2,37	2,39
4	3х4	660	2,25	2,29	2,24	2,3	2,25	2,29	2,28	2,27
1	3х10	1650	2,66	2,56	2,6	2,55	2,57	2,63	2,64	2,60
2	3х8	1320	2,56	2,48	2,5	2,53	2,44	2,51	2,53	2,51
3	3х6	990	2,42	2,37	2,35	2,4	2,39	2,41	2,32	2,38
4	3х4	660	2,27	2,23	2,3	2,32	2,27	2,25	2,33	2,28

Таблица Б2 – Измерение расходов воздуха через плазматрон

№	S <sub>имп</sub>		P <sub>пг</sub> , ρv <sup>2</sup> /2							P <sub>ср</sub> мБар
	3хп	См <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	
1	3х10	1650	2,23	2,21	2,24	2,3	2,19	2,26	2,28	2,24
2	3х8	1320	2,41	2,43	2,56	2,42	2,47	2,52	2,51	2,47
3	3х6	990	2,57	2,67	2,66	2,65	2,61	2,64	2,55	2,62
4	3х4	660	3,57	3,6	3,51	3,57	3,63	3,65	3,67	3,60
1	3х10	1650	2,19	2,25	2,21	2,23	2,27	2,28	2,22	2,24
2	3х8	1320	2,42	2,43	2,54	2,47	2,41	2,51	2,53	2,47
3	3х6	990	2,58	2,63	2,65	2,59	2,6	2,62	2,63	2,61
4	3х4	660	3,57	3,6	3,63	3,53	3,55	3,61	3,54	3,58

Таблица Б4 – Измерение расхода воздуха в реакторе

№	S <sub>имп</sub>		Газоход			ВЧФП			T °C	ρ кг/м <sup>3</sup>	Q <sub>p</sub> кг/с
	3хп	См <sup>2</sup>	Р <sub>ср</sub> , мБар	Р <sub>пг</sub> , Па	Q, кг/с	Р <sub>ср</sub> , мБар	Р <sub>пг</sub> , Па	Q, кг/с			
1	3х10	1650	4,01	399,94	1,55	2,24	223,76	0,12	21	1,2009	1,43
2	3х8	1320	3,09	307,65	1,36	2,47	246,69	0,13			1,23
3	3х6	990	2,88	286,71	1,31	2,62	261,36	0,13			1,18
4	3х4	660	2,67	266,63	1,27	3,60	358,92	0,15			1,11
1	3х10	1650	4,02	401,08	1,55	2,24	222,90	0,12	21	1,2009	1,43
2	3х8	1320	3,11	310,21	1,36	2,47	246,54	0,13			1,24
3	3х6	990	2,89	287,85	1,31	2,61	260,64	0,13			1,18
4	3х4	660	2,68	267,48	1,27	3,58	356,50	0,15			1,12

Таблица Б5 – Полученные значения при проведении исследования и оптимизации режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона

					Анод					Сетка				Электрод				Корпус				
№	I, А	U <sub>a</sub> , кВТ	P <sub>0</sub> ,кВТ	T <sub>дг</sub> , °С	S, см <sup>2</sup>	m <sub>a</sub> , кг/с	dT <sub>a</sub> , °С	P <sub>a</sub> , кВТ	T <sub>a</sub> , °С	m <sub>с</sub> , кг/с	dT <sub>с</sub> , °С	P <sub>с</sub> , кВТ	T <sub>с</sub> , °С	m <sub>э</sub> , кг/с	dT <sub>э</sub> , °С	P <sub>э</sub> , кВТ	T <sub>э</sub> , °С	m <sub>кп</sub> , кг/с	dT <sub>кп</sub> , °С	P <sub>кп</sub> , кВТ	T <sub>кп</sub> , °С	
1	3	5,7	17,1	34	3x10	0,244	7,5	7,65	18,4	0,066	4,3	1,18	12,3	0,119	4,1	2,05	14,7	0,057	1	0,238	11,9	
2	3	5,7	17,1	34,6	3x8	0,244	7,5	7,65	18,4	0,066	4,3	1,18	12,3	0,119	4,1	2,05	14,7	0,057	1	0,238	11,9	
3	3	5,8	17,4	35,7	3x6	0,244	7,6	7,75	18,5	0,066	4,3	1,18	12,3	0,119	4,2	2,1	14,8	0,057	1	0,238	11,9	
4	3	5,8	17,4	36,6	3x4	0,244	7,6	7,75	18,5	0,066	4,3	1,18	12,3	0,119	4,2	2,09	14,8	0,057	1	2,38	11,9	
1	3,5	5,8	20,3	37,3	3x10	0,244	8,5	8,67	19,4	0,066	3,7	1,02	11,7	0,119	4,9	2,45	15,5	0,057	1	0,238	11,9	
2	3,5	5,8	20,3	36,8	3x8	0,244	8,5	8,67	19,4	0,066	3,8	1,05	11,8	0,119	4,9	2,45	15,5	0,057	1	0,238	11,9	
3	3,5	6,3	22,05	36,5	3x6	0,244	8,4	8,57	19,3	0,066	4	1,1	12	0,119	4,9	2,45	15,5	0,057	1	0,238	11,9	
4	3,5	6,5	22,75	37	3x4	0,244	8,6	8,77	19,5	0,066	4,1	1,13	12,1	0,119	5,1	2,55	15,7	0,057	1	0,238	11,9	
1	4	6,5	26	37,8	3x10	0,244	9,3	9,49	20,2	0,066	3,6	0,99	11,6	0,119	5,4	2,7	16	0,057	1	0,238	11,9	
2	4	6,7	26,8	38	3x8	0,244	9,4	9,59	20,3	0,066	3,5	0,96	11,5	0,119	5,5	2,75	16,1	0,057	1	0,238	11,9	
3	4	6,9	27,6	37,9	3x6	0,244	9,6	9,79	20,5	0,066	3,3	0,91	11,3	0,119	5,6	2,8	16,2	0,057	0,9	0,214	11,8	
4	4	7	28	36,8	3x4	0,244	9,6	9,79	20,5	0,066	3	0,83	11	0,119	5,7	2,85	16,3	0,057	0,8	0,191	11,7	

Таблица Б6 – Определение температуры воздушной плазменной струи и установочного КПД установки

№	I, А	U <sub>a</sub> , кВт	P <sub>0</sub> , кВт	T <sub>дг</sub> , °С	S, см <sup>2</sup>	ВЧФП					
						P <sub>стр</sub> , кВт	Q <sub>пг</sub> , кг/с	H <sub>г</sub> , кДж/кг	T <sub>стр</sub> , °С	P <sub>p</sub> , кВт	η, %
1	3	5,7	17,1	34	3x10	5,737	0,11	354	350	5,98	96
2	3	5,7	17,1	34,6	3x8	5,737	0,12	349	350	5,98	96
3	3	5,8	17,4	35,7	3x6	5,885	0,13	344	350	6,12	96,1
4	3	5,8	17,4	36,6	3x4	5,884	0,15	338	340	6,12	96,1
1	3,5	5,8	20,3	37,3	3x10	7,682	0,11	372	375	7,92	97
2	3,5	5,8	20,3	36,8	3x8	7,654	0,12	365	375	7,89	97
3	3,5	6,3	22,05	36,5	3x6	9,451	0,13	370	375	9,69	97,5
4	3,5	6,5	22,75	37	3x4	9,82	0,15	365	375	10,1	97,6
1	4	6,5	26	37,8	3x10	12,34	0,11	415	425	12,6	98,1
2	4	6,7	26,8	38	3x8	13,02	0,12	411	425	13,3	98,2
3	4	6,9	27,6	37,9	3x6	13,67	0,13	402	420	13,9	98,5
4	4	7	28	36,8	3x4	14,15	0,15	393	400	14,3	98,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица Б1 – Состав и режимы переработки растворов ВОНР, физико-химические и технологические свойства полученных простых и сложных оксидных композиций, моделирующих в воздушно-плазменном потоке плазмохимический синтез уран-плутониевого дисперсионного ядерного топлива

Состав ОК	Состав ВОНР					Режимы переработки ВОНР		Лазерная дифракция ОК	БЭТ-анализ ОК		Параметры прессования ОК	
	№	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O, г/л	Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O, г/л	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O, г/л	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, % масс.	f <sub>ф</sub> , Гц	Q <sub>отв</sub> , кг/с	D <sub>50</sub> , мкм	S, м <sup>2</sup> /г	D <sub>бет</sub> , нм	ρ <sub>нас</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>нас</sub> , %
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3/(\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Sm}_2\text{O}_3) = 0,1$												
ОК-1 (85,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –9,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5,0% MgO)	ВОНР-1	278,7	30,3	80,1	63,3	35	2,8	10,2	-	-	0,442	5,9
ОК-2 (81,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –9,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-2	264,0	28,7	160,3	62,3	35	2,8	9,2	-	-	0,410	5,5
ОК-3 (76,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –8,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15,0% MgO)	ВОНР-3	249,4	27,1	240,4	61,3	35	2,8	8,3	14,8	54	0,429	5,7
ОК-4 (72,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –8,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-4	234,7	25,5	320,5	60,3	35	2,8	9,4	15,3	53	0,473	6,4
ОК-5 (63,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –7,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-5	205,4	22,3	480,8	58,4	35	2,8	8,5	16,7	48	0,458	6,1
ОК-6 (45,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50,0% MgO)	ВОНР-6	146,7	15,9	801,3	55,0	35	2,8	4,3	21,0	38	0,456	6,1
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3/(\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Sm}_2\text{O}_3) = 0,2$												
ОК-7 (76,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –19,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5,0% MgO)	ВОНР-7	247,7	60,6	80,1	63,4	35	2,8	12,0	10,8	73	0,384	5,1
ОК-8 (72,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –18,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-8	234,7	57,4	160,3	62,3	35	2,8	8,2	11,1	72	0,382	5,1
ОК-9 (68,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –17,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15,0% MgO)	ВОНР-9	221,6	54,2	240,4	61,2	35	2,8	6,7	14,5	56	0,417	5,7
ОК-10 (64,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –16,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-10	208,6	51,0	320,5	60,3	35	2,8	5,0	13,0	76	0,463	7,6
ОК-11 (56,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –14,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-11	182,5	44,6	480,8	58,4	35	2,8	6,7	16,1	63	0,480	8,2
ОК-12 (40,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50,0% MgO)	ВОНР-12	130,4	31,9	801,3	55,0	35	2,8	5,3	12,6	59	0,431	5,7
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3/(\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Sm}_2\text{O}_3) = 0,3$												
ОК-13 (66,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –28,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5,0% MgO)	ВОНР-13	216,8	90,9	80,1	63,4	35	2,8	7,8	11,0	-	-	-
ОК-14 (63,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –27,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-14	205,4	86,1	160,3	62,3	35	2,8	5,7	11,2	-	-	-
ОК-15 (59,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –25,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15,0% MgO)	ВОНР-15	193,9	81,3	240,4	61,3	35	2,8	5,2	9,9	-	-	-
ОК-16 (56,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –24,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-16	182,5	76,5	320,5	60,3	35	2,8	4,6	11,9	-	-	-
ОК-17 (49,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –21,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-17	159,7	67,0	480,8	58,4	35	2,8	4,7	16,8	-	-	-
ОК-18 (35,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50,0% MgO)	ВОНР-18	114,1	47,8	801,3	55,0	35	2,8	4,7	11,9	-	-	-