

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

---

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций «оксид неодима–оксид самария–оксид иттрия»

УДК 66.01:533.9:661.865'02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Дербин Алексей Юрьевич		25.05.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н., доцент		25.05.2020

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Е.С. Киселева	к.ф.н.		25.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		25.05.2020

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	П.Н. Бычков	к.т.н.		25.05.2020

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 образования и науки 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	Дербину Алексею Юрьевичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций «оксид неодима–оксид самария–оксид иттрия»	
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>	Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима–оксид самария–оксид иттрия». Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор и анализ способов получения оксидных композиций.</li><li>2. Определение составов водно-органических растворов, включающих органический компонент и обеспечивающих их энергоэффективную переработку.</li><li>3. Термодинамическое моделирование и оптимизация процесса синтеза в воздушной плазме требуемых оксидных композиций.</li><li>4. Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.</li><li>5. Исследование физико-химических свойств полученных порошков оксидных композиций.</li></ol>

	6. Выводы по работе. Заключение
--	---------------------------------

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
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	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н., доцент		17.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Дербин Алексей Юрьевич		17.01.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Дербину Алексею Юрьевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определена в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%.</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.</i>	<i>Анализ и оценка конкурентоспособности НИ, SWOT-анализ.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: определение трудоемкости работ; определение структуры работ; разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на НИ: материальные затраты; амортизационные отчисления; заработная плата; отчисления на социальные цели; накладные расходы.</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.</i>	<i>Оценка эффективности осуществляется на основе расчета ресурсного показателя эффективности научного исследования.</i>

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

<i>1. Оценка конкурентоспособности НИ.</i>
<i>2. Матрица SWOT.</i>
<i>3. Диаграмма Гантта.</i>
<i>4. Основные показатели эффективности НИ.</i>

<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	Дербин Алексей Юрьевич		28.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Дербину Алексею Юрьевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</i>	<i>Плазмохимический синтез был выполнен на модельных растворах ВОНР, включающих водные нитратные растворы неодима, самария, иттрия и органический компонент (ацетон).</i>
--	---

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

<i>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i>	<i>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020); – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</i>
<i>2. Производственная безопасность: – анализ выявленных вредных и опасных факторов; – обоснование мероприятий по снижению воздействия выявленных вредных и опасных факторов.</i>	<i>Вредные и опасные факторы: – параметры микроклимата; – повышенный уровень э/м излучения; – недостаточность освещенности; – превышение уровня шума; – психофизиологические нагрузки; – поражение электрическим током.</i>
<i>3. Экологическая безопасность:</i>	<i>– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.</i>
<i>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i>	<i>– анализ типичной ЧС - пожар; – превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.</i>

<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>
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф-м.н.		28.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6Д	Дербин Алексей Юрьевич		28.02.2020

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 страниц, 39 рисунков, 26 таблиц, 19 источников, 24 формулы.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, плазмотрон, водно-органический нитратный раствор, оксидные композиции.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов металлов.

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и иттрия.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов неодима, самария и иттрия, включающих органический компонент; термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР в воздушной плазме; исследование теплофизических и газодинамических режимов работы ВЧФ-плазмотрона и реактора в составе плазменного стенда; исследование физико-химических свойств полученных порошков оксидных композиций.

В работе были определены составы водно-органических нитратных растворов и режимы их переработки в воздушно-плазменном потоке, обеспечивающие плазмохимический синтез наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и иттрия.

Область применения: проведенные теоретические и экспериментальные исследования могут быть полезны для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария, иттрия и других металлов.

## Определения

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

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

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

**Температура вспышки** – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

**Температура воспламенения** – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

**Температура самовоспламенения** – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

**Адиабатическая температура горения** – это температура полного сгорания смесей любого состава при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду.

**Низшая теплота сгорания** – количество выделившейся теплоты при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) или объемной (для газообразных) единицы вещества.

## Обозначения и сокращения

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

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

**ВЧГ** – высокочастотный генератор.

**ВОНР** – водно-органический нитратный раствор.

**ОК** – оксидная композиция.

**БЭТ–анализ** – метод определения удельной поверхности дисперсных материалов, предложенный Брунауэром, Эммитом и Тэллером.

**ПЭМ** – просвечивающая электронная микроскопия.

**СЭМ** – сканирующая электронная микроскопия.

**РФА** – рентгенофазовый анализ.

## Содержание

Реферат .....	8
Введение .....	14
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Методы отдельного и совместного получения оксидных композиций	15
1.1.1 Золь-гель процесс для получения оксидных композиций.....	15
1.1.2 Микроволновая технология получения оксидных композиций .....	17
1.1.3 Микроволновая плазменная технология получения оксидных композиций .....	19
1.1.4 Плазмохимический синтез оксидных композиций из водных нитратных растворов.....	22
1.2 Обзор литературных источников по свойствам кристаллогидратов нитратных солей неодима, самария и иттрия .....	23
1.2.1 Получение и свойства оксида неодима .....	23
1.2.2 Получение и свойства оксида самария.....	24
1.2.3 Получение и свойства оксида иттрия .....	25
2 Расчетная часть.....	27
2.1 Расчет показателей горючести и составов водно-органических нитратных растворов.....	27
2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР .....	28
2.3 Расчет удельных энергозатрат .....	35
3 Экспериментальная часть .....	38
3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазматрона.....	38
3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазматрон и газопровод .....	39

3.3	Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор.....	41
3.4	Плазмохимическая переработка модельных ВОНР .....	42
3.5	Анализ полученных результатов .....	43
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	48
4.1	Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.2	SWOT-анализ.....	51
4.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	52
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	52
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	53
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	55
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	56
4.4.2	Расчет амортизационных расходов .....	57
4.4.3	Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	59
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	62
4.4.5	Расчет затрат на научные и производственные командировки .....	62
4.4.6	Накладные расходы .....	63
4.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	63
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	64
4.6	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	66
5	Социальная ответственность .....	67

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	68
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	68
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	69
5.2 Профессиональная социальная безопасность .....	71
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов .....	71
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	73
5.3 Экологическая безопасность.....	80
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	80
5.4.1 Анализ вероятных ЧС.....	80
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	81
5.5 Выводы по главе «Социальная ответственность» .....	82
Выводы .....	84
Заключение .....	86
Список литературы .....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	99

## Введение

К несомненным преимуществам применения плазмы для плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных смесевых водных нитратных растворов следует отнести: одностадийность; высокую скорость; возможность активно влиять на размер и морфологию частиц; компактность технологического оборудования. Однако плазменная обработка 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.

Впервые предлагается прямой плазмохимический синтез в воздушно-плазменном потоке 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 обработка 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 отдельного и совместного получения оксидных композиций

#### 1.1.1 Золь-гель процесс для получения оксидных композиций

Золь-гель процессом включает три основные стадии: приготовление золь; удаление воды с образованием твердых частиц геля; прокаливание.

Смешанное окисное топливо с любым отношением U/Pu получают путем перемешивания золь [1]. Схема данного технологического процесса изображена на рис. 1.

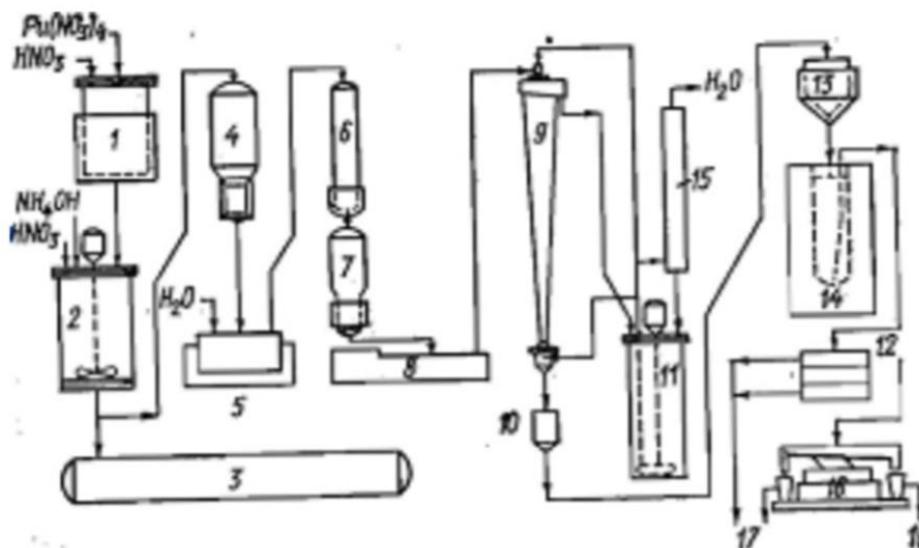


Рисунок 1 – Технологическая схема приготовления золь и формирования макросфер двуокиси плутония: 1 – приготовление исходного раствора; 2 – осаждение, фильтрация и пептизация; 3 – промывка; 4 – выпаривание высоконитратного золь; 5 – термическая денитрация золь; 6 – выпаривание; 7 – накопление золь; 8 – перекачка золь; 9 – формирование микросфер; 10 – отделение сфер; 11 – отделение растворителя; 12 – просеивание; 13 – сушка; 14 – спекание; 15 – отстаивание; 16 – измерение; 17 – выдача отходов; 18 – выдача готового продукта

Золи, полученные по этой схеме, устойчивы в течение нескольких месяцев и совместимы с золями урана. Особенности процесса образования

золей обусловлены гидролитическими реакциями и нестабильного нитрата в разбавленной  $\text{HNO}_3$ . Минимальная концентрация свободной  $\text{HNO}_3$  в исходном растворе полимеризации  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$  поддерживается не менее 1 М для предотвращения полимизации плутония; при этом концентрация свободной азотной кислоты может быть до 3 М [2].

Для обеспечения быстрой нейтрализации и осаждения  $\text{Pu}(\text{OH})$  к исходному раствору добавляют аммиак со скоростью 30 мл/мин. Избыток аммиака удаляют из конечного раствора при фильтрации через фильтр из нержавеющей стали. Внедрение в промышленность золь-гель процессов приготовления смешанного оксидного топлива будет зависеть от возможности реализации их преимуществ по сравнению с существующим производством подготовки ядерного топлива. Ожидаемые преимущества могут иметь существенное значение для экономики заводских процессов, входящих в состав топливного цикла энергетических реакторов на быстрых нейтронах:

1) микросферы могут быть изготовлены размером 20–1000 мкм с тщательным контролем их на стадии получения геля; дефектные микросферы могут быть возвращены в начало процесса до операции спекания;

2) микросферы смешанных окислов могут быть спечены до высокой плотности (более 95% теоретической плотности) при температуре на 2000 ниже, чем температура спекания таблеток, или изготовлены с заданной контролируемой пористостью в пределах от 10 до 30%;

3) микросферы, в том числе и пористые, обладают высокой прочностью при раздавливании, что создает дополнительные технологические преимущества;

4) отсутствие пылевидного продукта в процессе приготовления микросфер позволяет легко локализовать  $\alpha$ -активность в пределах рабочих объемов технологического оборудования;

5) процесс приготовления микросфер легко осуществить дистанционно в автоматическом цикле.

### 1.1.2 Микроволновая технология получения оксидных композиций

Эффективность преобразования энергии электрического поля в тепло увеличивается при увеличении частоты и квадрата напряженности электрического поля (при высокочастотном нагреве). Но произвольно увеличивать напряженность поля нельзя, так как при некотором значении возникнет электрический пробой. Но можно увеличивать частоту (вплоть до микроволнового диапазона) для увеличения удельной энергии, диссипируемой в нагреваемом теле.

Свойство микроволнового излучения на частотах 915 и 2450 МГц поглощаться влагой применяется для удаления влаги из конденсированных систем. Также, микроволновое излучение повышает температуру диэлектриков. Эти свойства позволили обрабатывать нераспыленные нитратные растворы (например, урана) и смешанные ВОНР актинидных элементов для последующего получения из них оксидных композиций  $UO_2$ - $PuO_2$ . Микроволновое излучение активно поглощается нитратными растворами, при этом вода быстро испаряется, солевой остаток разлагается. Таким образом получают оксиды или оксидные композиции.

Получение смесового оксидного уран-плутониевого топлива микроволновым нагревом смешанных ВОНР урана и плутония обеспечивается микроволновыми установками различных мощностей.

На рис. 2 показана схема опытной микроволновой установки.

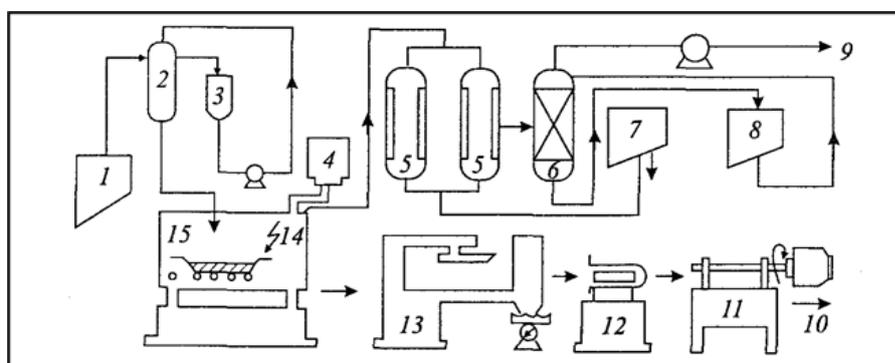


Рисунок 2 – Схема опытной установки для производства смесового уран-плутониевого топлива из смесовых (U-Pu)-нитратных растворов, работающей на микроволновом нагреве на стадии получения оксидов

Из танка 1 в резервуар 2 подается смесевой нитратный раствор урана и плутония с концентрацией 0,28 кг (U+Pu)/л. Резервуар 2 имеет фиксированный объем ~ 7,2 л. Далее идет транспортировка в широкий плоский сосуд 14 с внутренним диаметром 0,55 м и высотой 0,05 м. Затем поток микроволновой энергии идет от генератора 4 к слою раствора в сосуде 14 по волноводу. Мощность генератора 14 – 16 кВт, частота – 2450 МГц. После испарения связанной и свободной воды, нитраты разлагаются до оксидных композиций  $\text{PuO}_2\text{-UO}_3$ .

Под действием микроволнового излучения обеспечивается процесс концентрирования раствора, затем – отгонки азотной кислоты при температуре ~ 383 К в течении 20 мин. После отгонки жидкой фазы происходит увеличение температуры до 670 К и выше. Далее продукт ( $\text{PuO}_2\text{UO}_3$ ) перегружается в печь прокали-восстановления, где доводится до состава  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ .  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  пригоден для изготовления таблетированного оксидного (U-Pu)-топлива.

300 кг смесевых оксидов было получено на опытной установке, (из них 130 кг плутония), этого хватило на изготовление 16 топливных сборок. Результаты испытаний позволили создать оборудование, со схожим принципом работы, но в условиях действующего производства. Из регенерационного завода раздельно транспортировались нитратные растворы, смешивание было таким, чтобы мольное соотношение Pu/U было близко к единице, обработка проводилась на той же частоте 2450 МГц при мощности 16 кВт. Производительность данного оборудования составила примерно по 10 кг (Pu + U) в день.

Продукт прокаливается на воздухе при температуре 1323 – 1573 К; разламывается в шаровой мельнице; сушится на воздухе; протирается через сито (размер ячеек примерно 850 мкм); прессуется в таблетки (давлением 345 МПа) с использованием стеарата цинка в качестве связующего. Таблетки диаметром 14,2 мм спекаются в атмосфере водорода при температуре 1973 К,

скорость нагрева и охлаждения составляют 250 °С/ч. Плотность таблеток составляет 96% от теоретической [3].

### 1.1.3 Микроволновая плазменная технология получения оксидных композиций

На рис. 3 показана схема микроволновой плазменной установки, которая применяется для переработки нитратных растворов, смесевых растворов.

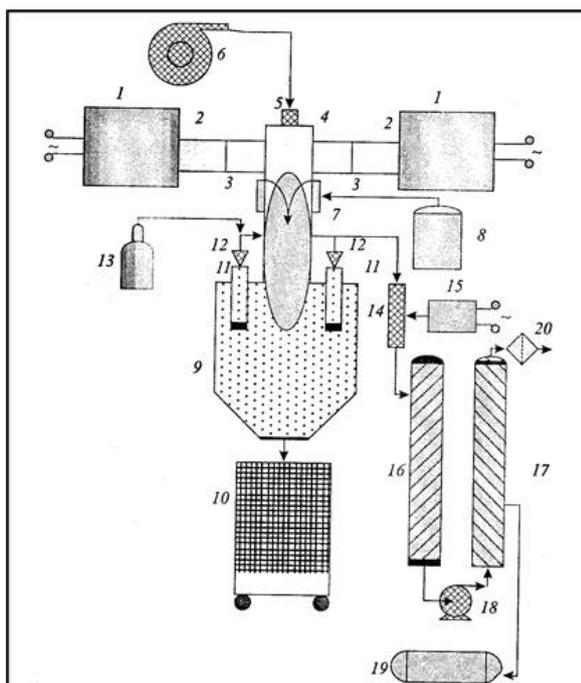


Рисунок 3 – Схема микроволновой плазменной установки

Потоки электромагнитной энергии (волна Н01) генерируется несколькими микроволновыми генераторами плазмы 1 с частотой 2450 МГц. Потоки движутся через диэлектрические развязки 3, затем идет их преобразование в электромагнитную волну Н11 при входе в круглый волновод 4 [4].

После стабилизации тангенциальным потоком воздуха разряд возникает в круглом волноводе, который превращается в плазменный реактор после ввода сырья. С помощью компрессора 6 поток воздуха попадает в круглый волновод через фильтр 5.

Раствор вводят из танка 8 через коллектор 7. В коллекторе находятся несколько ультразвуковых распылителей раствора. Вводится раствор в плоскости, находящиеся ниже ввода прямоугольных волноводов 2 в круглый волновод.

Если использовать частоты 750 кГц и 2,5 МГц, то получатся капли раствора размером 5 и 2 мкм соответственно. Для сравнения, обычный диапазон капель, производимых ультразвуковыми распылителями растворов, составляет 0,5 – 5 мкм. Производительность ультразвуковых распылителей определяется мощностью пьезоэлектрического преобразователя, которую можно регулировать.

Процесс разложения капель раствора, диспергированных в плазму микроволнового разряда, протекает через возникновение одних и тех же промежуточных образований. Из-за того, что размер частиц распыленного раствора практически однороден, а вероятность вторичного дробления капель невелика, то существует вероятность получить дисперсный материал с близкими размерами частиц. Оценка величины устойчивого диаметра капель раствора по критическому числу Вебера дает для диаметра устойчивой к дроблению капли величину 5 – 10 мкм. Таким образом капли, которые получаются при ультразвуковом распылении раствора, устойчивы ко вторичному дроблению.

Улавливание частиц оксидов или оксидных композиций происходит на двухслойном металлокерамическом фильтре 11. Он изготовлен по специальной технологии из порошка нержавеющей стали и позволяет полностью улавливать субмикронные и микронные порошки. Каждый фильтр-патрон снабжается индивидуальным соплом для импульсной эжекционной регенерации; все фильтры-патроны регенерируются по очереди и в непрерывном режиме с помощью электронной системы. Эта же электронная система управляет электромагнитными клапанами 12. Использование эжекции позволяет значительно сократить расход регенерирующего газа из ресивера 13.

С внешней поверхности фильтров тонкодисперсный порошок сбрасывается в приемный бункер 9. Далее его перегружают в транспортный контейнер 10.

После прохождения через озонатор 14 с источником электропитания 15 нитрозные газы гонятся с помощью насоса 18 через конденсатор 16 и абсорбер 17. В абсорбере регенерируется азотная кислота, которую собирают в сборнике 19. Газовый выхлоп дополнительно очищается на санитарном фильтре 20.

Описанные выше плазменные денитрационные установки сносно работают при небольших мощностях плазменного реактора (10-30 кВт) и производительности в несколько килограммов в час по оксидной композиции  $PuO_2-UO_2$ . В установках, где мощность более 100 кВт, производительность составляет десятки килограммов в час, лучше применять двухслойный металлокерамический фильтр, комбинируя его с электрофильтром. Установить их таким образом, чтобы основная масса дисперсного материала была уловлена электрофильтром, а тонкая очистка двухфазного потока от дисперсного материала обеспечивалась металлокерамическим фильтром.

На рис. 4 представлена схема комбинации трубчатого электрофильтра и двухслойного металлокерамического фильтра, которая используется для разделения тонкодисперсных оксидных продуктов плазменной денитрации нитратных растворов и нитрозной газовой фазы.

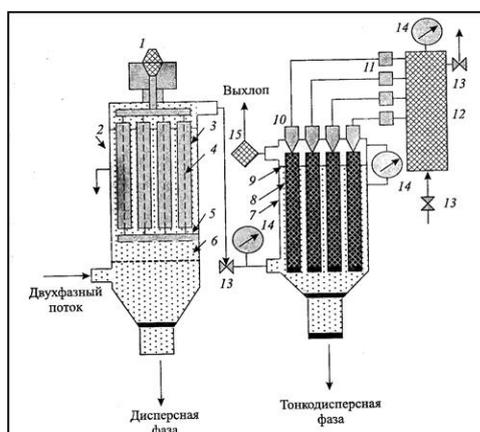


Рисунок 4 – Схема комбинации электрофильтра и металлокерамического фильтра с двухслойными фильтрующими элементами

Обозначения на рис.4 следующие: 1 – изолятор; 2 – корпус; 3,4 – осадительный и коронирующий электроды; 5 – рама; 6 – распределительная решетка; 7 – металлокерамический фильтр; 8 – электрофильтр; 9 – трубная доска; 10 – сопло; 11 – электромагнитные клапаны; 12 – ресивер со сжатым воздухом; 13 – вентиль; 14 – манометр; 15 – санитарный фильтр.

#### 1.1.4 Плазмохимический синтез оксидных композиций из водных нитратных растворов

В плазменном реакторе (рис. 5), который представляет собой изделие цилиндрической, конической или более сложной формы и снабжается водяным или газовым поверхностным охлаждением, встречаются потоки плазмы и предварительно дезинтегрированного (распыленного на капли) раствора. Плазма должна быть химически совместима с этим раствором.

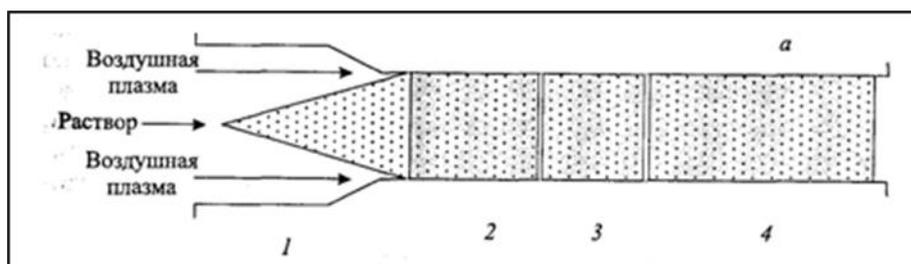


Рисунок 5 – Схема установки для плазмохимического синтеза оксидных композиций

При смешении потоков плазмы с каплями смесового нитратного раствора, капли раствора нагреваются до температуры кипения и из них испаряется вода. Далее происходит разложение конденсированного солевого остатка и синтез оксидов с образованием оксидной композиции [5-7].

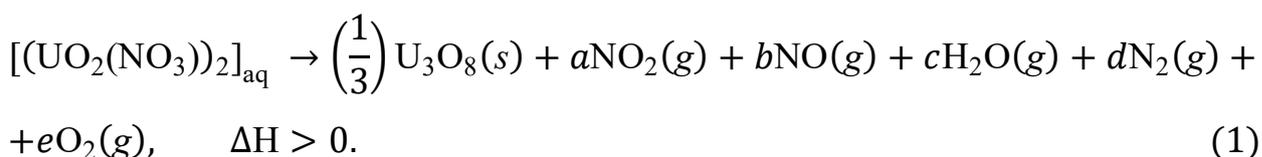
Технологическая схема плазмохимической установки имеет следующие основные аппаратные элементы.

1. Источник электропитания плазмотрона (например, высокочастотный или сверхвысокочастотный генератор и т.п.).

2. Плазмотрон. В нем поток газа, который химически совместим с раствором, превращается в поток низкотемпературной плазмы.

3. Плазменный реактор – это охлаждаемое изделие цилиндрической или конической формы, которое снабжается несколькими плазматронами и одним (или несколькими) дезинтеграторами раствора. В нем происходит перемешивание потока плазмы и раствора и далее происходит разложение раствора. При использовании нескольких плазматронов и дезинтеграторов очень интенсифицируются процесс смешения и процессы тепло- и массообмена при взаимодействии капель раствора с высокотемпературной средой.

4. Сепаратор. В нем проводится разделение газовой и дисперсной фаз. После прохождения через сепаратор, возникают два материальных потока: поток газовой фазы, содержащий оксиды азота, водяной пар, азот и кислород, и поток дисперсного оксидного материала, являющегося целевым продуктом.



5. Конденсатор-абсорбер. В конденсаторе водяной пар принудительно конденсируется и частично абсорбируются оксиды азота, в абсорбере происходит рекомбинация и поглощение азотной кислоты.

В итоге из установки выходит побочный продукт – раствор азотной кислоты. В идеальном случае из установки должен выходить газовый выхлоп, содержащий азот и кислород, но фактически требуется доочистка этого выхлопа от оксидов азота до санитарных норм [8].

## **1.2 Обзор литературных источников по свойствам кристаллогидратов нитратных солей неодима, самария и иттрия**

### **1.2.1 Получение и свойства оксида неодима**

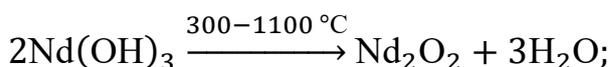
Оксид неодима (III) – это бинарное неорганическое соединение металла неодима и кислорода; формула –  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , является нерастворимым в воде.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  образует голубовато-фиолетовые кристаллы нескольких кристаллических модификаций.

- $\alpha$ -Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – кубическая сингония, существующая при температуре ниже 600-850 °С. Пространственная группа I a3, с параметрами ячейки a = 1,1140 нм, Z = 16.

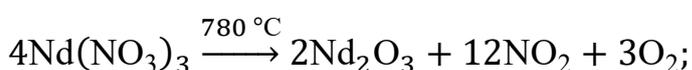
- $\beta$ -Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – гексагональная сингония, существующая при температуре выше 600-850 °С. Пространственная группа P 3m1, с параметрами ячейки a = 0,3831 нм, c = 0,6008 нм, Z = 1.

Получают оксид неодима следующими способами:

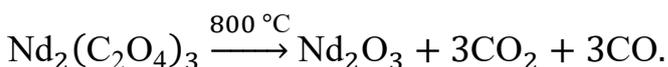
- разложение гидроксида неодима:



- разложение нитрата неодиме:



- разложение оксалата неодима:



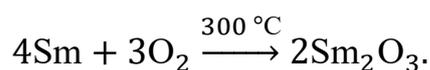
Nd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O образует фиолетово-красные кристаллы триклинной сингонии с пространственной группой P 1. Параметры ячейки: a = 0,9307 нм, b = 1,1747 нм, c = 0,6776 нм,  $\alpha = 91,11^\circ$ ,  $\beta = 112,24^\circ$ ,  $\gamma = 109,15^\circ$ , Z = 2.

Растворимость в воде при комнатной температуре 154,4 г/100 мл.

### 1.2.2 Получение и свойства оксида самария

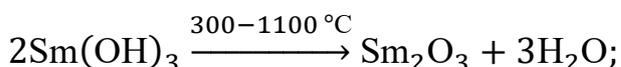
Оксид самария (III) — бинарное неорганическое соединение металла самария и кислорода; формула – Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, светло-жёлтые кристаллы, нерастворимые в холодной воде, реагирует с горячей.

Сгорание самария на воздухе:



Получают оксид самария следующими способами:

- разложение гидроксида самария:



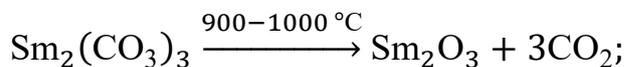
- разложение нитрата самария:



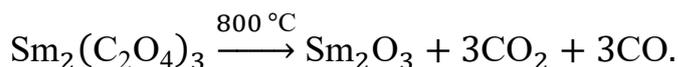
- разложение сульфата самария:



- разложение карбоната самария:



- разложение оксалата самария:



Оксид самария (III) образует светло-жёлтые кристаллы кубической сингонии, пространственная группа F a3, с параметрами ячеек: a = 1,0915 нм, Z = 16.

При 875°C переходит в моноклинную модификацию Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, пространственная группа C 2/m, параметры ячейки: a = 1,4170 нм, b = 0,3633 нм, c = 0,8847 нм, β = 99,96°, Z = 6 Растворимость оксида самария при комнатной температуре составляет 144 г/100 мл.

### 1.2.3 Получение и свойства оксида иттрия

Оксид иттрия – это бинарное неорганическое соединение металла иттрия и кислорода; формула – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, является нерастворимым в воде.

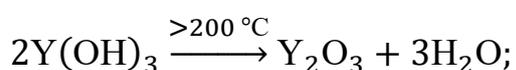
Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образует бесцветные кристаллы кубической сингонии, с параметрами ячеек: a = 1,061 нм, Z = 16.

При температуре 2277 °C Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> переходит в фазу с гексагональной сингонией, с параметрами ячеек: a = 0,381 нм, c = 0,609 нм, Z = 1.

При температуре 550°C и давлении 3,5 МПа оксид иттрия переходит в фазу с моноклинной сингонией. Растворимость оксида иттрия в воде 0,00018 г/100 мл.

Получают оксид иттрия следующими способами:

- разложение гидроксида иттрия:



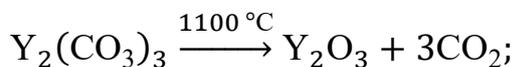
- разложение нитрата иттрия:



- разложение сульфата иттрия:



- разложение карбоната иттрия:



- разложение оксалата иттрия:



Нитрат иттрия – неорганическое соединение, соль металла иттрия и азотной кислоты; имеет формулу  $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$ , бесцветные кристаллы, распыляются на воздухе, растворимые в воде; образует кристаллогидраты  $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ , где  $n = 3, 5$  и  $6$ . Нитрат иттрия хорошо растворяется в воде с гидролизом по катиону. Растворимость в воде при комнатной температуре  $96,723 \text{ г}/100 \text{ мл}$  [9-12].

## 2 Расчетная часть

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

Низшая теплотворная способность водно-органических нитратных растворов определялась по уравнению:

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

где  $Q_H^c$  – 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.

Используя водно-органические нитратные растворы (ВОНР) с  $Q_H^p \geq 8,4$  МДж/кг можно существенно снизить энергозатраты на плазмохимический синтез сложных оксидных композиций [13].

В таблице 1 приведены значения низшей теплотворной способности  $Q_H^c$  горючих компонентов в составе водно-органических нитратных растворов.

Таблица 1

Показатели горючести органических веществ

Параметр	Вещество				
	Ацетон	Пропанол	Этанол	Бутанол	Метанол
$Q_H^c$ , МДж/кг	31,5	31,4	26,8	33,5	19,9
$T_{вспышки}$ , К	254	285	285	302	284
$T_{самовоспл}$ , К	738	673	619	618	658

Для образования сложных оксидных композиций различного состава определены следующие оптимальные по составу растворы ВОНР, имеющие  $Q_H^p \geq 8,4$  МДж/кг. Результаты расчетов приведены в таблице А.1 (приложение А).

## 2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР

Термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в воздушной плазме из растворов ВОНР проведено с использованием лицензионной программы «TERRA». «TERRA» – программа для термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем. Расчеты были проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа) и в широком диапазоне температур (300–4000 К) и значений исходного содержания плазменного теплоносителя (воздуха) до 90 %.

На рисунках 6-23 показано, как температура влияла на равновесные составы в конденсированных фазах основных продуктов плазменной переработки растворов ВОНР-1÷18 на основе ацетона.

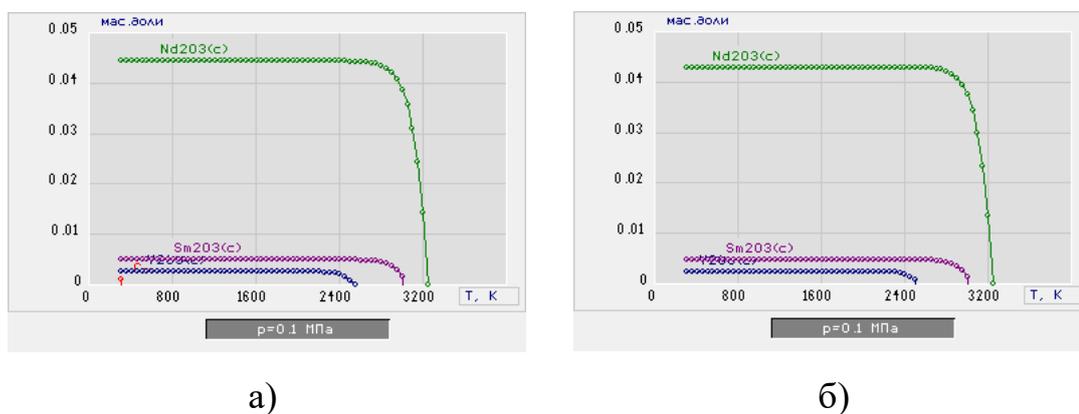
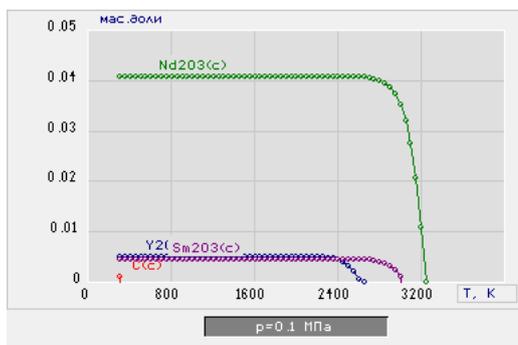
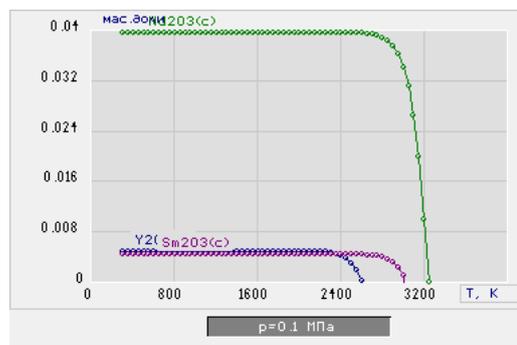


Рисунок 6 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1 при массовой доле воздуха 69 % (а) и 70 % (б)

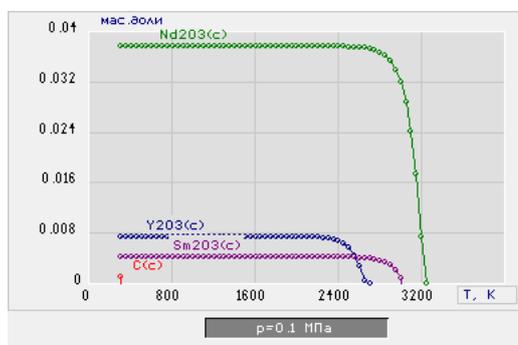


а)

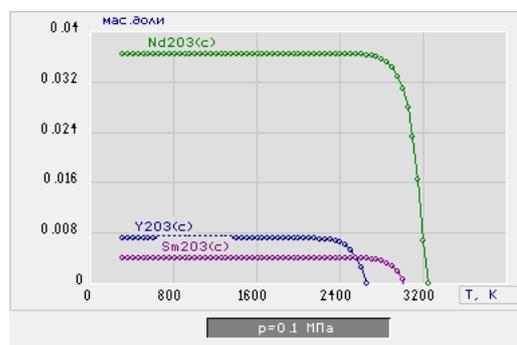


б)

Рисунок 7 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-2 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

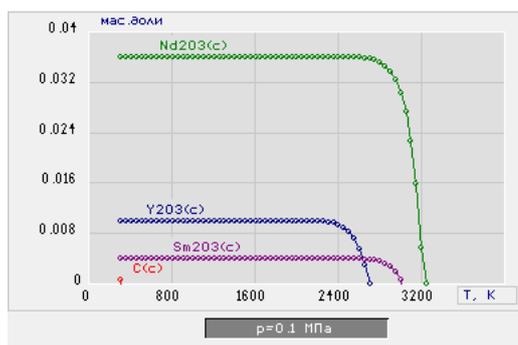


а)

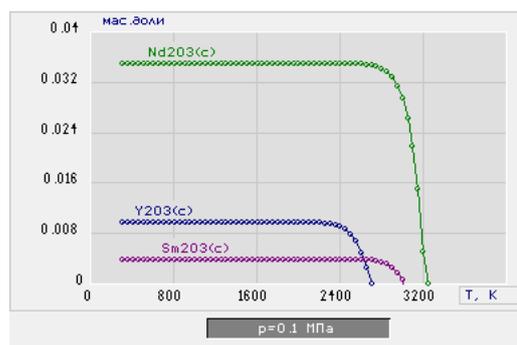


б)

Рисунок 8 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-3 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

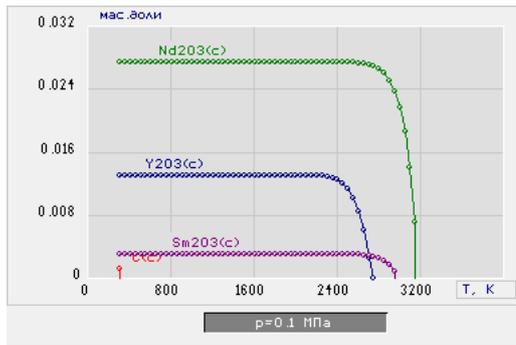


а)

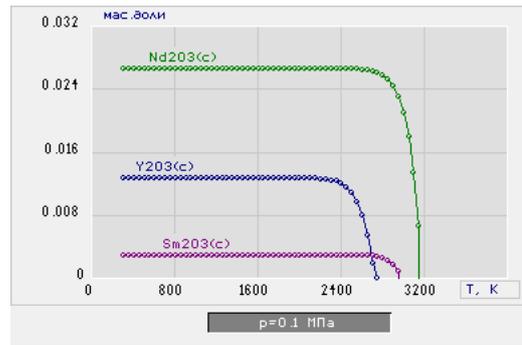


б)

Рисунок 9 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-4 при массовой доле воздуха 66 % (а) и 67 % (б)

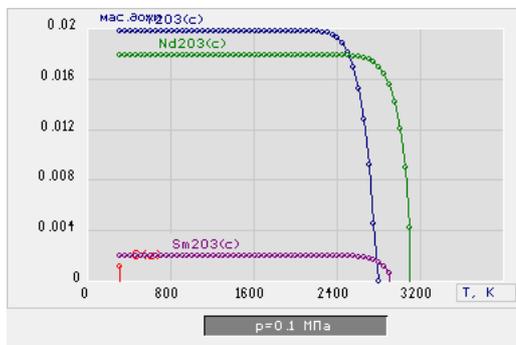


а)

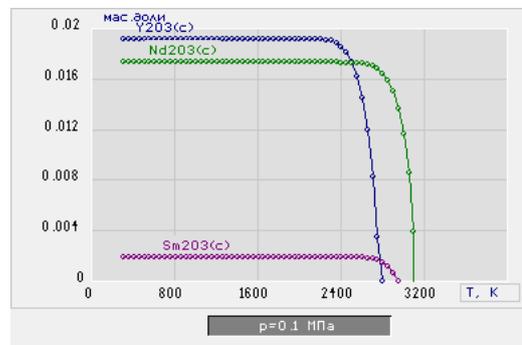


б)

Рисунок 10–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-5 при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б)

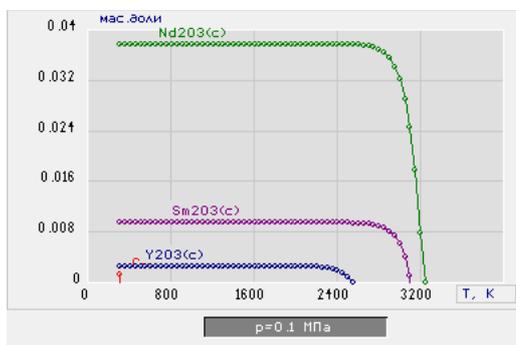


а)

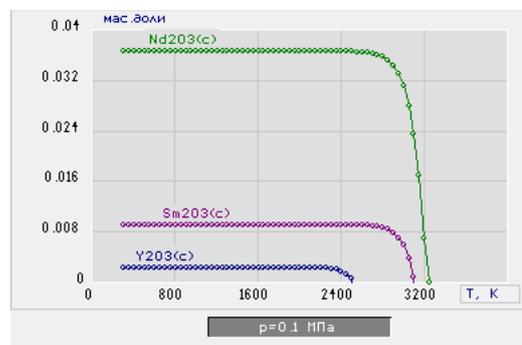


б)

Рисунок 11–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-6 при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б)

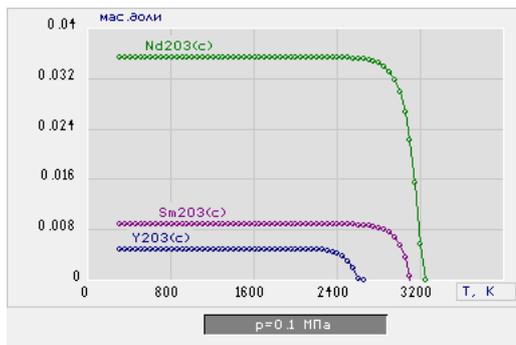


а)

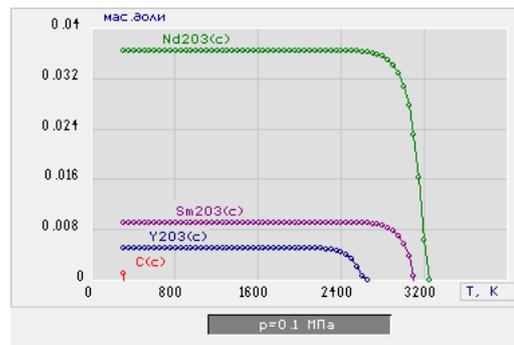


б)

Рисунок 12–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-7 при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б)

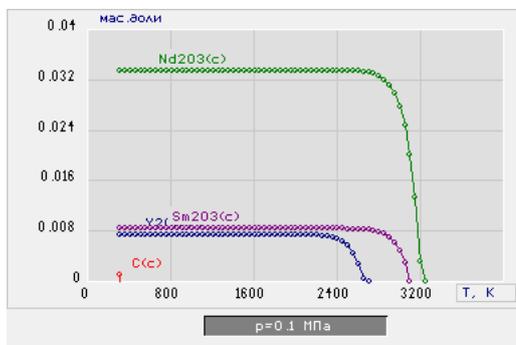


а)

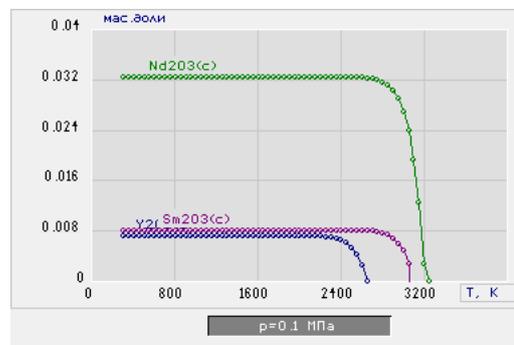


б)

Рисунок 13–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-8 при массовой доле воздуха 67% (а) и 68% (б)

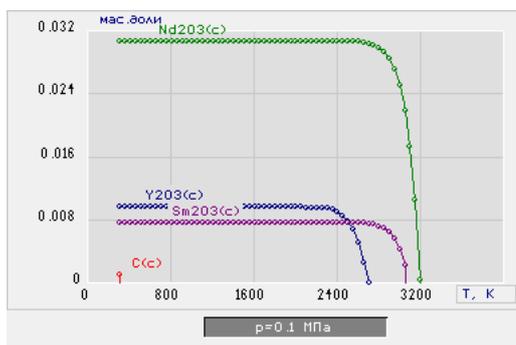


а)

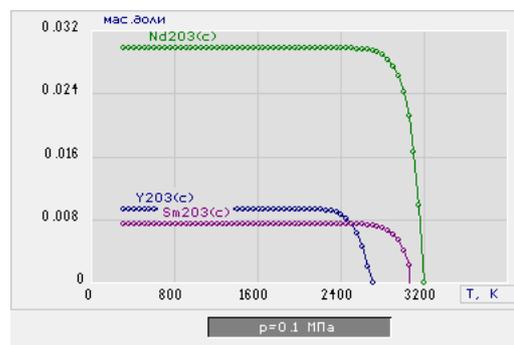


б)

Рисунок 14–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-9 при массовой доле воздуха 67% (а) и 68% (б)

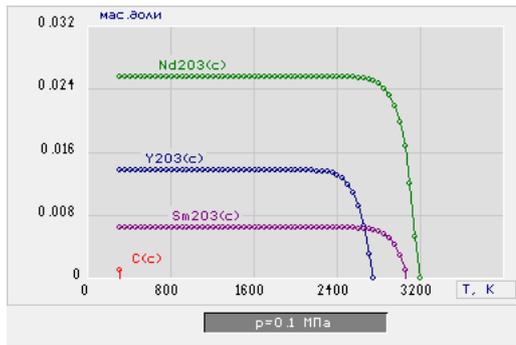


а)

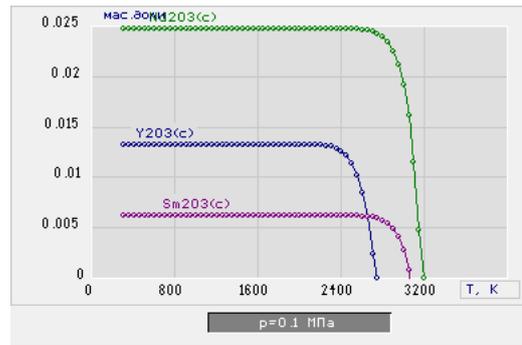


б)

Рисунок 15–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-10 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

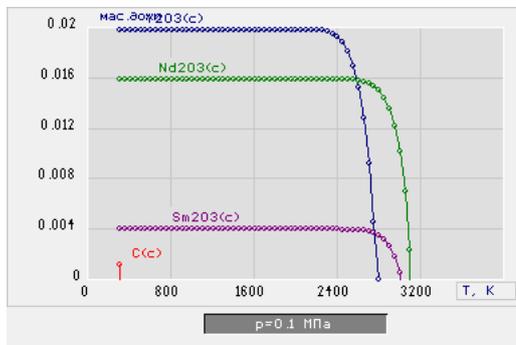


а)

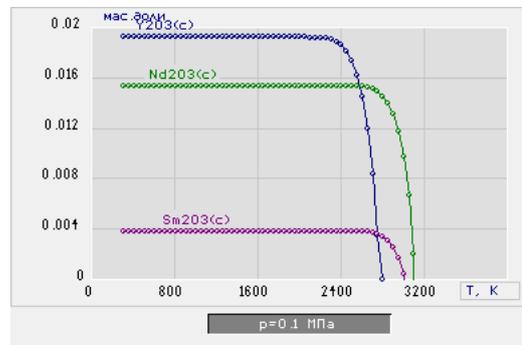


б)

Рисунок 16–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-11 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

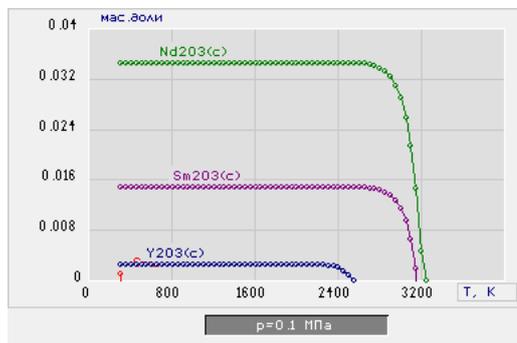


а)

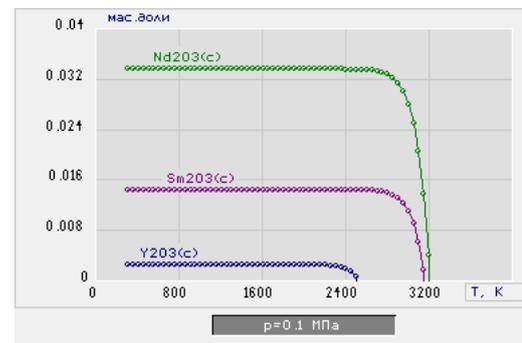


б)

Рисунок 17–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-12 при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б)

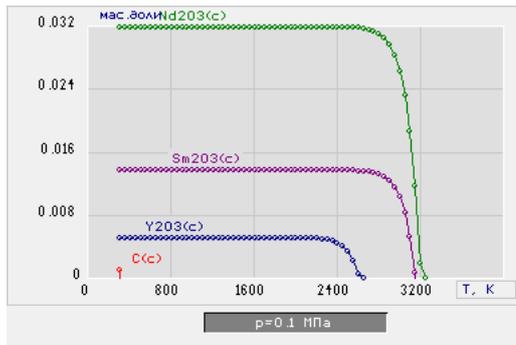


а)

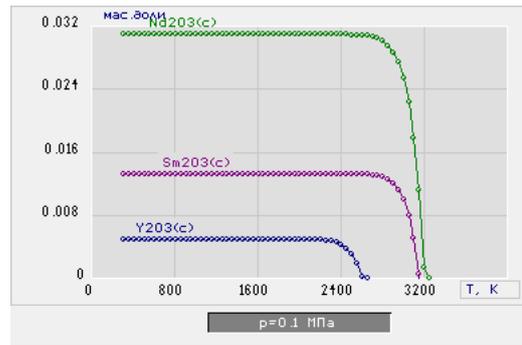


б)

Рисунок 18–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-13 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

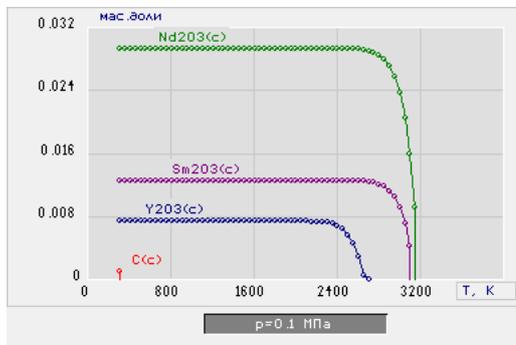


а)

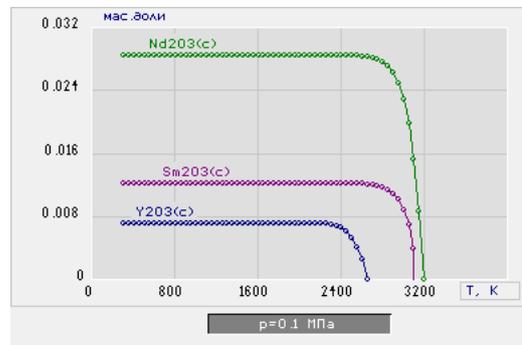


б)

Рисунок 19–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-14 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

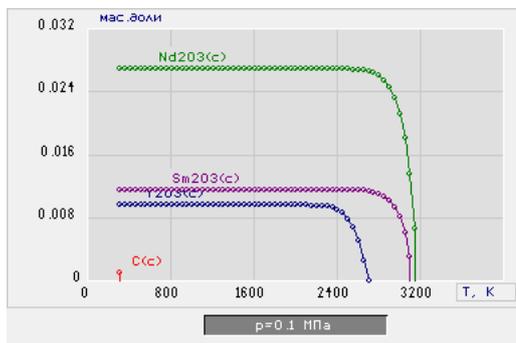


а)

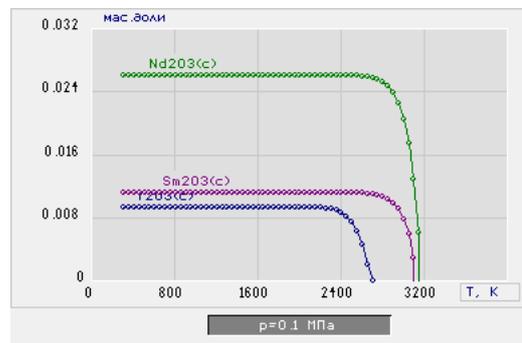


б)

Рисунок 20 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-15 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

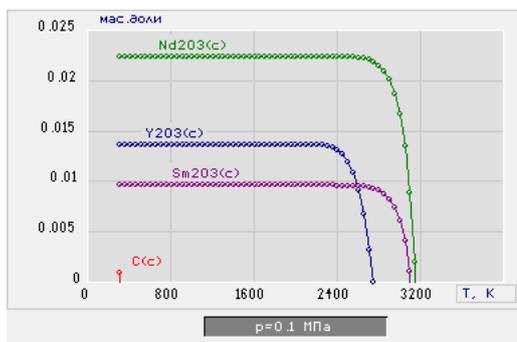


а)

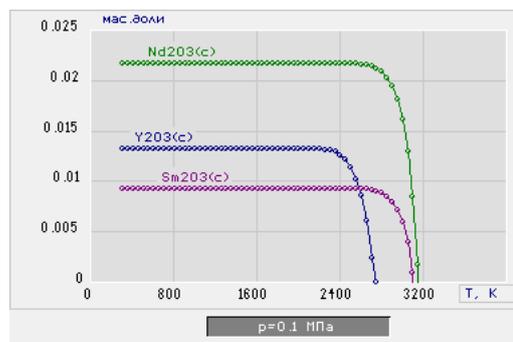


б)

Рисунок 21–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-16 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)

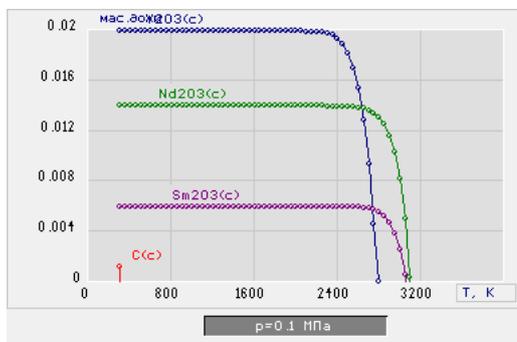


а)

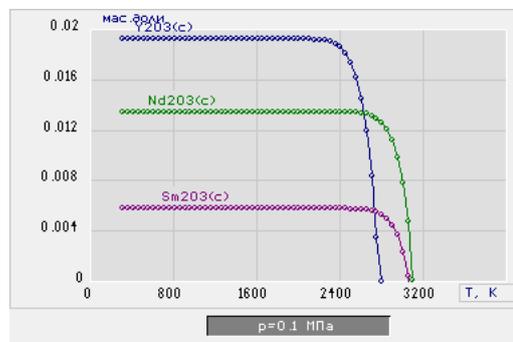


б)

Рисунок 22–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-17 при массовой доле воздуха 67 % (а) и 68 % (б)



а)



б)

Рисунок 23–Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-18 при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б)

Из анализа равновесных составов (рис. 6-23) следует, что при массовой доле воздуха 67 % основными продуктами в конденсированных фазах являются оксиды  $\text{Sm}_2\text{O}_3(\text{с})$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{с})$  и  $\text{Y}_2\text{O}_3(\text{с})$ , которые образуют требуемые оксидные композиции ОК-1÷18. При этом также образуется углерод  $\text{C}(\text{с})$ , содержание которого резко возрастает при снижении массовой доли воздуха менее 67 %. Повышение массовой доли воздуха с 67 % до 69 % и более не приводит к образованию углерода  $\text{C}(\text{с})$  и не изменяет состав целевых продуктов.

### 2.3 Расчет удельных энергозатрат

Далее были проведены расчеты энергозатрат на процесс плазмохимического синтеза в воздушной плазме 1 кг целевых продуктов в виде оксидных композиций ОК-1÷18. Полученные значения представлены на рис. 24-26.

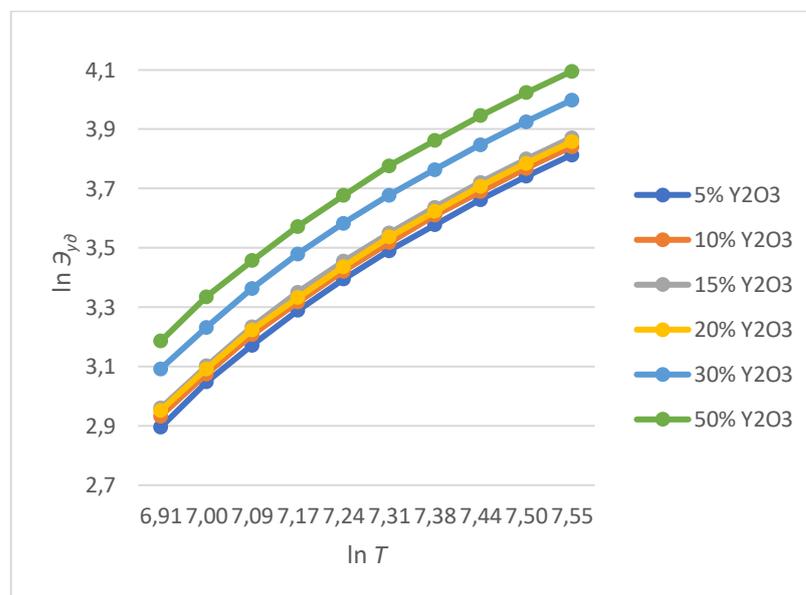


Рисунок 24 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-1÷6 из растворов ВОНР-1÷6

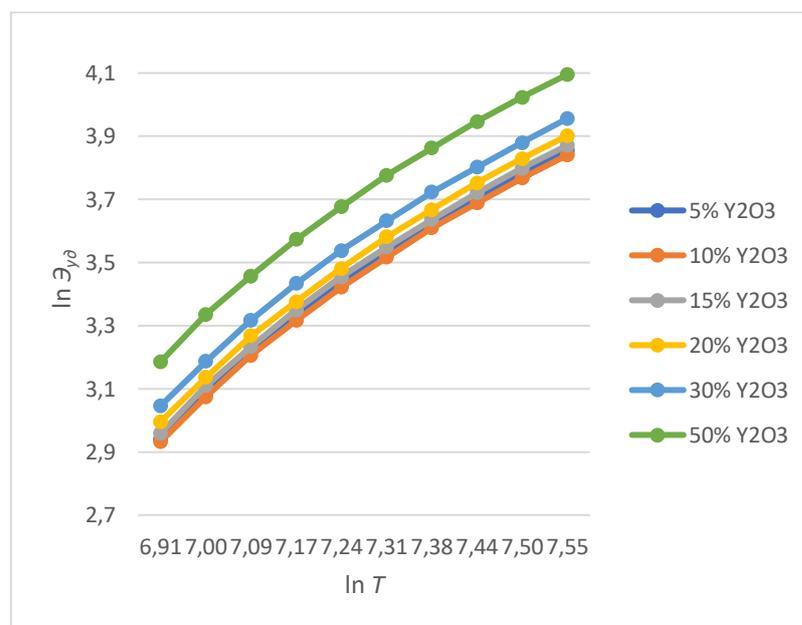


Рисунок 25 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-7÷12 из растворов ВОНР-7÷12

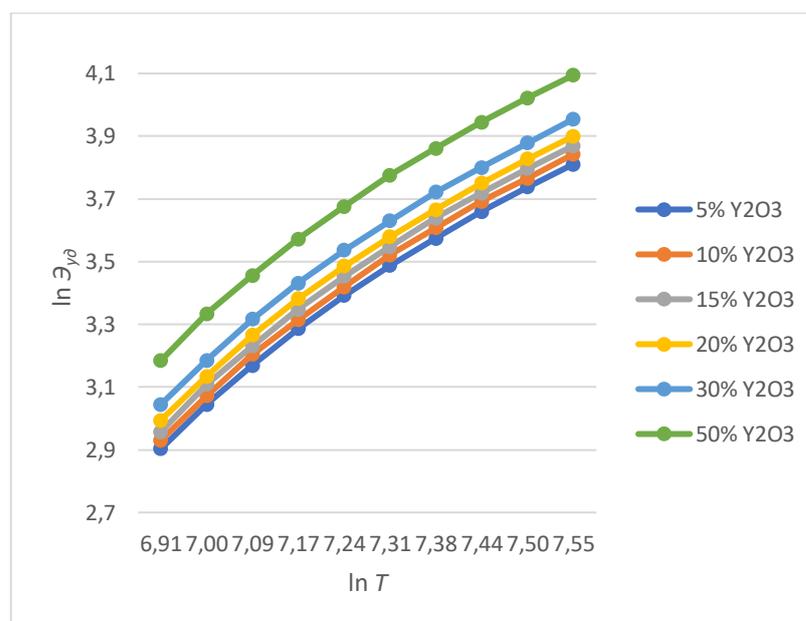


Рисунок 26 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-13÷18 из растворов ВОНР-13÷18

Определим условия, обеспечивающие при плазменной переработке растворов ВОНР на основе ацетона максимальный выход целевых продуктов при минимальных энергозатратах.

Результаты расчетов удельных энергозатрат при  $T=1500$  К представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов энергозатрат на получение ОК-1÷18 из растворов ВОНР-1÷18 при температуре (1500 К)

Раствор ВОНР, №	$I_T$ , кДж/кг	$I_T - I_{300}$ , кДж/кг	$Z$	$\mathcal{E}_{уд}$ , МДж/кг
1 ( $\alpha=0,1$ )	-3280	1650	0,05027	32,8
2 ( $\alpha=0,1$ )	-3300	1650	0,04892	33,7
3 ( $\alpha=0,1$ )	-3310	1660	0,04764	34,8
4 ( $\alpha=0,1$ )	-3400	1670	0,04854	34,4
5 ( $\alpha=0,1$ )	-3270	1670	0,04218	39,6
6 ( $\alpha=0,1$ )	-3310	1680	0,03843	43,7
7 ( $\alpha=0,2$ )	-3210	1640	0,0481	34,1

Раствор ВОНР, №	$I_T$ , кДж/кг	$I_T - I_{300}$ , кДж/кг	$Z$	$\mathcal{E}_{уд}$ , МДж/кг
8 ( $\alpha=0,2$ )	-3300	1650	0,049	33,7
9 ( $\alpha=0,2$ )	-3310	1660	0,04771	34,8
10 ( $\alpha=0,2$ )	-3320	1670	0,04648	35,9
11 ( $\alpha=0,2$ )	-3350	1670	0,04421	37,8
12 ( $\alpha=0,2$ )	-3310	1680	0,03846	43,7
<b>13 (<math>\alpha=0,3</math>)</b>	-3280	1650	<b>0,05045</b>	<b>32,7</b>
14 ( $\alpha=0,3$ )	-3290	1660	0,04908	33,8
15 ( $\alpha=0,3$ )	-3310	1660	0,04778	34,7
16 ( $\alpha=0,3$ )	-3320	1670	0,04655	35,9
17 ( $\alpha=0,3$ )	-3350	1670	0,04426	37,7
18 ( $\alpha=0,3$ )	-3310	1680	0,03849	43,6

Из анализа полученных данных определены условия, обеспечивающие при плазменной переработке растворов ВОНР-1÷18 максимальный выход целевых продуктов при минимальных энергозатратах (выделено жирным шрифтом). Показано, что максимальный выход целевого продукта достигается при 1500 К при плазмохимическом синтезе композиции ОК-13 (28,5 %  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  – 66,5 %  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  – 5,0 %  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ).

По результатам проведенных расчетов могут быть рекомендованы следующие оптимальные условия для процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций требуемого состава из растворов ВОНР:

- массовая доля плазменного теплоносителя (воздуха) не менее 69 %;
- температура  $1500 \pm 200$  К.

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазматрона

Экспериментальные исследования с целью наработки опытных партий оксидных порошков из модельных СНР осуществлялись с использованием плазмохимической установки (рис. 27). Установка разработана для осуществления процессов плазменной обработки диспергированных водно-солевых растворов различного состава в плазме высокочастотного факельного разряда, где плазменным теплоносителем выступает воздух.

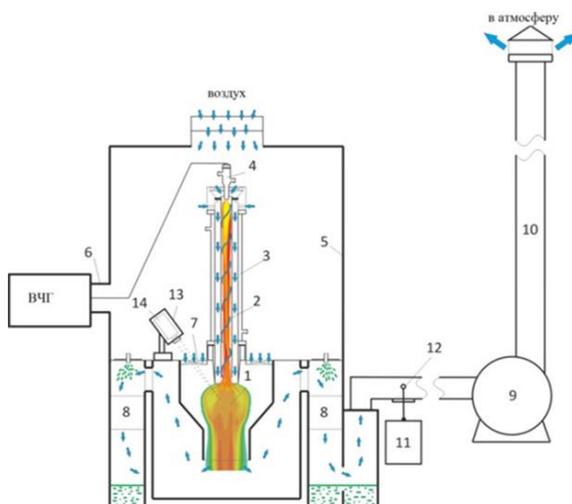


Рисунок 27 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазматрона:  
1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазматрон; 4 – медный электрод,  
5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел  
«мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26,  
№4), 10 – воздуховод, 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 коаксиальный вывод 6 к электроду 4, выполненному из меди и охлаждаемому водой. Электрод конструкционно располагается в ВЧФ-плазматроне 3, который непосредственно генерирует плазменную струю (среднемассовая

температура  $\approx 4000$  К). Плазменная струя горит внутри разрядной камеры плазмотрона, 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  $S_{\text{ип}} = 25$  см<sup>2</sup>. 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 см<sup>2</sup>.

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 воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон и газоход

Измерение расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона и газоход после узла «мокрой» очистки отходящих из реактора газов проводилось с помощью трубки Пито (рис. 28).

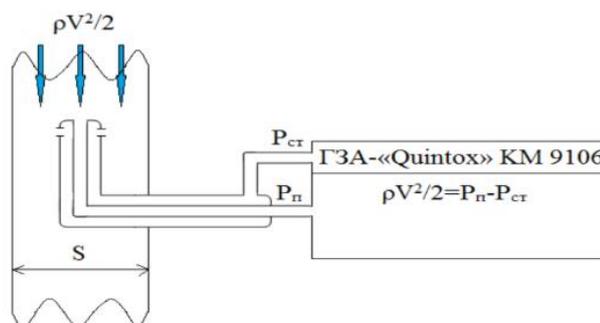


Рисунок 28 – Трубка Пито, схема определения расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона и газоход

Набегающий поток воздуха создает напор, который измеряется по формуле:

$$f = \frac{\rho V^2}{2} = P_{\Pi} - P_{\text{ст}}, \quad (3)$$

где  $P_{\Pi}$  – полное давление,  $P_{\text{ст}}$  – статическое давление,  $\rho$  – плотность воздуха при температуре  $T$ ,  $f = (\rho V^2)/2$  – напор, создаваемый набегающим потоком воздуха.

Скорость этого потока:

$$V = [2 \cdot (P_{\Pi} - P_{\text{ст}})/\rho]^{0,5}. \quad (4)$$

Расход воздуха через воздуховод:

$$Q = S \cdot V, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения воздуховода.

Полученные данные были обработаны и построены графики зависимостей расхода плазменного теплоносителя через плазмотрон ( $Q_{\text{пт}}$ ), и газоход ( $Q_{\text{гхд}}$ ) от входной площади реакторного шибера.

На рис. 29 и 30 представлено влияние входной площади реакторного шибера на объемные расходы воздуха через плазмотрон и газоход.

Анализ полученных данных позволяет определить расход плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор.

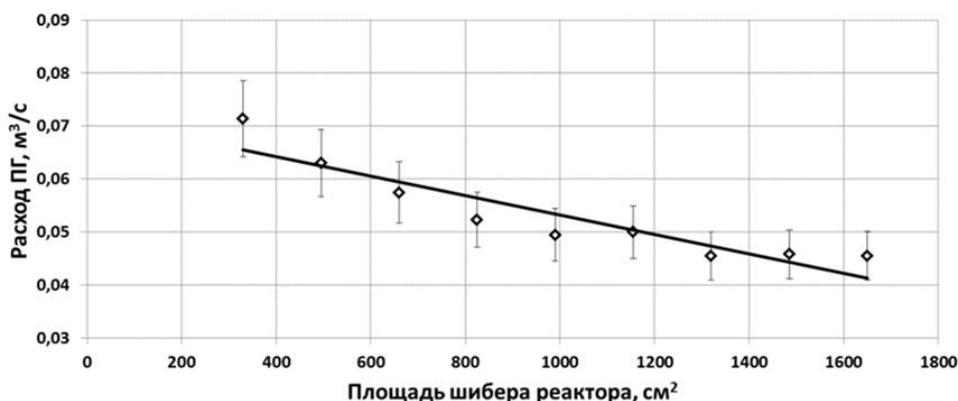


Рисунок 29 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

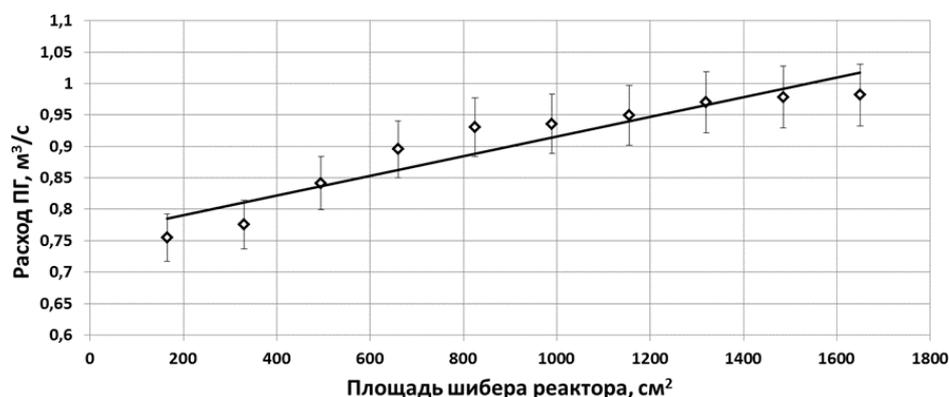


Рисунок 30 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через газоход

### 3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор

Расход плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор может быть вычислен косвенно. Для его расчета использовалась формула:

$$Q_P = Q_{ГХД} - Q_{ПТР}, \quad (6)$$

где  $Q_P$  – расход плазменного теплоносителя через реактор, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{ГХД}$  – расход плазменного теплоносителя через газоход, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{ПТР}$  – расход плазменного теплоносителя через плазмотрон.

На основе расчетов построены графики зависимости расходов плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор в зависимости от входной площади реакторного шибера. Полученные зависимости представлены на рис. 31.

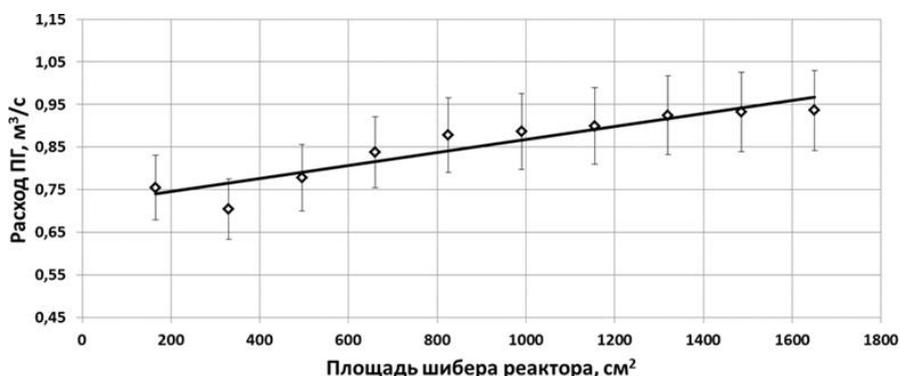


Рисунок 31 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход воздушного теплоносителя через реактор

Изменение шибером входной площади позволяет осуществлять плавную регулировку расхода плазменного теплоносителя через реактор и плазмотрон.

### **3.4 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР**

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

Вначале готовился с использованием дистиллированной воды (1 л) водный нитратный раствор (ВНР) из нитратных солей металлов и смешивался с органическим компонентом (3 л) с получением раствора ВОНР. Предварительно подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) на диспергатор 1 и далее в диспергированном виде поступали в реактор, где в процессе переработки в воздушно-плазменном потоке осуществлялся плазмохимический синтез простых и сложных ОК при температуре  $T_p \geq 1000$  °С. Контроль температуры  $T_p$  осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром 14 (PPE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора пыле-парогазовая смесь поступала на центробежно-барботажные аппараты узла «мокрой» очистки отходящих газов 8, где происходило ее резкое охлаждение (закалка) обратной 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 прокаливали в течение 20 минут при температуре 120-150 °С.

### 3.5 Анализ полученных результатов

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).

На рис. 32 представлена характерная гистограмма распределения по размерам частиц водной суспензии ОК-4 (метод ЛД), полученной при переработке раствора ВОНР-4.

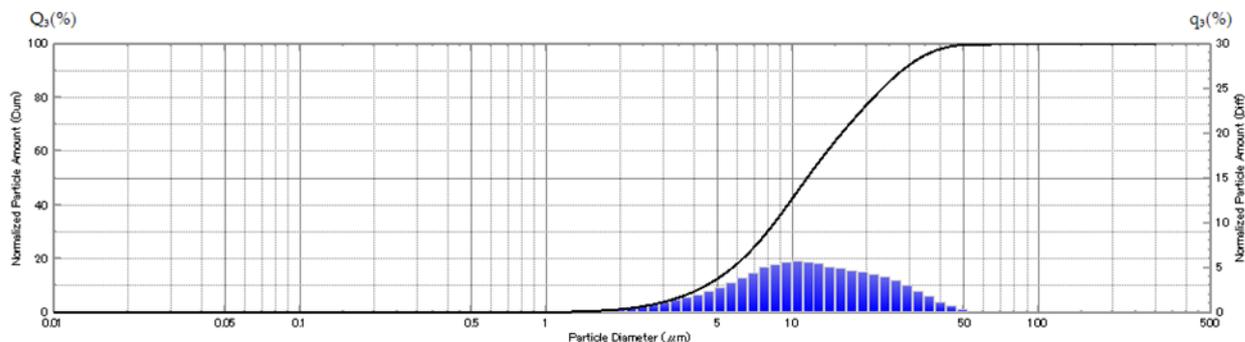


Рисунок 32 – Характерная гистограмма распределения по размерам частиц (агломератов) порошка ОК-4

Частицы водной суспензии ОК-4 характеризуются достаточно широким распределением по размерам, близким к мономодальному. Характерные величины медианных значений распределения частиц лежат в диапазоне от 1 до 51 мкм. Среднее значение размера частиц  $D_{50}$  составляет 11,4 мкм.

Анализ рентгенограмм образца порошка ОК-4 после РФА показывает, что основным продуктом пробы порошка являются целевые оксиды неодима ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ), самария ( $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ) и иттрия ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ).

Характерное СЭМ-изображение синтезированного порошка ОК-4 представлено на рис. 33.

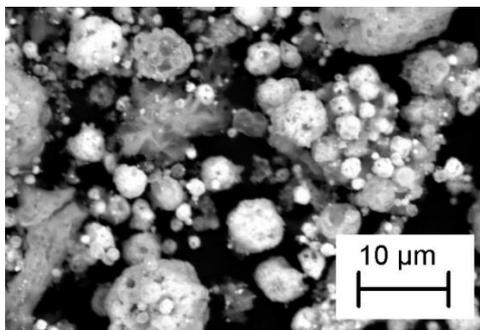


Рисунок 33 – СЭМ-изображение морфологической структуры частиц ОК-4

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

Величина удельной поверхности (метод БЭТ) составила  $5,5 \text{ м}^2/\text{г}$ . Полученное значение удельной поверхности пересчитывалось в размер кристаллитов, исходя из предположения об их сферической геометрии. Таким образом, размер кристаллитов, определенный по БЭТ, составляет 148 нм.

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

Свойства прессуемости, найденные по результатам прессования порошка ОК-4, имеют характерные для большинства оксидных материалов значения: порошок принадлежит 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 порошков проводилось в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 10 мм под давлением 400 МПа с последующим спеканием полученных прессовок при температуре  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Характерная микрофотография спеченной керамики из порошка ОК-4 приведена на рис. 34.

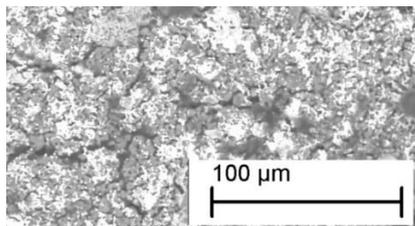


Рисунок 34 – Микрофотография спеченной керамики порошков ОК-4

На рис. 35-37 показано влияние содержания матрицы ( $Y_2O_3$ ) на размер частиц ОК в водных суспензиях (метод ЛД), удельной поверхности и размера кристаллитов в составе полученных порошков ОК (БЭТ-анализ).

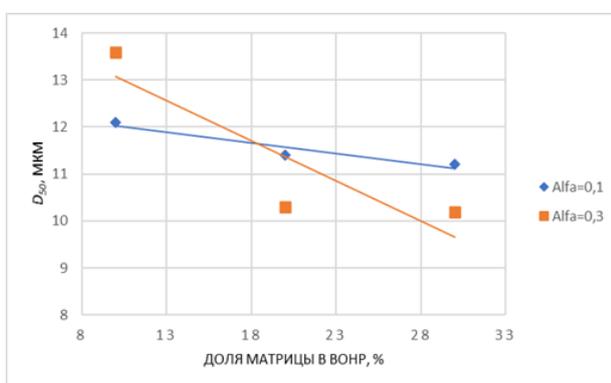


Рисунок 35 – Влияние содержания матрицы ( $Y_2O_3$ ) на размер частиц в полученных водных суспензиях ОК (метод ЛД) при  $\alpha=0,1$  и  $\alpha=0,3$

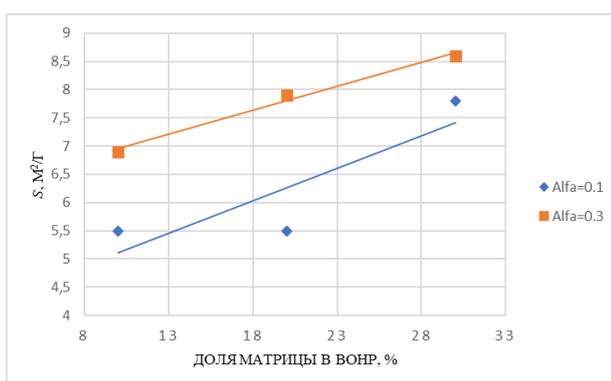


Рисунок 36 – Влияние содержания матрицы ( $Y_2O_3$ ) на удельную поверхность кристаллитов в составе полученных порошков ОК при  $\alpha=0,1$  и  $\alpha=0,3$

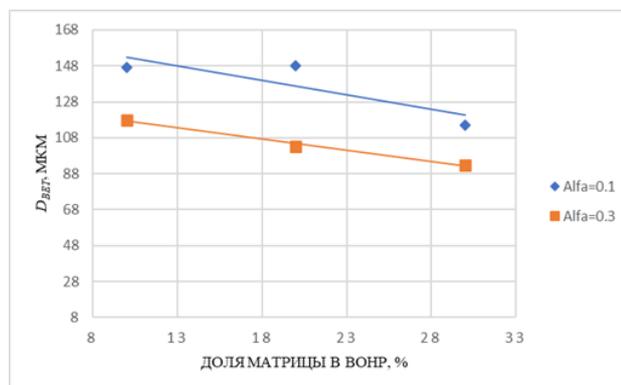


Рисунок 37 – Влияние содержания матрицы ( $Y_2O_3$ ) на размер кристаллитов в составе полученных порошков ОК (БЭТ-анализ) при  $\alpha=0,1$  и  $\alpha=0,3$

Из анализа результатов, представленных на рис. 35-37 и в таблице Б.1 (приложение Б), следует следующее.

- увеличение массовой доли матрицы ( $Y_2O_3$ ) от 10 % до 30 % в составе ОК « $Sm_2O_3 - Nd_2O_3 - Y_2O_3$ » (при  $\alpha=0,1$ ), приводит при постоянном расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора 50 Гц к снижению размера ОК после УМО с 12,1 мкм до 11,2 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 5,5 м<sup>2</sup>/г до 7,8 м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в частицах ОК уменьшается с 147 нм до 115 нм (БЭТ-анализ).

- увеличение массовой доли матрицы ( $Y_2O_3$ ) от 10 % до 30 % в составе ОК « $Sm_2O_3 - Nd_2O_3 - Y_2O_3$ » (при  $\alpha=0,3$ ), приводит при постоянном расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора 50 Гц к снижению размера ОК после УМО с 13,6 мкм до 10,2 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 6,9 м<sup>2</sup>/г до 8,6 м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в частицах ОК уменьшается со 118 нм до 93 нм (БЭТ-анализ).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, частоты диспергатора, расхода ОТВ (закалки) на процесс плазменной переработки диспергированных растворов ВОНР и определены режимы, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке плазмохимический синтез наноразмерных сложных ОК с высокими физико-химическими и технологическими свойствами.

#### **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.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности совместной плазменной утилизации радиоактивных иловых отложений в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда и сопровождение конкретных проектных решений на этапе реализации.

Необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований, анализируя конкурентные технические решения и таблицу SWOT-анализа;
- определить заработную плату исполнителей, страховые отчисления и накладные расходы для оценки коммерческого потенциала перспективности и альтернатив проведения НИ;
- оценить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности НИ на основе расчета ресурсного показателя эффективности научного исследования.

- спланировать график выполнения работ в форме диаграммы Ганта.

#### **4.1 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. Ниже перечислены 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 3 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (7)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 3

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
Итого	1	51	46	40	4,14	3,91	3,61

Таким образом, полученные данные в таблице 3 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.

## **4.2 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 проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут проявиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице В.1 (приложение В).

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком

«-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице Г.1 (приложение Г).

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа – таблица Д.1 (приложение Д).

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 решаемы, благодаря несомненному преимуществу разрабатываемой технологии производства ДЯТ над существующими.

### **4.3 Планирование научно-исследовательских работ**

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

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	бакалавр
	3	Анализ исходных данных	бакалавр
	4	Выбор направления исследований	бакалавр, руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	бакалавр, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	бакалавр
	9	Анализ и обработка полученных результатов	бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	бакалавр

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (8)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (9)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (10)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу Е.1 (приложение Е). И на основе полученной таблицы была построена диаграмма Гантта – рис. Е.1 (приложение Е).

Проинтегрировав значения, получим таблицу 5.

Таблица 5

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

Таким образом, 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.

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

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

- материалы;

- затраты на оплату труда работников;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- спецоборудование для научных и экспериментальных работ;
- прочие прямые расходы;
- накладные расходы.

#### 4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

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, занесены в таблицу 6.

Таблица 6

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

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретения нитрата самария. Основными устройствами, потребляющими электроэнергию, являлись: плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, персональный компьютер. Для оформления работы и выполнения опыта в течение 1 часа использовался компьютер с мощностью 0,3 кВт и плазматрон мощность которого составляет 60 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле 12:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (12)$$

где  $C_{эл}$  - тариф на электроэнергию (5,748 руб. за киловатт-час);  $P$  - мощность оборудования, кВт;  $F_{об}$  - время использования оборудования, ч.

Расходы на материалы и электроэнергию приведены в таблицах 7-8.

Таблица 7

#### Расходы на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Цена, руб.
Стол	шт	1	5000	6000
Стул	шт	1	1600	1600
ПК	шт	1	45000	45000
Итого			51600	

Таблица 8

#### Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $F_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $C_{эл.об}$ , руб.
Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	60	344,88
Персональный компьютер	224	0,3	386,3
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			732,33

#### 4.4.2 Расчет амортизационных расходов

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 гипертермической системе «Celsius TCS» и на домашнем компьютере.

Затраты на оборудование сведены в таблицу 9.

Расчет амортизации проводится следующим образом.

Норма амортизации рассчитывается по формуле 13:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (13)$$

где  $n$  - срок полезного использования, лет.

Таблица 9

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 «Asus»	1	3	45000	45000
Итого:					10450000 руб.

Амортизация рассчитывается по формуле 13:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t, \quad (14)$$

где  $I$  - итоговая сумма, тыс. руб.;  $t$  - 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 «Asus», 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:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,06 \cdot 10000000}{12} \cdot 1 = 50000 \text{ руб};$$

- персональный компьютер «Asus»:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 1 = 1237,5 \text{ руб};$$

- суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 50000 + 1237,5 = 51237,5 \text{ руб.}$$

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

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

$$C_{ЗП} = З_{ОСН} + З_{ДОП}, \quad (15)$$

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:

$$З_{ДОП} = K_{ДОП} \cdot З_{ОСН}, \quad (16)$$

где  $Z_{ДОП}$  - дополнительная заработная плата в рублях;  $K_{ДОП}$  - коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{ОСН}$  - основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{ОСН} = T_{РАБ} \cdot Z_{ДН}, \quad (17)$$

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 18:

$$Z_{ДН} = \frac{Z_M \cdot M}{T_D}, \quad (18)$$

где  $Z_M$  - месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $T_D$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 10).

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 10

#### 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

Бакалавр 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:

$$Z_M = Z_{OK} \cdot k_3, \quad (19)$$

где  $Z_{OK}$  - заработная плата по окладу, руб.;  $k_3$  - 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 11.

Таблица 11

Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{OK}$ , 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		

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 12.

Таблица 12

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	

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{ВНЕБ} = k_{ВНЕБ} \cdot (Z_{ОСН} \cdot Z_{ДОП}), \quad (20)$$

$$Z_{ВНЕБ} = 0,302 \cdot 21757 = 6527 \text{ руб.},$$

$$Z_{ВНЕБ} = 0,302 \cdot 10143 = 3043 \text{ руб.},$$

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

#### 4.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

При проведении НИИ не было научных и производственных командировок, таким образом, в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

#### 4.4.6 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:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \quad (21)$$

где  $k_{\text{НАКЛ}}$  - коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{НАКЛ}} = (9570 + 22975 + 51600 + 51237,5 + 31900) \cdot 0,16 = 26765,2 \text{ руб.}$$

#### 4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таким образом, на основании полученных данных по отдельным статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 13.

Таблица 13

Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
51238	22975	51600	26180	5720	9570	121183	26765,2	142448,2

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

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 22:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (22)$$

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 таблице 14.

Таблица 14

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	2
4. Энергосбережение	0,20	5	4	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	3	4
Итого	1	4,3	4	3,15

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

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективным при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп\ i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т. д.} \quad (23)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 15) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}. \quad (24)$$

Таблица 15

Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	4	3,15	4,3
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4,44	3,15	4,93
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,11	1	1,15

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

#### **4.6 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что среди технологий производства ДЯТ исследуемая технология наиболее эффективна.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и бакалавр. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 106 дней (86 дней – занятость студента, 44 дня – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Гантта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это изучение принципов работы оборудования.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 147948,2 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (22975 рублей), затрат на специальное оборудование (51600 рублей), амортизационных отчислений (51237,5 рублей), затрат на оплаты труда (31900 рублей), отчислений во внебюджетные фонды (9570 рублей) и накладных расходов (26765,2 рубля).

4. Проведена оценка результатов ресурсоэффективности, которая составила 4,3 из 5, что говорит о хорошей эффективности реализации технического проекта.

5. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности, в котором было установлено, что создание новой технологии производства ДЯТ является более эффективным по сравнению с аналогами.

6. Проект экономически целесообразен, что определено при помощи показателя ресурсоэффективности проекта.

## **5 Социальная ответственность**

Эксперименты проводились в 10 корпусе Томского политехнического университета. Объектом исследования являлся плазмохимический синтез оксидных композиций в воздушной плазме на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов, оказывающих влияние на процесс исследования, и мероприятия по снижению воздействия негативных факторов.

Для этого необходимо выполнить следующие задачи.

1) Изучить специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

2) Проанализировать вредные и опасные факторы, которые могут возникать при плазмохимическом синтезе исследуемых модельных композиций в лаборатории.

3) Рассмотреть характерные вредные и опасные факторы: указать источники возникновения факторов, их воздействие на организм человека, привести допустимые нормы, перечислить предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия факторов.

4) Разработать решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных вредных и опасных факторов.

5) Проанализировать влияние процесса исследования на окружающую среду.

6) Разработать организационные и технические мероприятия по защите окружающей среды.

7) Провести анализ возможных чрезвычайных ситуаций.

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

### **5.1.1 Специальные 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.

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 38.

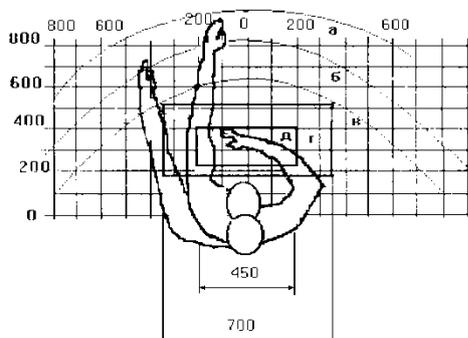


Рисунок 38 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

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 16.

Таблица 16

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 [14].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора [14]:

- 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 [15].

## 5.2 Профессиональная социальная безопасность

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла. Исследование проводится на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01. Для обработки результатов применяется ПЭВМ.

Опасные и вредные факторы, которые могут возникать при проведении опытов на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-012, а также при работе на ПЭВМ, приведены в таблице 17.

Таблица 17

Основные элементы производственного процесса, формирующие  
опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	

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.

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

В помещении могут негативно действовать следующие физические факторы:

- повышенная и пониженная температура и влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- превышающий допустимые нормы шум;
- повышенный уровень электромагнитных полей;
- повышенный уровень статического электричества;
- опасность поражения электрическим током;
- блеклость экрана дисплея.

К психологически вредным факторам, воздействующим в течение рабочей смены можно отнести следующие:

- физические перегрузки;
- нервно - эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение.

Биологические и химические вредные производственные факторы в данном помещении отсутствуют.

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

Процессы плазменной обработки следует относить к 2-3 разряду работ по точности. Свободная площадь, не занятая оборудованием, должна составлять не менее 10 м на одного работающего.

#### **5.2.2.1 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 18.

Таблица 18

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.

#### 5.2.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока, который 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 [16].

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 19.

Таблица 19

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

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.

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.

### **5.2.2.3 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.

Освещение должно удовлетворять требованиям СНиП-4-79 "Естественное и искусственное освещение". Допускается естественное, искусственное и совмещенное освещение. Естественное освещение может быть боковым и верхним.

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.

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% [17].

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).

#### 5.2.2.4 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 [18]. Шум на рабочем месте также может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует санитарным нормам. В таблице 20 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 20

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

### **5.2.2.5 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 функциональных на 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»).

### **5.2.2.6 Поражение электрическим током**

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях

повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

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 произвольными 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.

### **5.3 Экологическая безопасность**

При эксплуатации плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества (например, оксиды азота и углерода), с концентрацией, не превышающей ПДК [19].

Однако 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. Химические вещества попадают в почву, воздух, воду и передаются по пищевым цепям в живые организмы. Поэтому необходимо правильно утилизировать ПЭВМ и другие системы, а также их комплектующие.

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.

Таким образом, 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.

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

#### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС**

Научно-исследовательская работа проходила в 10 корпусе Томского политехнического университета на ПЭВМ и ВЧФ-плазматроне.

Наиболее характерной ЧС для данной работы является пожар. Пожар в рабочем помещении разработчика 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.

#### **5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность помещения, в котором проводились опыты, 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.

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.

### **5.5 Выводы по главе «Социальная ответственность»**

В данном разделе были 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» проведено исследование вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования и которые могут возникнуть на рабочем

месте при проведении исследований, также рассмотрены мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

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

В заключительном подразделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» проведен анализ вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. Помимо этого, рассмотрены мероприятия по предотвращению ЧС, и приведен порядок действий при возникновении ЧС.

## Выводы

1. По результатам расчета показателей горючести водно-органических нитратных растворов определены составы растворов ВОНР, имеющие низшую теплотворную способность  $Q_H^p \geq 8,4$  МДж/кг и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную переработку.

2. В результате 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>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>»: 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. Проведены экспериментальные исследования процесса синтеза оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР, включающих неодим, самарий и иттрий и исследованы физико-химические свойства полученных образцов порошков. Установлены закономерности влияния массовой доли матрицы (оксид иттрия) на площадь удельной поверхности и размер получаемых ОК. Показано, что при постоянном расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (50 Гц) увеличение массовой доли Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>» от 5 до 50 % при  $\alpha=0,1 \div 0,3$  приводит к увеличению удельной поверхности порошков

ОК с 5,5 м<sup>2</sup>/г до 8,6 м<sup>2</sup>/г и уменьшению размера кристаллитов в составе ОК с 147 нм до 93 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 иттрия, а также других редкоземельных, редких и рассеянных металлов.

## Список литературы

1. Высокотемпературное ядерное топливо. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1978, 432 с. Авт.: Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И., Меньшикова Т.С.

2. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 408 с.

3. Туманов, Ю.Н. Электротехнологии нового поколения в производстве неорганических материалов: экология, энергосбережение, качество / Ю.Н. Туманов. — М.: Физматлит, 2013. — 807 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. Бутылкин Ю.П., Головин А.М., Грачев В. Г., Гусев В. А., Туманов Ю. Н. Модель взаимодействия капель раствора с плазменным теплоносителем при наличии химических реакций. Плазмохимические процессы // Сб. под ред. Полака Л. С. — М.: АН СССР, ИНХС им. А.В.Топчиева. 1979. С. 204-220.

6. Туманов Ю. Н. Низкотемпературная плазма и высокочастотные электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики. — М.: Энергоатомиздат. 1989. — 280 с.

7. Головин А. М., Грачев В. Г1., Туманов Ю. Н. и др. Взаимодействие распыленного водного раствора солей с высокотемпературным теплоносителем // В сб.: Экспериментальные и теоретические исследования плазмохимических процессов. — М.: Наука, 1984. — С. 94-106.

8. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. — М.: Техносфера, 2015. — 248 с.

9. Химическая энциклопедия / Редкол.: Кнунянц И.Л. и др. — М.: Советская энциклопедия, 1995. — Т. 4. — 639 с. — ISBN 5-82270-092-4.

10. Справочник химика / Редкол.: Никольский Б.П. и др. — 2-е изд., испр. — М.-Л.: Химия, 1966. — Т. 1. — 1072 с.

11. Справочник химика / Редкол.: Никольский Б.П. и др. — 3-е изд., испр. — Л.: Химия, 1971. — Т. 2. — 1168 с.
12. Лидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. — 3-е изд., испр. — М.: Химия, 2000. — 480 с. — ISBN 5-7245-1163-0.
13. Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., Дашковский А.М. Реакторное материаловедение. — М.: Атомиздат, 1979. — 344 с.
14. ГОСТ 12.3.026-81. ССБТ. Система стандартов безопасности труда.
15. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные поля в производственных условиях.
17. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов.
18. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
19. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1

Расчет состава растворов ВОНР на основе ацетона

Состав ОК	Состав раствора ВОНР, % масс.				
	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	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
<b><math>\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})=0,1</math></b>	<b>ВОНР-1</b>				
OK-1 (9,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –85,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,806	35	2,661	29,533	29,0
	<b>ВОНР-2</b>				
OK-2 (9 % Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –81% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,509	32,267	5,179	30,045	29,0
	<b>ВОНР-3</b>				
OK-3 (8,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –76,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,227	29,677	7,565	30,531	29,0
	<b>ВОНР-4</b>				
OK-4 (8% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –72% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,96	27,219	9,829	30,992	29,0
	<b>ВОНР-5</b>				
OK-5 (7% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –63% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,429	22,342	19,831	31,398	30,0
	<b>ВОНР-6</b>				
OK-6 (5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –45% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,582	14,546	21,012	32,859	30,0

Состав ОК	Состав раствора БОHP, % масс.				
	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	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
<b><math>\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})=0,2</math></b>	BOHP-7				
OK-7 (19% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –76% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,625	31,164	2,665	29,545	29,0
	BOHP-8				
OK-8 (18% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –72% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,029	28,727	5,187	30,057	29,0
	BOHP-9				
OK-9 (17% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –68% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,464	6,418	7,576	30,542	29,0
	BOHP-10				
OK-10 (16% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –64% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,928	24,227	9,842	31,003	29,0
	BOHP-11				
OK-11 (14% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –56% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,865	19,881	13,846	31,408	30,0
	BOHP-12				
OK-12 (15% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –35% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,166	12,939	21,027	32,867	30,0
<b><math>\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})=0,3</math></b>	BOHP-13				
OK-13 (28,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –66,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11,458	27,316	2,67	29,556	29,0
	BOHP-14				
OK-14 (27% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –63% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10,56	25,176	5,195	30,067	29,0

Состав ОК	Состав раствора БОHP, % масс.				
	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	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
	BOHP-15				
OK-15 (25,5% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –59,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,71	23,149	7,587	30,554	29,0
	BOHP-16				
OK-16 (24% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –56% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8,904	21,227	9,856	31,014	29,0
	BOHP-17				
OK-17 (21% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –49% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,409	17,664	14,059	31,867	29,0
	BOHP-18				
OK-18 (15% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –35% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –50% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,753	11,33	21,042	32,875	30,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1

Состав и режимы переработки растворов ВОНР, свойства полученных оксидных композиций, моделирующих в воздушно-плазменном потоке плазмохимического синтеза уран-плутониевого дисперсионного ядерного топлива

Состав ОК	Состав ВОНР					Режимы переработки ВОНР		Лазерная дифракция ОК	БЭТ-анализ ОК		По данным 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	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O, г/л	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, % масс.	<i>f</i> <sub>φ</sub> , Гц	<i>Q</i> <sub>отв</sub> , кг/с	<i>D</i> <sub>50</sub> , мкм	<i>S</i> , м <sup>2</sup> /Г	<i>D</i> <sub>bet</sub> , нм	<i>ρ</i> <sub>нас</sub> , г/см <sup>3</sup>	<i>ρ</i> <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-2 (81,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –9,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-2	264,0	28,7	42,4	64,3	50	2,8	12,1	5,5	147	0,484	6,5
ОК-4 (72,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –8,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-4	234,7	25,5	84,8	64,1	50	2,8	11,4	5,5	148	0,441	5,9
ОК-5 (63,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –7,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-5	205,4	22,3	127,2	63,9	50	2,8	11,2	7,8	115	0,407	6,3
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Sm}_2\text{O}_3) = 0,3$												
ОК-14 (63,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –27,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-14	205,4	86,1	42,4	64,3	50	2,8	13,6	6,9	118	0,429	5,9
ОК-16 (56,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –24,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-16	182,5	76,5	84,8	64,1	50	2,8	10,3	7,9	103	0,425	5,7
ОК-17 (49,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –21,0% Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-17	159,7	67,0	127,2	63,9	50	2,8	10,2	8,6	93	0,416	5,6

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1

### Матрица SWOT

	<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 проведении научного исследования.</p> <p><b>С8.</b> Использование урана-238, плутония-239, тория-232.</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>
<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>		

<b>B5.</b> Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.		
<b>Угрозы:</b> <b>У1.</b> Развитая конкуренция технологии производства. <b>У2.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства. <b>У3.</b> Неудача эксперимента. <b>У4.</b> Несвоевременное финансовое обеспечение.		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1

### Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
B1	-	0	-	-	-	-	-	+
B2	-	-	-	-	-	-	-	+
B3	+	+	0	0	-	+	-	+
B4	0	-	-	-	-	-	-	-
B5	+	0	0	+	+	-	+	+

Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
B1	-	-	-	-	-
B2	-	-	-	-	-
B3	0	+	+	-	-
B4	-	0	0	-	-
B5	0	+	-	+	+

Сильные стороны проекта								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
У1	+	+	+	+	+	+	-	+
У2	+	0	+	+	+	-	+	-
У3	-	-	0	0	+	-	-	0
У4	-	0	-	-	+	-	-	0

Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
У1	0	-	+	-	-
У2	0	+	0	-	-
У3	+	+	-	+	0
У4	+	0	0	0	0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1

### SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>С1.</b> Одностадийность получения;</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 проведении научного исследования.</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>
<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> <p>1. ДЯТ, полученное плазмохимическим синтезом, совершеннее используемого сейчас ЯТ.</p> <p>2. Россия обладает сравнительно небольшими запасами урана-235, поэтому в недалеком будущем необходимо будет менять/усовершенствовать использующуюся технологию производства ЯТ.</p> <p>3. В случае успеха удастся переработать часть захороненного топлива.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</b></p> <p>1. Повышение спроса на данную продукцию обеспечит приток кадров.</p> <p>2. Использование научно-исследовательского потенциала ТПУ позволит подобрать необходимую композицию.</p>

	<p>4. При благоприятном раскладе станет возможным строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.</p>	
<p><b>Угрозы:</b>  <b>У1.</b> Развитая конкуренция технологии производства.  <b>У2.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства.  <b>У3.</b> Неудача эксперимента.  <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> <li>2.</li> </ol>

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица Е.1

Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , 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

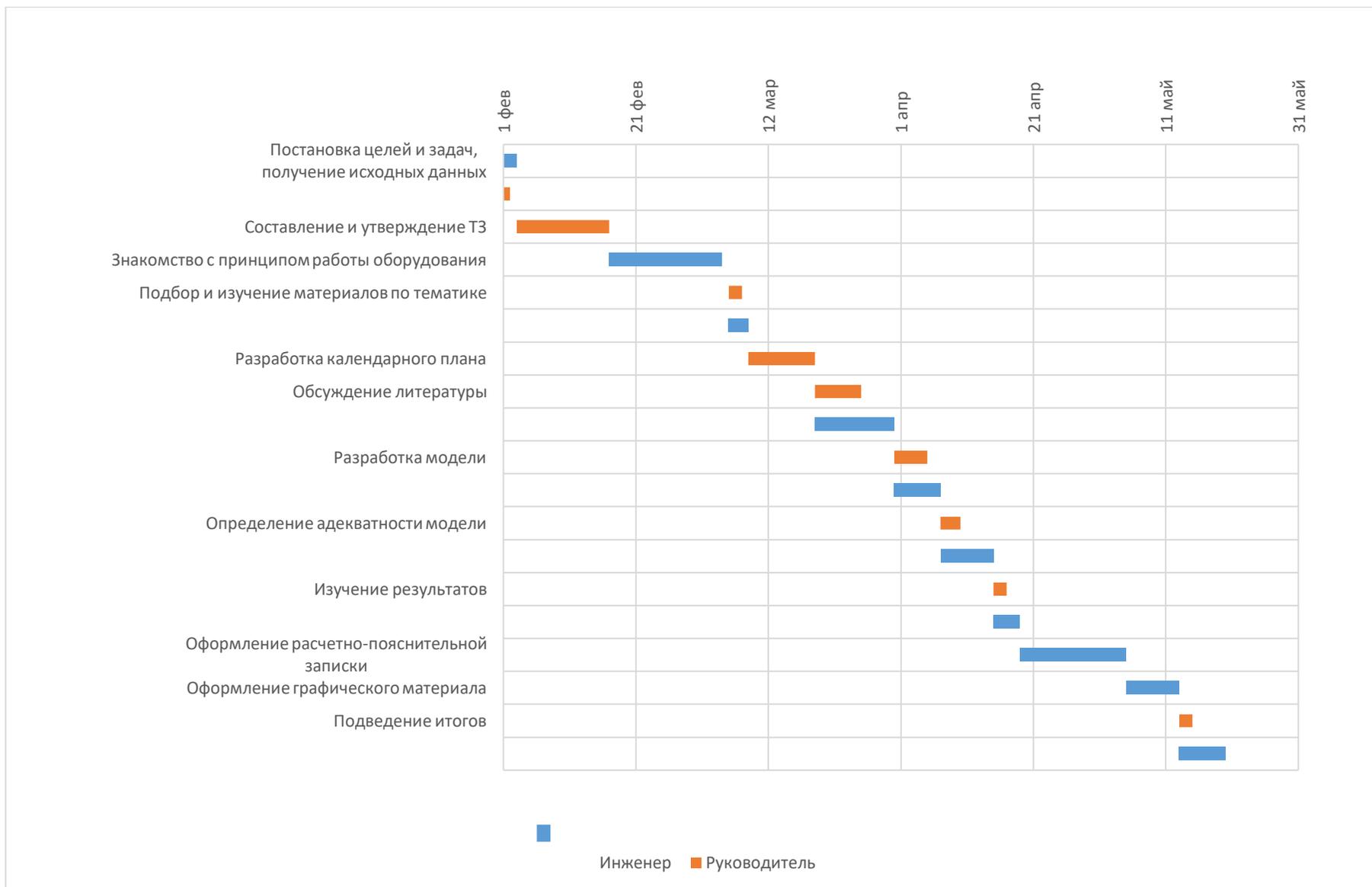


Рисунок Е.1 – Диаграмма Гантта