

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 из водно-органических нитратных растворов неодима, церия и магния

УДК 661.01:533.9:661.56.061.1:661.8'02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АБД	Зотов Евгений Эдуардович		25.02.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯШТ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н., доцент		25.02.2020

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Е.С. Киселева	к.э.н.		25.02.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		25.02.2020

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯШТ	П.Н. Бычков	к.т.н.		25.02.2020

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

<b>Код результ ата</b>	<b>Результат обучения (компетенции)</b>
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

	<p>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.</p>
P11	<p>Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.</p>
P12	<p>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 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	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
-----	---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии  
 Отделение школы 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	Зотову Евгению Эдуардовичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима, церия и магния	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/с от 28.02.2020 г.

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима-оксид церия-оксид магния». Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор и анализ способов получения оксидных композиций. 2. Определение составов водно-органических растворов, включающих органический компонент и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. 3. Термодинамический расчет и оптимизация процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций требуемого состава. 4. Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда и получение порошков оксидных композиций. 5. Исследование физико-химических свойств полученных порошков. 6. Выводы по работе. Заключение
---	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ А.Г. Каренгин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Е.С. Киселева

Социальная ответственность ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Зотов Евгений Эдуардович		17.01.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Зотову Евгению Эдуардовичу

<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 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.	Стоимость расходных материалов; тариф на электроэнергию, должностные оклады исполнителей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.	Срок окупаемости; премии; надбавки; дополнительная заработная плата; накладные расходы; рабочий коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Ставки НДС и социального налога.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Оценка осуществляется на основе анализа конкурентных технических решений, а также SWOT-анализа.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.	Основой для формирования и планирования бюджета являются заработная плата исполнителей, страховые отчисления и накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	Оценка эффективности осуществляется на основе расчета ресурсного показателя эффективности научного исследования.
4. Планирование графика выполнения работ в рамках проекта.	Планирование графика выполнения работ в рамках проекта в форме диаграммы Ганта.

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. оценочная карта;</li> <li>2. матрица Swot-анализа;</li> <li>3. календарный план-график проведения НИИ;</li> </ol>
---

4. бюджет затрат НИИ;
5. диаграмма Ганта.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	КиселеваЕ.С.	к.э.н.		28.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Зотов Евгений Эдуардович		28.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Зотову Евгению Эдуардовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима, церия и магния	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Исследование процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива плутоний-ториевого цикла. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной плазменной технологии для дисперсного ядерного топлива.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ;</li> <li>– ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение параметров микроклимата;</li> <li>– вредные вещества;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– шум и вибрация;</li> <li>– психофизиологические факторы;</li> <li>– электрический ток.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду;</li> <li>– разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ типичной ЧС – пожар в рабочем помещении;</li> <li>– превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Зотов Евгений Эдуардович		13.04.2020

Оглавление	
Введение .....	18
1. Обзор литературы.....	19
1.1 Методы получения оксидных композиций .....	19
1.1.1 Получение и свойства оксида неодима .....	19
1.1.2 Получение и свойства оксида самария.....	19
1.1.3 Получение и свойства и оксида магния.....	20
1.2 Золь-гель процесс .....	21
1.3 Микроволновая технология получения оксидных композиций ....	22
1.4 Микроволновая плазменная технология получения оксидных композиций.....	23
1.5 Плазмохимический синтез оксидных композиций.....	25
2. Расчетная часть.....	26
2.1. Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов .....	26
2.2. Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР .....	27
3 Экспериментальная часть .....	32
3.1 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона.....	32
3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона.....	34
3.3 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазматрона.....	36
3.4 Плазменная переработка растворов ВОНР .....	41
3.5. Определение физико-химических свойств полученных порошков .....	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4.1 Анализ конкурентных технических решений.....	45

4.2 SWOT-анализ .....	48
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	55
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	55
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	57
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	58
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	61
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	62
4.4.2 Расчет амортизационных расходов .....	63
4.4.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования .....	65
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	68
4.4.5 Накладные расходы .....	69
4.5 Определение ресурсной эффективности проекта .....	70
4.6 Оценка экономической эффективности проекта .....	73
5 Социальная ответственность .....	73
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	74
5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	75
5.2. Производственная безопасность.....	78
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов .....	78
5.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	79
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	79
5.2.2 Вредные вещества .....	80
5.2.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	81
5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	82
5.2.5 Превышение уровня шума .....	83

5.2.6 Психофизиологические факторы.....	84
5.2.7 Поражение электрическим током .....	84
5.3 Экологическая безопасность.....	87
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	87
5.4.1 Анализ типичной ЧС .....	87
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС .....	89
Выводы.....	91
Заключение .....	92
Список использованной литературы.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	102

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 66 страниц, 6 рисунков, 11 таблиц, 4 приложения.

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 в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, церия и магния и анализ их физико-химических свойств.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов неодима, церия и магния; термодинамические расчеты процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР в воздушной плазме; измерение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона; исследование физико-химических свойств полученных порошков оксидных композиций.

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

Область применения: результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, церия, магния и других металлов.

## Определения

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

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

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

**Наноразмерный порошок** – порошок, размер частиц которого менее 100 нм.

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

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

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

## Обозначения и сокращения

**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.

## Введение

В настоящее время на большинстве атомных электростанций используют керамическое ядерное топливо из диоксида урана обогащенного по урану-235. У этого топлива существует ряд недостатков такие как: низкая теплопроводность, хрупкость и склонность к растрескиванию, небольшой ресурс урана-235. В связи с этим перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива. В этом топливе делящиеся металлы в виде оксидных композиций размещаются в матрице, которая имеет высокую теплопроводность [1].

Традиционные технологии получения оксидных композиций такие как микроволновая технология получения оксидных композиций, микроволновая плазменная технология получения оксидных композиций, золь-гель процесс содержат ряд недостатков: многостадийность, неравномерное распределение фаз в продукте, большая стоимость переработки сырья и большое количество используемых реагентов.

Преимущества плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций из смешанных водных нитратных растворов: высокая скорость процесса, гомогенное распределение фаз, одностадийность [3].

## 1.Обзор литературы

В данном разделе рассмотрены некоторые методы получения дисперсных порошков, а также получение и физико-химические свойства оксидов неодима, церия и магния.

### 1.1 Методы получения оксидных композиций

#### 1.1.1 Получение и свойства оксида неодима

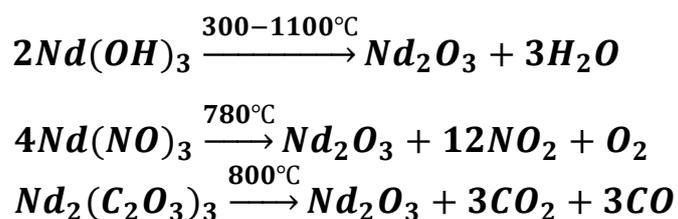
Оксид неодима III ( $Nd_2O_3$ ) – неорганическое бинарное соединение кислорода и неодима, кристаллы фиолетового цвета нерастворимые в воде. Физические и химические свойства приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1

Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см <sup>3</sup>	T <sub>пл</sub> , °C	T <sub>кип</sub> , °C	Растворимость в воде, кг/100 мл
336,48	7,24	1900	3760	0,0019

Оксид неодима III получают при нагревании неодима на воздухе, при этом неодим очень быстро окисляется. При нагревании активно реагирует с галогеном, водородом, серой, азотом и другими не металлами.

Помимо этого оксид неодима получают при разложении гидроксида, аксалата или нитрата неодима:

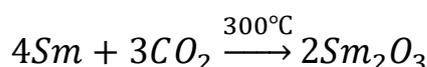


#### 1.1.2 Получение и свойства оксида самария

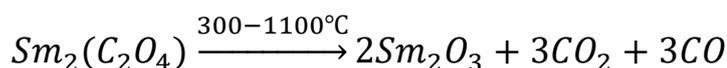
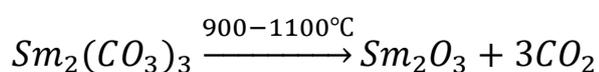
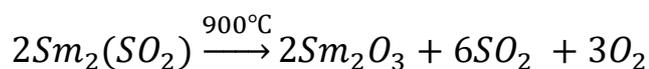
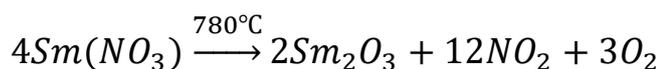
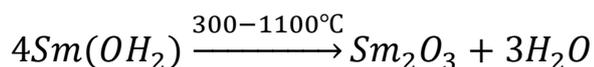
Оксид самария(III) — бинарное неорганическое соединение металла самария и кислорода с формулой  $Sm_2O_3$ . Оксид самария представляет из себя светло-жёлтые кристаллы, нерастворимые в холодной воде. Однако он хорошо реагирует с горячей водой.

Оксид самария(III) образует светло-жёлтые кристаллы кубической сингонии, пространственная группа  $F a_3$ , параметры ячейки  $a=1,09$  нм,  $Z=16$ .

Сгорание самария на воздухе:



Разложение гидроксида, нитрата или оксалата самария происходит по следующей схеме:



Кристаллогидрат состава  $Sm(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  образует красно-фиолетовые кристаллы триклинной сингонии, имеющих пространственную группу  $P 1$ , параметры ячейки  $a = 0,9307$  нм,  $b = 1,1747$  нм,  $c = 0,6776$  нм,  $\alpha = 91,11^\circ$ ,  $\beta = 112,24^\circ$ ,  $\gamma = 109,15^\circ$ ,  $Z = 2$  [2-4].

### 1.1.3 Получение и свойства и оксида магния

Оксид магния ( $MgO$ ) – химическое соединение кислорода и магния, слабо растворимые в воде белые кристаллы. Химические и физические свойства приведены в таблице 1.2. При реакции с солями образуются, при взаимодействии с холодной водой образуется гидроксид.

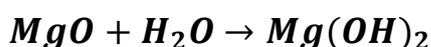
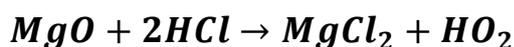
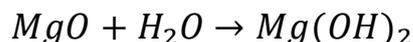
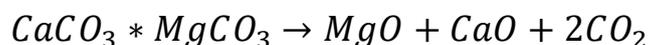


Таблица 1.2

Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см <sup>3</sup>	T <sub>пл</sub> , °C	T <sub>кип</sub> , °C	Растворимость в воде, кг/100 мл
40,3	3,58	2852	3600	0,0086

Оксид магния получают обжигом минералов доломита и магнезита.



## 1.2 Золь-гель процесс

Еще один метод получения порошков называется золь-гель процесс. Метод основывается на применении коллоидных растворов. Коллоидные растворы состоят из твердых наноразмерных частиц, диспергированных в жидкой фазе. Процесс состоит из трех основных этапов: приготовление коллоидных растворов диоксида урана (золя), удаление воды с образованием твердых частиц и прокаливание[4].

Для получения коллоидных растворов применяют методы диализа, электродиализа, пептизации и экстракции аминами. Чтобы частицы получались сферической формы гелеобразование, проводят диспергированием золя в органическую жидкую фазу. Под действием сил поверхностного натяжения происходит образование микросфер. Благодаря тому, что полученный золь-гель состоит из высокоактивных кристаллов можно снизить температуру спекания на 200-300 °C по сравнению с используемой для получения диоксида урана.

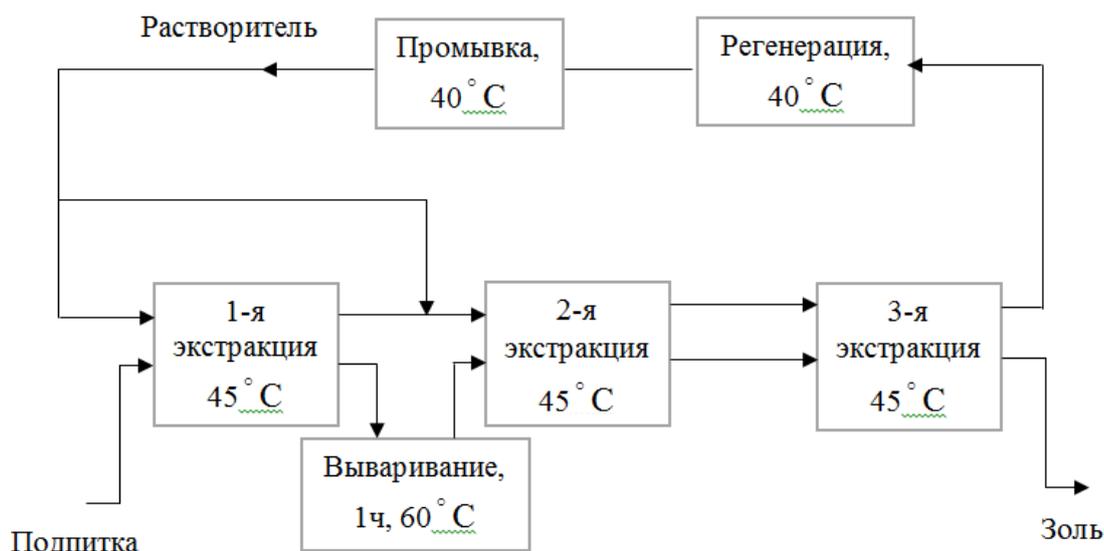


Рисунок 1.1 Схема золь-гель процесса

Для приготовления микросфер исходным материалом являются азотнокислые растворы урана. Существует несколько вариантов золь-гель процесса. В одном методе золь диоксида урана получают благодаря экстракционному процессу, основанному на том, что амины способны экстрагировать комплексы металлов и кислоты из водных растворов. Амины, которые содержат уран, используют для приготовления коллоидных суспензий и денитрации [5]. Преимущества использования золь-гель процесса заключается в том, что он не требует высокотемпературных печей для получения спекания смешанного топлива высокой плотности.

Золь-гель процесс обладает следующими недостатками: необходимость использования химических реагентов, низкая производительность, многостадийность и высокая себестоимость.

### 1.3 Микроволновая технология получения оксидных композиций

Этот метод основан на реакции осаждения продукта реакции из раствора исходных веществ. Под действием микроволнового излучения энергия микроволн переходит к исходному материалу, в результате чего энергия электрического поля преобразуется в тепло. Эффективность преобразования пропорциональна частоте и квадрату напряженности

электрического поля. При определенном уровне напряженности электрического поля происходит пробой, поэтому увеличивать ее значение произвольно нельзя. Для увеличения удельной энергии, диссипируемой в нагреваемом теле, можно увеличивать частоту вплоть до микроволнового диапазона. Для удаления влаги из различных конденсированных систем используется микроволновое излучение на частотах 915 и 2450 МГц. Излучение на этих частотах хорошо поглощается влагой. Нитратные растворы тория, урана и плутония поглощают микроволновое излучение, при этом происходит испарение воды. Гидраты нитратных солей нагревается и разлагаются, образуя оксидные композиции и оксиды. Микроволновые установки различного уровня мощности используются для получения смешанного уран-плутониевого топлива путем микроволнового нагрева смешанного U-Pu-раствора [6].

#### **1.4 Микроволновая плазменная технология получения оксидных композиций**

На рисунке 2 приведена схема микроволновой плазменной установки. Микроволновые генераторы плазмы 1 с частотой генераторов 2450 МГц создают потоки электромагнитной. Эти потоки проходят через диэлектрические развязки 3 и при входе в круглый волновод 4 преобразуются в электромагнитную волну. В круглом волноводе возникает разряд стабилизированный потоком воздуха, подаваемый в волновод через фильтр 5 с помощью компрессора 6. После ввода сырья этот волновод превращается в плазменный реактор. Раствор подается в плоскости, которые располагаются ниже ввода волноводов 2 в круглый волновод через коллектор 7. Некоторое количество ультразвуковых распылителей раствора находится в коллекторе.

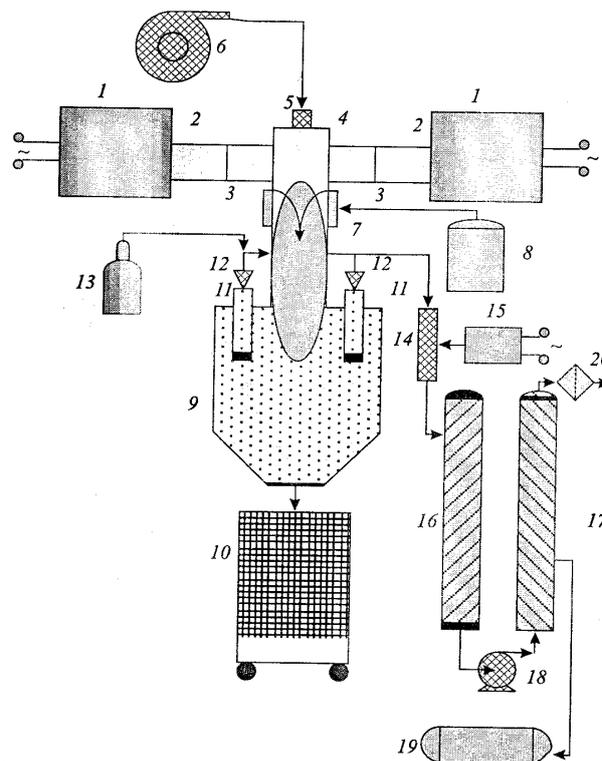


Рисунок 1.2 Схема микроволновой плазменной установки для переработки нитратного раствора обогащенного по изотопу U-235

Капли раствора обладающие размером 2 и 5 мкм получают с помощью использования частот 2,5 МГц и 750 кГц соответственно. С помощью регуляции мощности пьезоэлектрического преобразователя можно контролировать производительность распылителей.

Диспергированные в плазму капли раствора разлагаются через возникновение промежуточных состояний. Распыление частиц близких по размеру позволяет получить дисперсный материал с близкими размерами частиц. Частицы раствора не подверженные вторичному дроблению при взаимодействии с потоком плазмы устойчивы к вторичному дроблению.

Металлокерамический фильтр 11 изготовлен из порошка нержавеющей стали. Этот фильтр служит для улавливания частиц оксидных композиций и оксидов. Электромагнитные клапаны 12 позволяют всем фильтрам регенерировать в непрерывном режиме. Смещение двух фаз в ресивере 13 позволяет снизить расход регенерирующего газа.

В приемный фильтр 9 подают тонкодисперсный порошок. Далее этот

порошок загружают в транспортный контейнер 10. Через озонатор 14, имеющий источник электропитания 15 проходят нитрозные газы. При помощи насосы 18 газы прокачиваются через конденсатор 16 и адсорбер 17. Адсорбер служит для регенерации азотной кислоты, которую затем накапливают в сборнике 19. Санитарный фильтр 20 очищает газовый выхлоп.

Такие установки обеспечивают производительность в несколько килограммов в час оксидной композиции, работая на плазменном реакторе мощностью 10-30 кВт. При мощности более 100 кВт возможно получение нескольких десятков килограммов в час.

### 1.5 Плазмохимический синтез оксидных композиций

Плазмохимический синтез оксидных композиций из смешанных водных нитратных растворов проходит в 4 этапа. На первом этапе исходный раствор диспергируется на капли и подается в плазменный реактор. В этом реакторе раствор смешивается с потоком плазмы. На втором этапе происходит перемешивание диспергированных капель в теплоносителе, в качестве которого используется воздух, затем происходит нагрев капель до температуры кипения и испарения из них воды. На третьем происходит термическое разложения солей и на четвертом образование оксидных композиций.

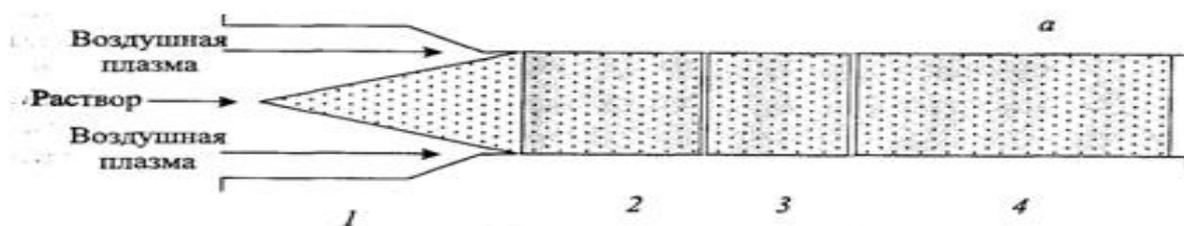


Рисунок 1.3 Схема установки для плазмохимического синтеза оксидных композиций

## 2. Расчетная часть

### 2.1. Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов

Композиции с низшей теплотворной способностью называются жидкими горючими композициями  $Q_H^P \geq 8,4$  МДж/кг. Для ВОНР низшая теплотворная способность:

$$Q_H^P = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_H^C}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}$$

где  $Q_H^P$  – низшая теплотворная способность горючего компонента, МДж/кг;  $W$  – содержание воды,  $A$  – содержание негорючих веществ в композиции, %; Коэффициент 2,5 учитывает скрытую теплоту испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Жидкие композиции могут становятся горючими при достижении низшей теплотворной способности  $Q_H^P \geq 8,4$  МДж/кг [4].

В данной работе были проведены исследования на модельных нитратных растворах. Для подготовки модельных растворов ВОНР были использованы соли  $Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  (имитатор нитрата урана) и  $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  (имитатор нитрата тория). Эти соединения используются потому, что в растворах они формируют ионы со схожими свойствами.

В качестве горючего компонента был использован ацетон, обладающий высокой теплотворной способностью, взаимной растворимостью доступностью. В таблице 2.1 приведены значения низшей теплотворной способности  $Q_{сн}$  различных жидких органических веществ, которые могут быть использованы в качестве органического компонента в составе водно-органических нитратных растворов [7].

Таблица 2.1 Показатели горючести органических веществ

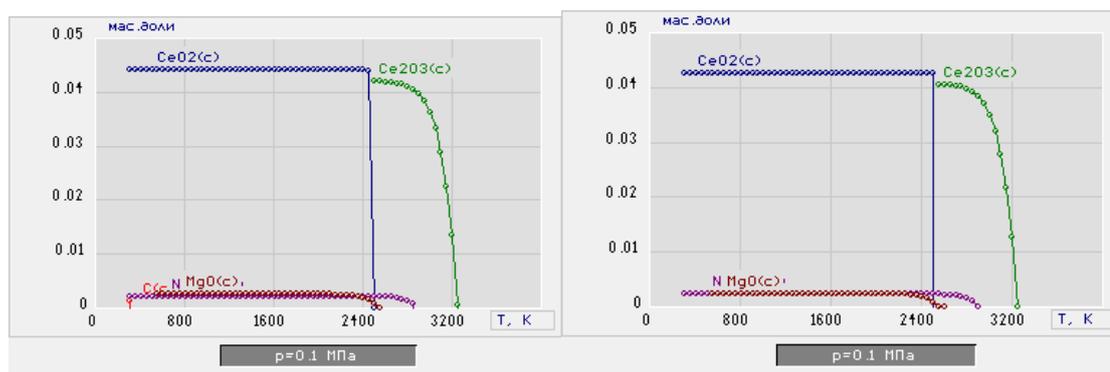
Параметр	Вещество				
	Метанол	Этанол	Пропанол	Бутанол	Ацетон
$Q_H^c$ , МДж/кг	19,9	26,8	31,4	33,5	31,5
$T_{\text{вспышки}}$ , °С	284	285	285	302	254
$T_{\text{самовоспл.}}$ , °С	658	619	673	618	738

В качестве горючего компонента был использован ацетон, обладающий высокой теплотворной способностью, взаимной растворимостью и доступностью.

## 2.2. Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР

Были проведены расчеты равновесных составов продуктов плазменной переработки водно-органических нитратных растворов, с помощью программы «TERRA». При расчетах использовалось давление 0,1 МПа, температуры от 300 до 3000К и массовые доли воздушного теплоносителя от 10% до 90%.

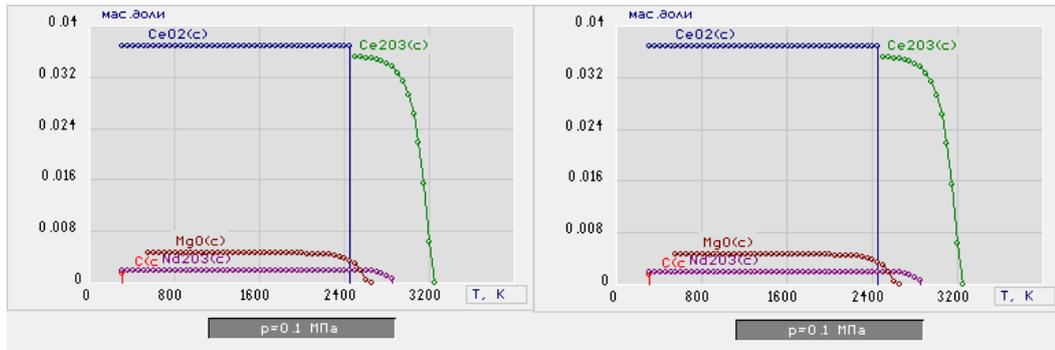
На рисунках 2.1-2.9 представлены равновесные составы продуктов плазменной переработки растворов ВОНР на основе ацетона при массовой доле воздуха 68 % и 69 % и для  $\alpha = Nd/(Nd+Ce) = 0,1$ .



а)

б)

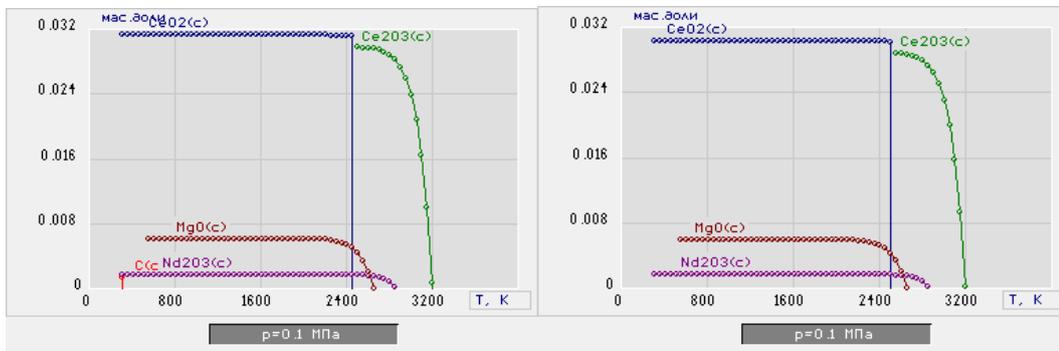
Рисунок 2.1– Влияние температуры на состав продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1 в конденсированных фазах при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б). (MgO – 5 %)



а)

б)

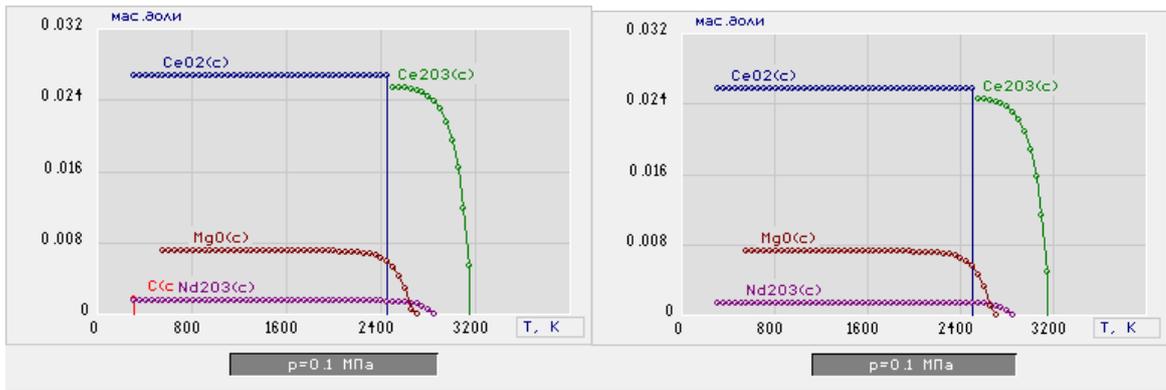
Рисунок 2.2– Влияние температуры на состав продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-2 в конденсированных фазах при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б). (MgO – 10 %)



а)

б)

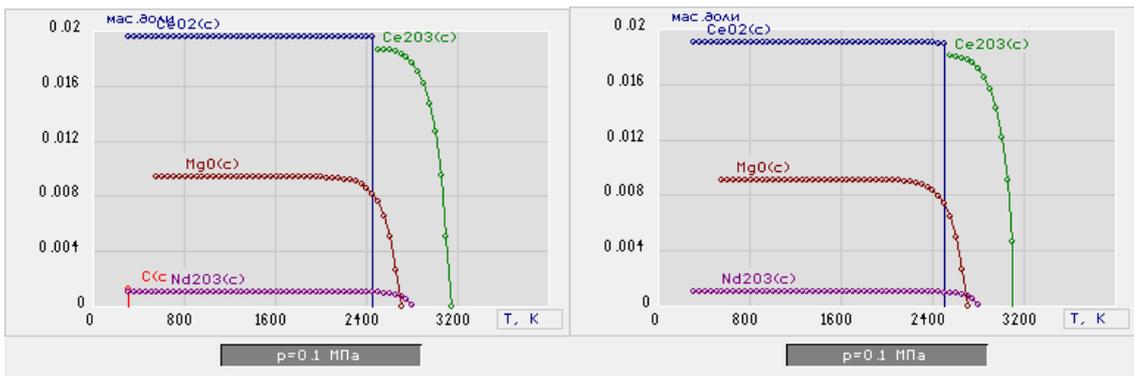
Рисунок 2.3– Влияние температуры на состав продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-3 в конденсированных фазах при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б). (MgO – 15 %)



а)

б)

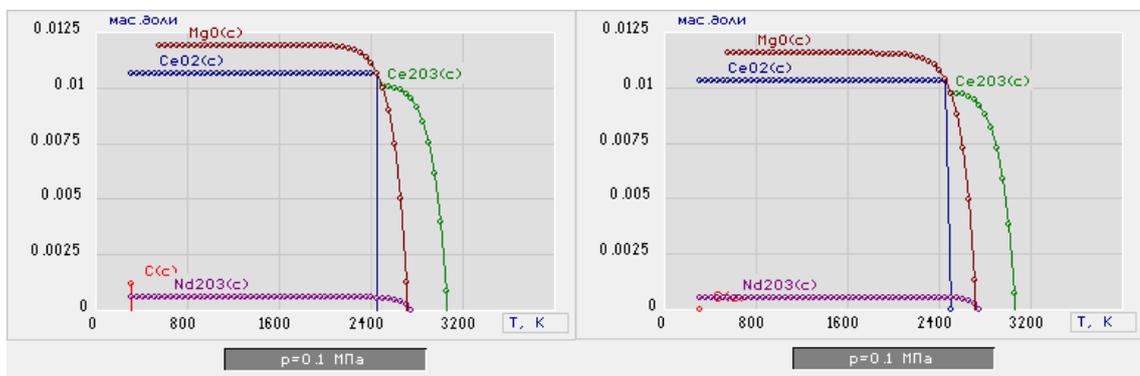
Рисунок 2.4– Влияние температуры на состав продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-4 в конденсированных фазах при массовой доле воздуха 68 % (а) и 69 % (б). (MgO – 20 %)



а)

б)

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



а)

б)

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

Из анализа равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР-1÷6 на основе ацетона (рис. 2.1÷2.6) следует, что при массовой доле воздуха 68 % основными продуктами в конденсированных фазах являются оксиды  $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{с})$ ,  $\text{CeO}_2(\text{с})$  и  $\text{MgO}(\text{с})$ , которые образуют требуемые оксидные композиции ОК-1÷18. При этом также образуется углерод в конденсированной фазе. При массовой доли воздуха ниже 69% количество углерода резко возрастает. Увеличение массовой доли воздуха с 68 % до 69 % не приводит к образованию углерода  $\text{C}(\text{с})$  и не влияет на состав целевых продуктов. Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 69 % приведет лишь к уменьшению содержания целевых продуктов и снижению производительности данного процесса.

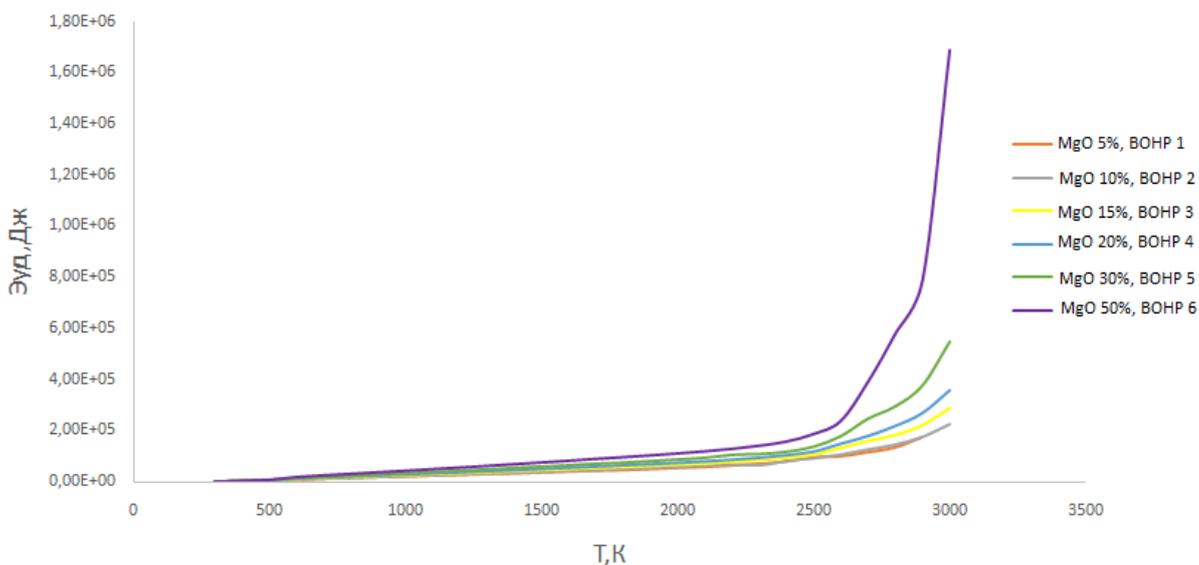


Рисунок 2.7 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-1÷6 из растворов ВОНР-1÷6 при  $\alpha=0,1$

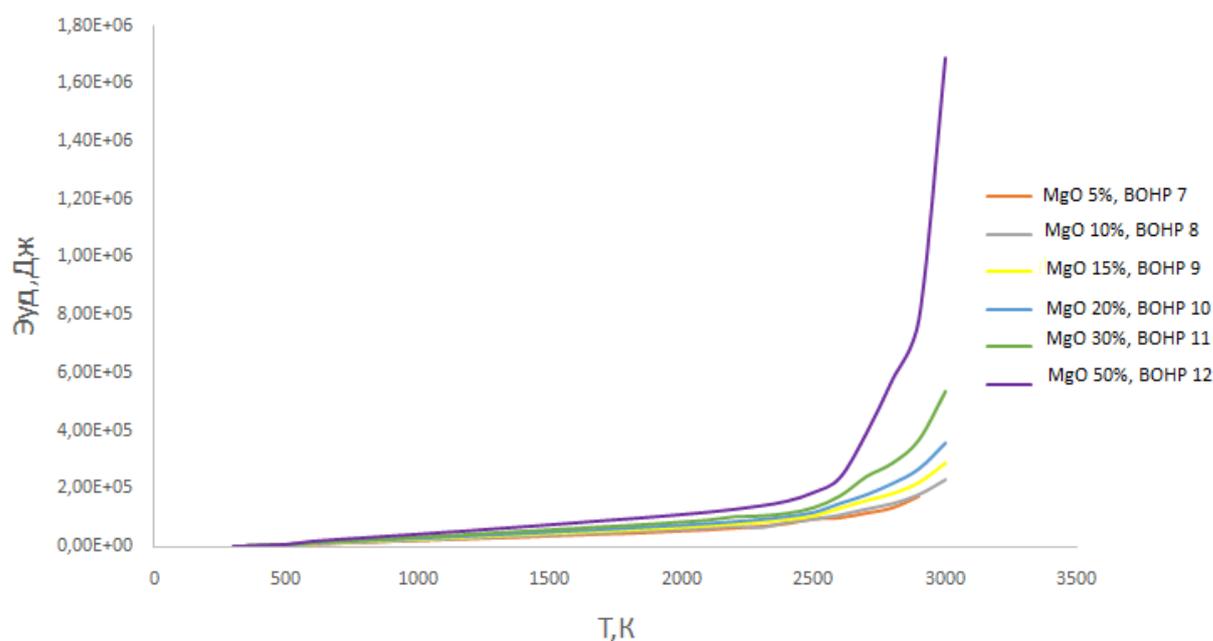


Рисунок 2.8 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК-7÷12 из растворов ВОHP-7÷12 при  $\alpha=0,2$ .

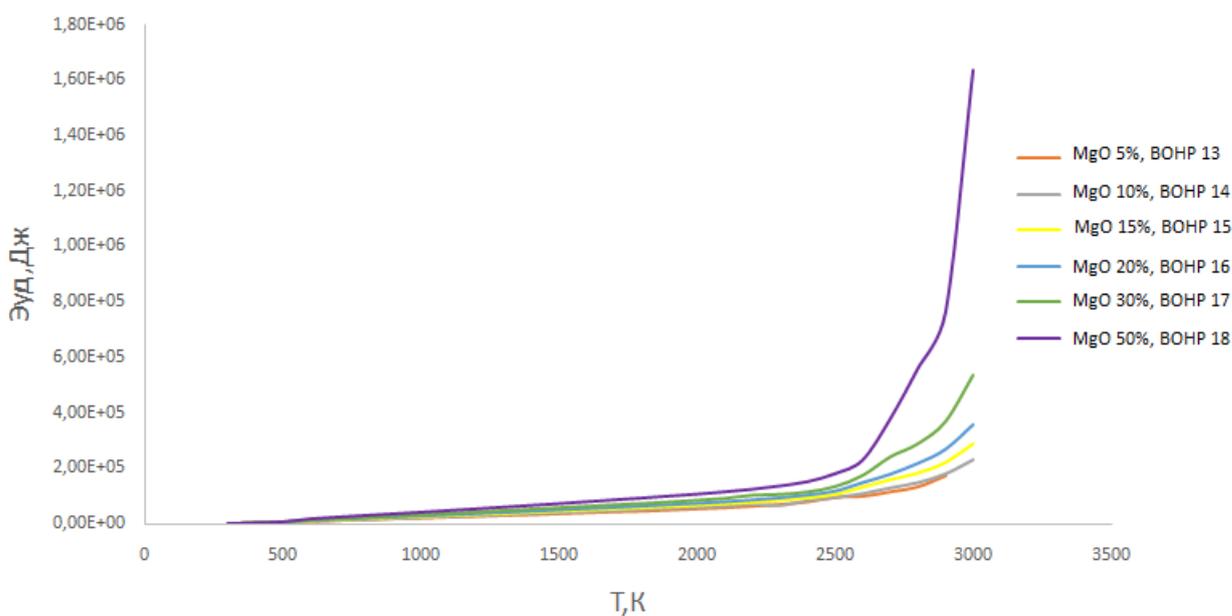


Рисунок 2.9 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза ОК-13÷18 из растворов ВОHP-13÷18 при  $\alpha=0,3$

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

Таблица 2.2 Влияние содержания матрицы MgO на удельные энергозатраты на получение 1 кг оксидной композиции при различных значениях  $\alpha$ .

Таблица 2.2

<b>ВОНР</b>	<b>Z</b>	<b>Э<sub>уд</sub>, МДж</b>
ВОНР-1 ( $\alpha=0,1$ )	0,042	84,51
ВОНР-2 ( $\alpha=0,1$ )	0,039	97,03
ВОНР-3 ( $\alpha=0,1$ )	0,034	111,45
ВОНР-4 ( $\alpha=0,1$ )	0,028	121,60
ВОНР-5 ( $\alpha=0,1$ )	0,024	156,82
ВОНР-6 ( $\alpha=0,1$ )	0,018	215,05
ВОНР-7 ( $\alpha=0,2$ )	0,042	85,92
ВОНР-8 ( $\alpha=0,2$ )	0,038	98,64
ВОНР-9 ( $\alpha=0,2$ )	0,038	109,27
ВОНР-10 ( $\alpha=0,2$ )	0,031	122,59
ВОНР-11 ( $\alpha=0,2$ )	0,025	146,16
ВОНР-12 ( $\alpha=0,2$ )	0,018	218,85
ВОНР-13 ( $\alpha=0,3$ )	0,041	86,25
ВОНР-14 ( $\alpha=0,3$ )	0,038	99,62
ВОНР-15 ( $\alpha=0,3$ )	0,033	111,06
ВОНР-16 ( $\alpha=0,3$ )	0,028	124,16
ВОНР-17 ( $\alpha=0,3$ )	0,023	148,83
ВОНР-18 ( $\alpha=0,3$ )	0,017	221,83

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

### **3 Экспериментальная часть**

#### **3.1 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона.**

Экспериментальные исследования процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР проводились на плазменном стенде, схема которого представлена на рисунке 3.1.

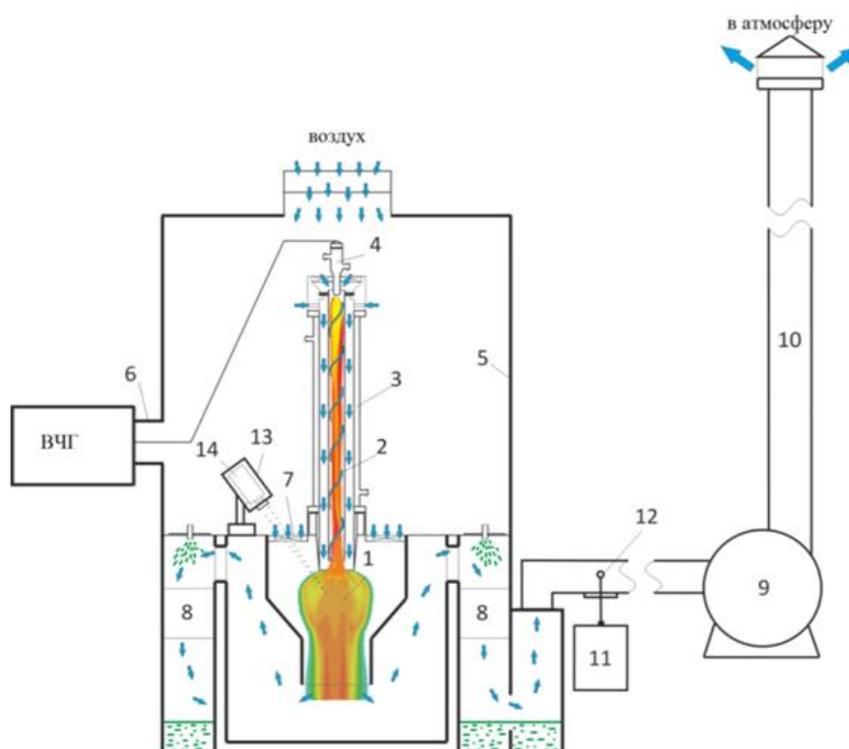


Рисунок 3.1 Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

Высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 имеет рабочую частоту 13,56 МГц и номинальную мощность до 60 кВт. От него через коаксиальный вывод 6 осуществляется передача энергии высокой частоты на медный водоохлаждаемый электрод 4, с которого возбуждается ВЧФ-разряд 2 в разрядной камере ВЧФ-плазмотрона 3. Разрядная камера плазмотрона представляет собой трубку из кварцевого стекла диаметром 60 мм и длиной 870 мм. Высокотемпературный вытяжной вентилятор 9 производит откачку воздуха через газодод из следующих узлов плазмохимической установки: ВЧФ-плазмотрон 3 и плазмохимический реактор. Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь  $S_{пр}=25 \text{ см}^2$ . Конструктивно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Над импеллером находится шибер 7, позволяющий контролировать расход прокачиваемого воздуха.

Входная площадь импеллера реактора Симпрегулируется в интервале 0–1650. Для контроля концентрации вредных газообразных веществ ( $\text{CO}$ ,

NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и др.) в отходящих газах используется газоанализатор 11, снабженный пробоотборником 12. При помощи газоанализатора и трубки Пито определялись такие параметры воздушного потока, как динамический, скорость и расход. Для контроля температуры воздушно-плазменного потока в плазмохимическом реакторе используется пирометр 14.

### 3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона.

Для оптимизации работы ВЧФ-плазматрона были определены потери тепловой мощности.

Мощность, потребляемая ВЧФ от промышленной сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a$$

где  $I_a$  – ток анода А;

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

Мощность, которая выделяется на аноде генераторной лампы:

$$P_a = C_p \cdot \Delta t_a \cdot m_a \cdot 4,186$$

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

$\Delta t_a$  – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

$C_p$  – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = C_p \cdot \Delta t_c \cdot m_a \cdot 4,186$$

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4,186$$

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4,186$$

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разб} = P_o - (P_a + P_c + P_{эл})$$

Мощность плазменной струи есть разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, выделяющейся на корпусе плазматрона:

$$P_{стр} = P_{разб} - P_{кп}$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_{пг}}$$

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

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta = \left( \frac{P_{стр}}{P_{разр}} \right) \cdot 100$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta = \left( \frac{P_{стр}}{P_0} \right) \cdot 100$$

Используя зависимость энтропии воздуха от температуры находим среднемассовую температуру плазменной струи (рисунок 3.2).

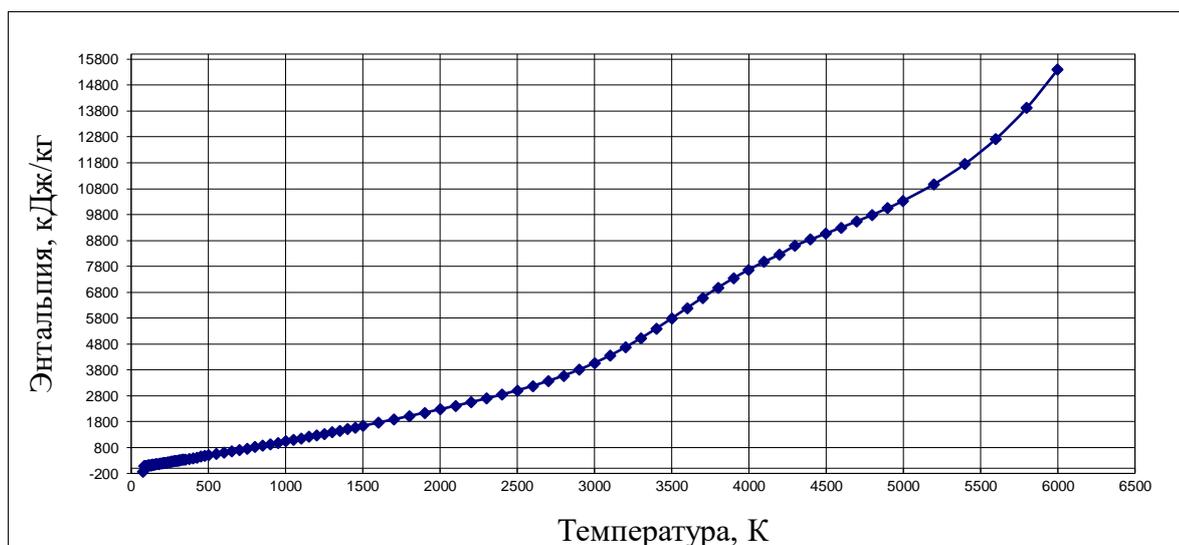


Рисунок 3.2 Зависимость энтальпии от температуры воздуха

Режимы работы ВЧФ-плазмотрона в составе плазменного стенда представлены в таблице Б1 и Б2 (приложение Б).

### 3.3 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Трубка Пито использовалась для измерения динамического напора потока воздуха, проходящего через газоход и разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона.

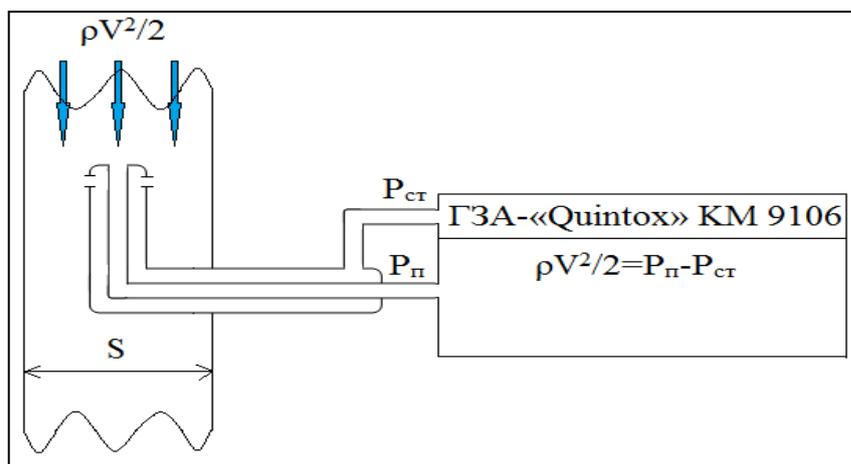


Рисунок 3.3 Схема измерения динамического напора потока воздуха

Трубка Пито измеряет динамический напор, создаваемый набегающим потоком воздуха по следующей формуле:

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

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

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

$\rho$  – плотность воздуха при температуре  $T$ ;

$f = (\rho V^2)/2$  – напор, создаваемый набегающим потоком воздуха.

Скорость набегающего потока:

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

Расход воздуха (как массовый, так и объёмный) через воздуховод определяется по формуле:

$$Q = S \cdot V$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения воздуховода.

Определение расхода воздушного теплоносителя через реактор определялось по формуле:

$$Q_p = Q_{\text{ГЗХ}} - Q_{\text{пл}}$$

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

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

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

Измерения динамического напора набегающего потока скорости плазмообразующего газа в процессе опытов производились при различной входной площади импеллера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора.

Для проведения анализа полученных данных построили зависимости динамического напора от входной площади импеллера реактора и объёмного расхода воздуха от входной площади импеллера реактора [10].

На рисунках 3.4 и 3.5 показано влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор воздушного потока в газоходе и массовый расход воздушного теплоносителя через газоход.

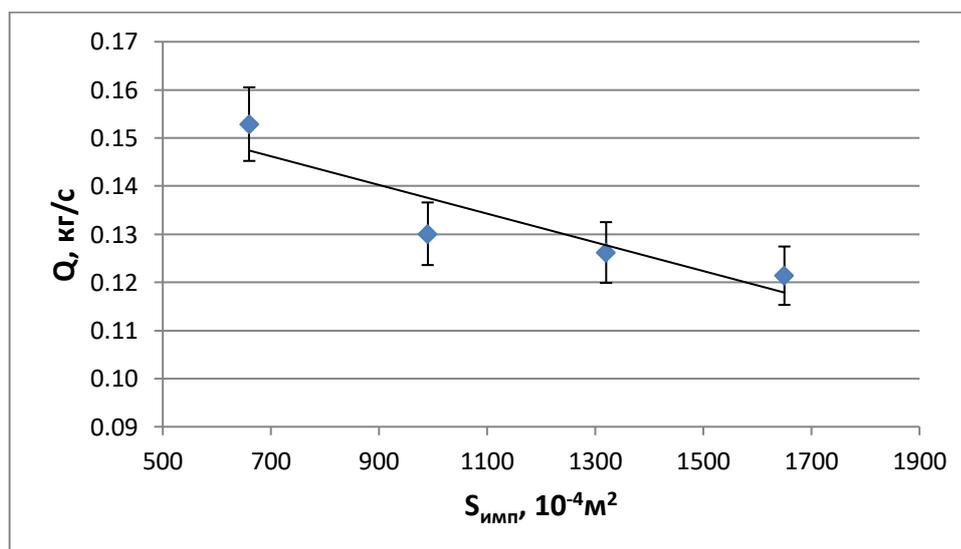


Рисунок 3.4 Влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор воздушного потока в газоходе

Анализируя полученную зависимость можно сделать вывод, что при увеличении площади импеллера реактора динамический напор и объемный расход воздуха через ВЧФ-плазматрон снижается

По полученным значениям построим зависимость расхода воздуха через газоход с узлом ввода ПГ от площади импеллера.

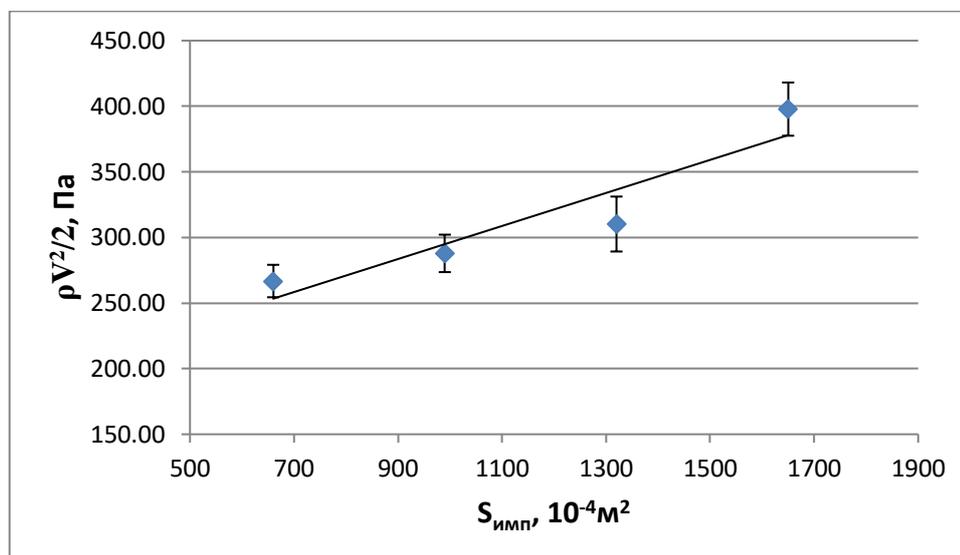


Рисунок 3.5 Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через газоход

Из анализа полученной зависимости следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к повышению динамического напора и объёмного расхода воздуха через газоход с узлом ввода.

На рисунке 3.6 показано влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазматрон.

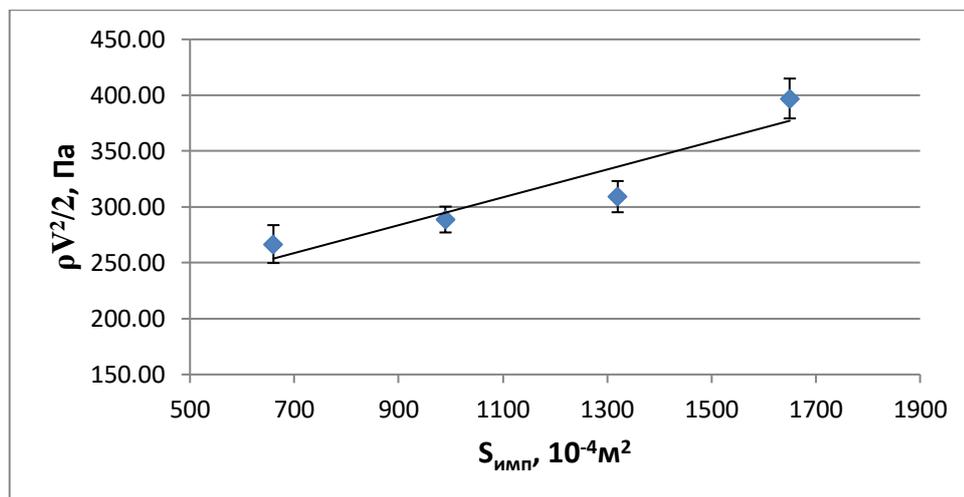


Рисунок 3.6 Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазматрон

Из анализа полученной зависимости следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к заметному понижению массового расхода воздуха через ВЧФ-плазматрон.

На рисунке 3.7 показано влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через реактор.

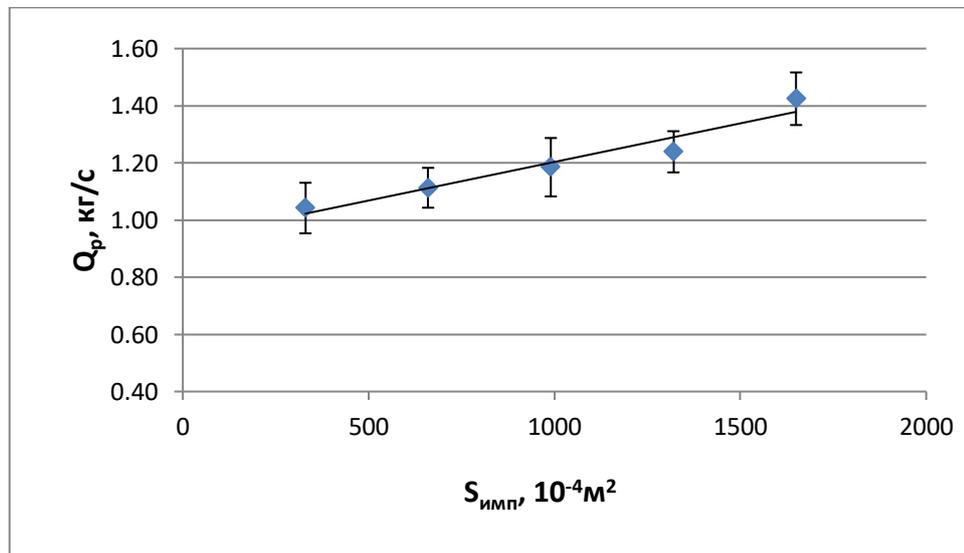


Рисунок 3.7 Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздуха теплоносителя через реактор

Из графика видно, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к заметному повышению массового расхода воздуха через реактор.

На рисунке 3.8 показано влияние входной площади импеллера реактора (Симп) на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, при различных режимах работы генератора ВЧГ8-60/13-01 ( $I_a=3,0$  А; 3,5 А; 4,0 А и ;4,5 А).

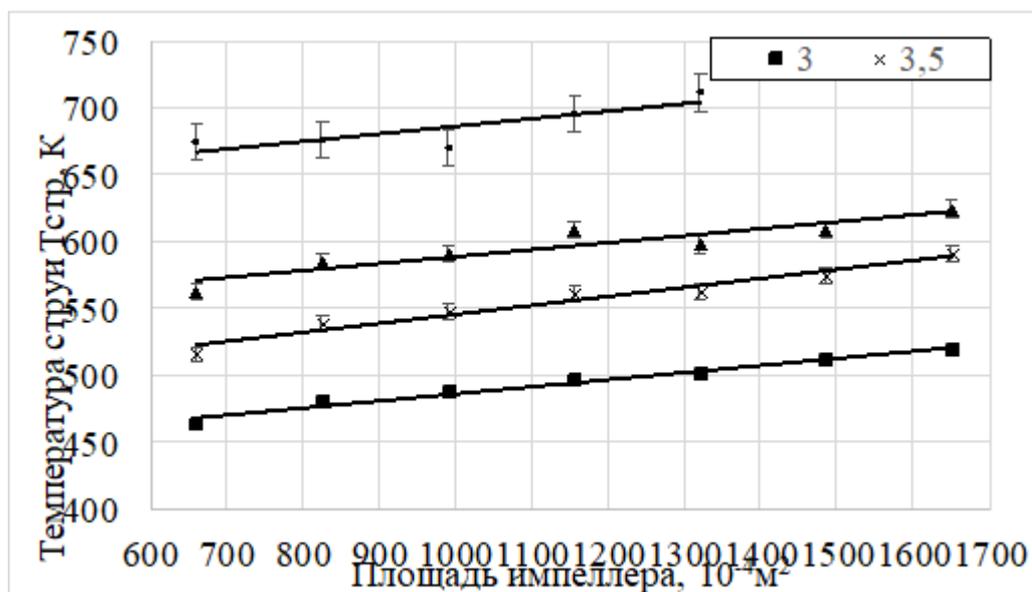


Рисунок 3.8 – Влияние входной площади импеллера реактора на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном

Из анализа полученной зависимости следует, что мощность плазменной струи ( $P_{стр}$ ) и массового расхода плазмообразующего газа (воздуха) оказывают существенное влияние на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном. С учетом полученных результатов были определены следующие оптимальные режимы работы основных элементов плазменного стенда:

- ВЧФ-генератор ВЧГ8-60/13-01 ( $U_a=5,6$  кВ,  $I_a=3,5$  А,  $I_c=1,2$  А);
- ВЧФ-плазмотрон ( $P_{стр}=15,0$  кВт);
- реактор ( $S_{имп}=1320$  см<sup>2</sup>).

### **3.4 Плазменная переработка растворов ВОНР**

Для приготовления водного нитратного раствора использовался 1 литр дистиллированной воды. Затем этот раствор смешивался с органическим компонентом в результате получался водно-органический нитратный раствор. Растворы ВОНР в распыленном на капли виде подавался в реактор, в котором происходил синтез оксидных композиций. Температура контролировалась с помощью инфракрасного пирометра по линии поглощения диоксида углерода. На центробежно-барботажных аппаратах происходило охлаждение оборотной технологической водой смеси, вышедшей из реактора. Методом лазерной дифракции определяли гранулометрический состав суспензий полученных оксидных композиций. Затем суспензии ОК отстаивали, отделяли осадки, фильтровали и прокачивали.

### **3.5. Определение физико-химических свойств полученных порошков**

Исследования 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»).

С помощью БЕТ анализа определили значение удельной поверхности порошков оксидных композиций и эта величина оказалась равной 11,1 м<sup>2</sup>/г. Это значение получено из предположения что кристаллы имеют сферическую геометрию. Таким образом, размер кристаллитов, составляет 86 нм.

Был проведен рентгенофазовый анализ порошков ОК на рентгеновском дифрактометре. Были определены фазовый состав ОК, средние размеры области рассеяния и параметры кристаллической структуры.

На рисунке 3.8 представлена характерная гистограмма распределения по размерам частиц водной суспензии ОК-2 (метод ЛД), полученной при переработке раствора ВОНР-2.

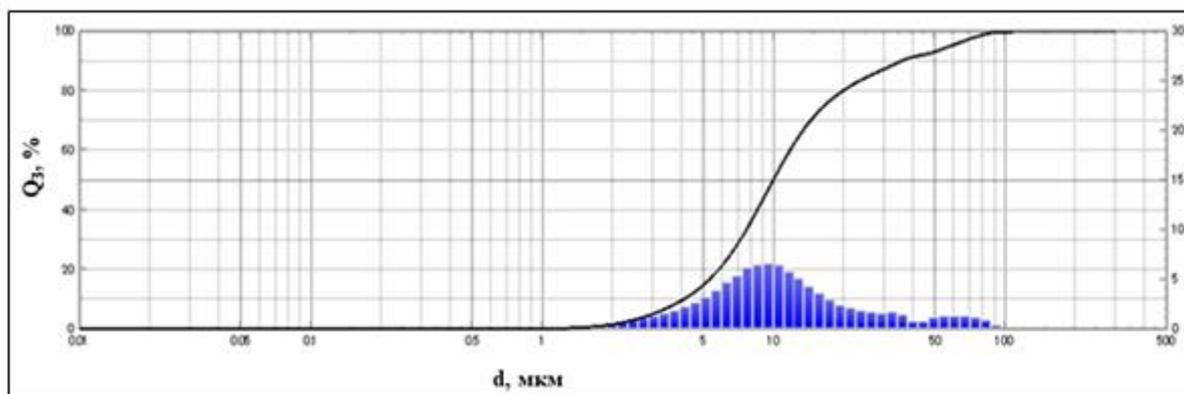


Рисунок 3.8 - Гистограмма распределения по размерам частиц порошка ОК-2

Частицы водной суспензии ОК-2 характеризуются достаточно широким распределением по размерам. Величины средних значений распределения частиц лежат в диапазоне от 2 до 90 мкм. Среднее значение размера частиц  $D_{50}$  составляет 9,9 мкм.

На рисунке 3.9 представлено СЭМ-изображение порошка ОК-2. Анализ этого изображения показывает, что размер частиц лежит в широком диапазоне.

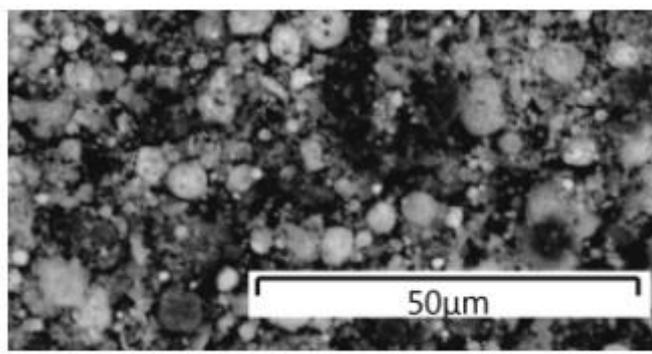


Рисунок 3.9– СЭМ-изображение порошка ОК-2

Свойства прессуемости порошка ОК-2 имеют значения сравнимые с большинством оксидных композиций металлов: порошок относится к 4 группе сложности прессования.

Прессование порошка ОК-2 осуществлялось в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 10 мм под давлением 400 МПа с последующим спеканием полученных прессовок при температуре 1300 °С.

На рисунке 3.11 представлена Характерная микрофотография спеченной керамики из порошка ОК-2.

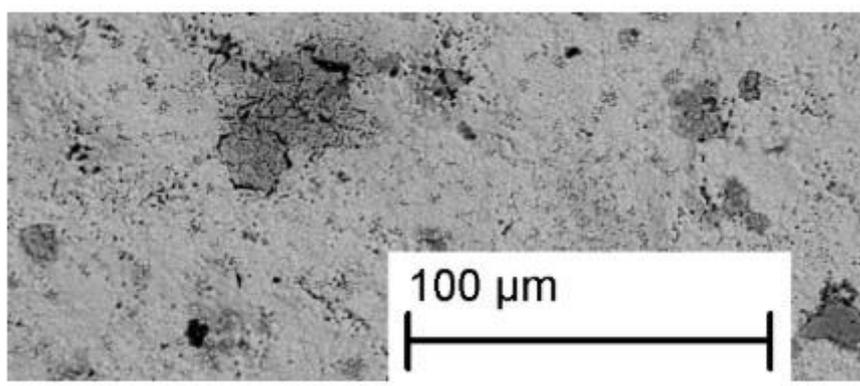


Рисунок 3.11. – Характерная микрофотография спеченной керамики из порошка ОК-2

Из анализа результатов, представленных на рисунках 3.8-3.11 и таблице В1, (приложение В) следует:

-увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10 % до 30 % в составе ОК « $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{--Ce}_2\text{O}_3\text{--MgO}$ » (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 9,4 мкм до 7,4 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 7,9 м<sup>2</sup>/г до 11,2 м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в частицах ОК снижается с 110 нм до 86 нм (БЭТ-анализ).

-увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10 % до 30 % в составе ОК (при  $\alpha=0,2$ ), приводит при частоте диспергатора 50 Гц к снижению размера ОК после УМО с 12,3 мкм до 6,6 мкм (метод ЛД).

-увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 10 % до 30 % в составе ОК (при  $\alpha=0,3$ ), также приводит при частоте диспергатора 50 Гц к

образованию ОК после УМО от 7,4 до 7,5 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК увеличивается с 9,5 м<sup>2</sup>/г до 11,9 м<sup>2</sup>/г, а размер кристаллитов в частицах ОК уменьшается с 90 нм до 80 нм (БЭТ-анализ).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, частоты диспергатора, расхода охлаждающей воды на «закалку» 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 только 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;
- определить возможные альтернативы проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательские работы;
- определить ресурсную (ресурсосберегающую), финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективность исследования.

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

#### **4.1 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 1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 1

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Таблица 4.1

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
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
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 ресурсах памяти	В	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 эксплуатации	В	0,13	5	3	1	0,65	0,39	0,13
Наличие дорогостоящего оборудования		0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
Экономические критерии оценки эффективности								
Конкурентоспособно сть		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

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

#### 4.2 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.

На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут проявиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 2.

Таблица 4.2

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<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</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> Работа с модельными композициями.</p> <p><b>Сл4.</b> Большое количество возможных вариантов композиций.</p> <p><b>Сл5.</b> Высокие затраты электрической энергии на килограмм продукта</p>

	<p>предлагаемой технологии.</p> <p><b>С6.</b> Компактность необходимого оборудования.</p> <p><b>С7.</b> Высокая скорость процесса.</p>	
<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Возможность снижения затрат при использовании водно-органических нитратных растворов.</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>Угрозы:</b></p>		

<p><b>У1.</b>Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p><b>У2.</b>Отсутствие спроса нановые технологии производства.</p> <p><b>У3.</b> Неудача эксперимента.</p> <p><b>У4.</b> Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>		
--	--	--

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

Второй этап заключается 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 3.

Таблица 4.3

Инильные стороны проекта							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
B1	-	0	-	-	-	-	+
B2	-	-	-	-	0	-	+
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
----	---	---	---	---	---

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4).

Таблица 4.4

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

		ВОЗМОЖНЫХ вариантов композиций.
<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 используемую технологию производства ЯТ.</p> <p>3. В случае успеха удастся переработать часть захороненного топлива.</p> <p>4. При благоприятном раскладе станет возможным строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.</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><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Развитая конкуренция</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b></p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной</b></p>

технологии производства.	1. Качественные преимущества нового ДЯТ создают хорошую конкуренцию используемым методам производства ЯТ.	<b>матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b>
У2.Отсутствие спроса нановые технологии производства.	2. Такие факты, как нехватка урана-235 и необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на новые технологии производства ЯТ.	1.Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться
У3. Неудача эксперимента.	3. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных композиций обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной композицией или в случае прекращения финансирования.	провалом без должного финансирования.
У4. Несвоевременное финансовое обеспечение.		

Таким образом, можно сделать вывод, что возможные проблемы и трудности, которые могут возникнуть, компенсируются наличием сильных сторон.

#### **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 4.5.

Таблица 4.5

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	6	Моделирование технологического процесса	бакалавр

исследования		на ПК	
	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  $t_{ожi}$  используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – 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 6.

Таблица 4.6

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	2	3	4	7	2,8	4,6	1,4	2,3	2,1	3,4

изучение материалов по тематике										
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

На основе полученной таблицы была построена диаграмма Ганта (рис. 4.1).

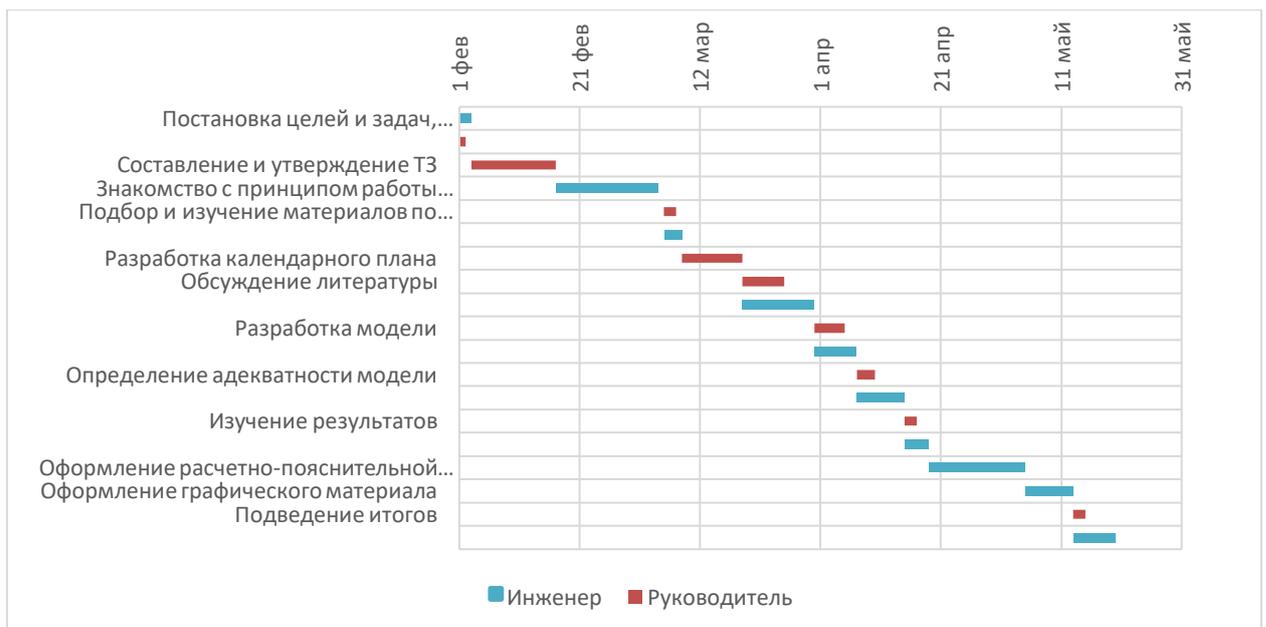


Рисунок 4.1 – Диаграмма Ганта

Проинтегрировав значения, получим таблицу 4.7.

Таблица 4.7

Сводная таблица по календарным дням

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

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

#### **4.4 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 НИИ

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.8.

Таблица 4.8

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 церия $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	2400	2,5 кг.	6000
Итого:			7975

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретения нитрата церия. 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 60кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле 6:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}$$

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

Таблица 4.9

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 4.10

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.

Таблица 4.11

№	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
<b>Итого</b> :	10450000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом.

Норма амортизации рассчитывается по формуле 7:

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

где  $n$  - срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 8:

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

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

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

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

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

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

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.

$$C_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}$$

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:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}$$

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 12:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\varnothing}}$$

где  $Z_M$  - месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $T_{\varnothing}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.12).

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

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

Таблица 4.12

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:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_3,$$

где  $Z_{ок}$ - 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 13.

Таблица 4.13

Исполнители	$Z_{ок}$ , руб.	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дон}$ , 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 4.14.

Таблица 4.14

Зарботная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	17360	8820
Дополнительная зарплата, руб.	4397	1323
Зарплата исполнителя, руб.	21757	10143
Итого по статье $C_{зп}$ , руб.	31900	

#### 4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}),$$

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

Общая ставка взносов составляет в 2020 году - 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,3.$$

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

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot 21757 = 6527 \text{ руб.}$$

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

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot 10143 = 3043 \text{ руб.}$$

#### 4.4.5 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

где  $k_{накл}$  - коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 15.

Таблица 4.15

Статьи								
Амо ртиз ация	Сырье , матер иалы	Спец иаль ное обор удов ание	Основ ная зараб отная плата	Дополн ительн ая заработ ная плата	Отчис ления на социа льные нужд ы	Итого без накла дных расхо дов	Накладные расходы	Итого бюдж етная стоим ость
5123 8	22975	5160 0	26180	5720	9570	16728 3	26765,2	19404 8,2

#### 4.5 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 16:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

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

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

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 14.

Таблица 4.16

Объект исследования	Весовой	Текущий	Аналог	Аналог
---------------------	---------	---------	--------	--------

Критерии	коэффициент параметра	проект	1	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

$$I_p = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,3$$

$$I_{a1} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4$$

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}$$

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

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{153016,8}{175000} = 0,87$$

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

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{120000}{120000} = 1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального

показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_\phi^p}$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_\phi^a}$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_\phi^p} = \frac{4,3}{0,87} = 4,94$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_\phi^a} = \frac{4}{0,9} = 4,44$$

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле :

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_p}$$

Таблица 4.17

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

## **4.6 Оценка экономической эффективности проекта**

Так как плазмохимический синтез наноразмерных оксидных композиций в плазме ВЧФ–разряда носит исключительно исследовательский характер, в данном случае оценка экономической эффективности невозможна.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Был проведен анализ конкурентных технических решений, который показал, что данное исследование является эффективным. Качество полученных результатов – приемлемое.

2. В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны исследования, а также угрозы и возможности. Имеющиеся стороны полностью компенсируют все возможные проблемы.

3. Был составлен план-график выполнения этапов работ для инженера и руководителя. Это позволяет спланировать рабочее время и рассчитать количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4. Был рассчитан бюджет научно-технического исследования. Общая бюджетная стоимость составила 194048,2

5. Определена ресурсная эффективность проекта. Расчитана сравнительная эффективность вариантов исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

В данной работе проводится изучение процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива плутоний-ториевого цикла. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной плазменной технологии для дисперсного

ядерного топлива, которое может использоваться в реакторах на быстрых нейтронах.

Эксперименты проводились в 10 корпусе Томского политехнического университета на базе ВЧФ-плазматрона.

В данном разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, воздействующие на персонал, рассмотрено воздействие исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

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

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

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

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.

## **5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

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.

Рациональная планировка рабочего местапользователя ПКпредусматривает 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 1.

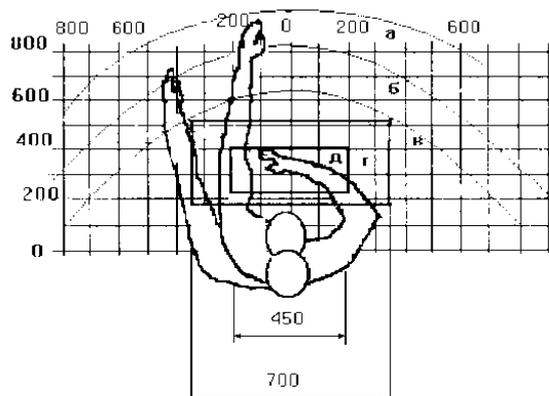


Рисунок 5.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

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

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

Таблица 5.1

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 [10].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

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

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа

требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания.

## **5.2. Производственная безопасность**

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

Объектом данного исследования является установка для проведения экспериментов: плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Обработка результатов эксперимента проводилась на ПК.

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 воздуха;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- вредные вещества;
- 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 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

### **5.2.1 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 3.

Таблица 5.3.

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 Вредные вещества

При эксплуатации ВЧФ плазматронов воздух рабочей зоны поступают вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций. В таблице 6 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [11]

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 5.6.

№	Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Нитрат неодима	5,0	3
2	Нитрат церия	4,0	3
3	Нитрат магния	5,0	3
4	Ацетон	0,35	2
5	Оксид углерода	5	3

### 5.2.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения

ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока и является источником ВЧ-излучения. Генератор полностью экранирован. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения [12].

Экран и системные блоки ЭВМ также производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.7.

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.

Таблица 5.7

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

#### **5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

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

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

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

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

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных;

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

### 5.2.5 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.

Источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [15] уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [16].

Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [16]. В таблице 5.8 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.8

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	8	7	6	5	4	4	4	4	3	
Научная работа, расчеты, конструирование	6	1	1	4	9	5	2	0	8	50
Офисы, лаборатории	9	7	7	6	5	5	5	5	4	60
	3	9	0	8	8	5	2	2	9	

### **5.2.6 Психофизиологические факторы**

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

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

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

### **5.2.7 Поражение электрическим током**

Помещение для проведения эксперимента по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий,

технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

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**

Работа проводится на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13 и ПЭВМ.

Стоит отметить, что 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.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

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

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

#### **5.4.1 Анализ типичной ЧС**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде

Наиболее характерной ЧС для данных условий работы является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

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

К причинам электрического характера относятся:

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

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

Причины возникновения короткого замыкания:

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

При возникновении аварийных ситуаций происходит резкое выделение тепловой энергии, которая может явиться причиной пожара. Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

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

Пожарная безопасность помещения должна обеспечиваться системами

предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

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

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.

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.

## **Выводы**

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

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

В подразделе «Производственная безопасность» проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть 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» рассмотрено возможное влияние объекта исследования на окружающую среду, проведен анализ влияния процесса исследования на окружающую среду, также приведены 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, а также приведен порядок действий при возникновении ЧС.

## Выводы

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

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

3. В ходе экспериментальных исследований определены режимы работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона, обеспечивающие эффективную плазменную переработку диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке: мощность ВЧФ-разряда – 15,0 кВт; расход раствора ВОНР – 300 л/ч; расход воздуха – 1,23 кг/с; частота вращения ротора диспергатора – 50 Гц; расход охлаждающей воды на «закалку» оксидных композиций – 2,8 кг/с.

4. Осуществлен плазмохимический синтез оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР и исследованы их физико-химические свойства. Установлены закономерности влияния массовой доли матрицы (оксид магния) на площадь удельной поверхности и размер получаемых ОК. Показано, что при расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора 50 Гц увеличение массовой доли MgO в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub>-MgO» от 10 % до 30 % при  $\alpha=0,5$  приводит к увеличению удельной поверхности порошков ОК с 13,1 м<sup>2</sup>/г до 16,4 м<sup>2</sup>/г и уменьшению размера кристаллитов в составе ОК с 68 нм до 65 нм.

## **Заключение**

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

## Список использованной литературы

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо, Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 248 с.
2. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 160 с.
3. Смирнов, В.М. Структурирование на наноуровне - путь к конструированию новых твердых веществ и материалов / В.М. Смирнов// Журнал общей химии.– 2002. – Вып. 72. – №4. – С. 633-650.
4. Волков, А.И., Жарский, И.М. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. - Мн.: Современная школа, 2005. - 608 с.
5. Бойко В.И. Топливные материалы в ядерной энергетике: учебное пособие / В.И. Бойко, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиванникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с
6. Андреев Г.Г. Введение в химическую технологию ядерного топлива: учебное пособие / Г.Г. Андреев, А.Н. Дьяченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 165 с.
7. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии: учебник А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
8. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. —М.: Физматлит, 2003. — 760 с.
9. Никольский Б.П. и др. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы»/Справочник химика. Т 3, 1965.
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

11. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

12. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие / Ю.А. Амелькович, Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина, М.В. Гуляев, М.Э. Гусельников, А.Г. Дашковский, Т.А. Задорожная, В.Н. Извеков, А.Г. Кагиров, К.М. Костырев, В.Ф. Панин, А.М. Плахов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

Состав оксидной композиции		Состав раствора ВОНР, %							Q <sub>н</sub> <sup>р</sup> , МДж/кг	Доля ВОНР
		Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	А	W		
ОК-1	9,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 85,5% CeO <sub>2</sub> - 5% MgO	2,06	33,82	4,76	29,36	30	40,64	29,36	8,72	0,7
ОК-2	9% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 81% CeO <sub>2</sub> - 10% MgO	1,72	28,42	8,52	31,34	30	38,66	31,34	8,66	0,7
ОК-3	8,5%Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 79,5% CeO <sub>2</sub> - 15% MgO	1,50	23,76	11,74	32,30	30	37,70	32,30	8,62	0,7
ОК-4	8% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 72% CeO <sub>2</sub> - 20% MgO	1,23	19,37	15,84	33,56	30	36,44	33,56	8,58	0,7
ОК-5	7% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 63% CeO <sub>2</sub> - 30% MgO	0,95	16,13	17,53	35,39	30	34,61	35,39	8,53	0,7
ОК-6	5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 45%CeO <sub>2</sub> - 50% MgO	0,54	8,25	22,73	38,48	30	31,52	38,48	8,48	0,7

Таблица А2 – Расчет состава растворов ВОНР-7÷12, имеющих  $Q_{нр}^p, \approx 8,4$  МДж/кг, для плазмохимического синтеза оксидных композиций «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub>-MgO» при  $\alpha = Nd/(Nd+Ce) = 0,2$

Состав оксидной композиции		Состав раствора ВОНР, %							$Q_{нр}^p$ МДж/кг	Доля ВОНР
		Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	A	W		
OK-7	19% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 76% CeO <sub>2</sub> - 5% MgO	4,23	31,27	4,93	29,57	30	40,43	29,57	8,72	0,7
OK-8	18% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 72% CeO <sub>2</sub> - 10% MgO	3,58	26,19	8,74	31,49	30	38,51	31,49	8,66	0,7
OK-9	17% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 68% CeO <sub>2</sub> - 15% MgO	3,12	22,66	11,85	32,37	30	37,63	32,37	8,62	0,7
OK-10	16% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 64% CeO <sub>2</sub> - 20% MgO	2,56	17,83	15,98	33,63	30	36,37	33,63	8,58	0,7
OK-11	14% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 56% CeO <sub>2</sub> - 30% MgO	2,06	14,84	17,63	35,50	30	34,50	35,50	8,53	0,7
OK-12	10% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 40% CeO <sub>2</sub> - 50% MgO	1,19	7,29	22,84	38,68	30	31,32	38,68	8,48	0,7

Таблица А3 – Расчет состава растворов ВОНР-13÷18, имеющих  $Q_{н.р.} \approx 8,4$  МДж/кг, для плазмохимического синтеза оксидных композиций «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub>-MgO» при  $\alpha = Nd/(Nd+Ce) = 0,3$

Состав оксидной композиции		Состав раствора ВОНР, %							Q <sub>н.р.</sub> МДж/кг	Доля ВОНР
		Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Ацетон	А	W		
ОК-13	28,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 66,5% CeO <sub>2</sub> - 5% MgO	6,55	29,31	5,10	30,05	30	39,95	30,05	8,72	0,7
ОК-14	27% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 63% CeO <sub>2</sub> - 10% MgO	5,54	24,22	9,00	32,13	30	37,87	32,13	8,66	0,7
ОК-15	25,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 59,5% CeO <sub>2</sub> - 15% MgO	4,83	20,29	12,20	32,99	30	37,01	32,99	8,62	0,7
ОК-16	24% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 56% CeO <sub>2</sub> - 20% MgO	3,96	17,15	16,45	34,19	30	35,81	34,19	8,58	0,7
ОК-17	21% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 49% CeO <sub>2</sub> - 30% MgO	3,19	12,47	18,15	36,02	30	33,98	36,02	8,53	0,7
ОК-18	15% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 35% CeO <sub>2</sub> - 50% MgO	1,84	6,66	23,52	39,47	30	30,53	39,47	8,48	0,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Динамический напор воздушного теплоносителя в газоходе

№	S <sub>имп</sub>		ρv <sup>2</sup> /2, мБар							(ρv <sup>2</sup> /2) среднее
	3хп	см <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	мБар
1	3х10	1650	2,59	2,61	2,53	2,66	2,62	2,58	2,60	2,60
2	3х8	1320	2,42	2,50	2,53	2,46	2,54	2,47	2,48	2,49
3	3х6	990	2,39	2,38	2,40	2,45	2,43	2,37	2,38	2,40
4	3х4	660	2,21	2,25	2,23	2,29	2,27	2,22	2,28	2,25

Таблица Б2 – Динамический напор воздушного теплоносителя в разрядной камере ВЧФ-плазмотрона

№	S <sub>имп</sub>		ρv <sup>2</sup> /2, мБар							P <sub>ср</sub>
	3хп	см <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	мБар
1	3х10	1650	2,24	2,27	2,20	2,18	2,25	2,22	2,28	2,23
2	3х8	1320	2,43	2,47	2,53	2,55	2,49	2,52	2,48	2,50
3	3х6	990	2,55	2,64	2,57	2,66	2,62	2,58	2,61	2,60
4	3х4	660	3,6	3,57	3,58	3,63	3,65	3,59	3,56	3,60

Таблица Б3 – Расходы воздушного теплоносителя через вчф\_плазмотрон, реактор и газоход

№	$S_{имп}$	см <sup>2</sup>	Газоход			ВЧФ-плазмотрон			реактор	$T_{возд}$ °C
	3хп		$P_{ср, мБар}$	$P_{иг, Па}$	$Q_{гхд, кг/с}$	$P_{ср, мБар}$	$P_{иг, Па}$	$Q_{пл, кг/с}$	$Q_p, кг/с$	
1	3х10	1650	3,99	397,66	1,55	2,23	222,76	0,12	1,42	21,0
2	3х8	1320	3,09	308,22	1,36	2,50	248,82	0,13	1,23	
3	3х6	990	2,88	287,14	1,31	2,60	259,65	0,13	1,18	
4	3х4	660	2,68	250,53	1,27	3,60	358,64	0,15	1,12	

Таблица Б4 – Режим работы плазменного реактора на базе ВЧФ- плазматрона

						Анод			Сетка			Электрод			Корпус		
№	I, А	U <sub>а</sub> , кВт	P <sub>0</sub> , кВт	T <sub>др</sub> , °C	S <sub>имп</sub> , см <sup>2</sup>	m <sub>а</sub> , кг/с	ΔT <sub>а</sub> , °C	P <sub>а</sub> , кВт	m <sub>с</sub> , кг/с	ΔT <sub>с</sub> , °C	P <sub>с</sub> , кВт	m <sub>э</sub> , кг/с	ΔT <sub>э</sub> , °C	P <sub>э</sub> , кВт	m <sub>кп</sub> , кг/с	ΔT <sub>кп</sub> , °C	P <sub>кп</sub> , кВт
1	3	5,7	17,1	34,0	1650	0,24	6,7	6,84	0,5	0,14	0,12	1,70	0,06	0,3	0,24	6,7	6,84
2	3	5,7	17,1	34,6	1320	0,24	6,7	6,84	0,6	0,17	0,12	1,70	0,06	0,3	0,24	6,7	6,84
3	3	5,8	17,4	35,7	990	0,24	6,8	6,94	0,8	0,22	0,12	1,75	0,06	0,3	0,24	6,8	6,94
4	3	5,8	17,4	36,6	660	0,24	6,7	6,84	1	0,28	0,12	1,70	0,06	0,3	0,24	6,7	6,84
1	3,5	5,8	20,3	37,3	1650	0,24	7,8	7,96	2,1	0,58	0,12	2,20	0,06	0,4	0,24	7,8	7,96
2	3,5	5,8	20,3	36,8	1320	0,24	8,0	8,16	2,4	0,66	0,12	2,20	0,06	0,6	0,24	8	8,16
3	3,5	6,3	22,1	36,5	990	0,24	8,1	8,26	2,6	0,72	0,12	2,25	0,06	0,6	0,24	8,1	8,26
4	3,5	6,5	22,7	37,0	660	0,24	8,3	8,47	2,8	0,77	0,12	2,40	0,06	0,7	0,24	8,3	8,47
1	4,0	6,5	26,0	37,8	1650	0,24	9,3	9,49	3,6	0,99	0,12	2,70	0,06	1	0,24	9,3	9,49
2	4,0	6,7	26,8	38,0	1320	0,24	9,4	9,59	3,5	0,96	0,12	2,75	0,06	1	0,24	9,4	9,59
3	4,0	6,9	27,6	37,9	990	0,24	9,6	9,79	3,3	0,91	0,12	2,80	0,06	0,9	0,24	9,6	9,79
4	4,0	7,0	28,0	36,8	660	0,24	9,6	9,79	3,0	0,83	0,12	2,85	0,06	0,8	0,24	9,6	9,79

Таблица Б5 – Режимы работы ВЧФ-плазмотрона в составе плазменного стенда

ВЧФ-плазмотрон											
№	I <sub>A</sub> , А	U <sub>A</sub> , кВТ	P <sub>0</sub> , кВТ	T <sub>дг</sub> , °С	S <sub>имп</sub> , см <sup>2</sup>	P <sub>стр</sub> , кВТ	Q <sub>пг</sub> , кг/с	H <sub>T</sub> кДж/кг	T <sub>стр</sub> , °С	P <sub>p</sub> , кВТ	η, %
1	3,0	5,7	17,1	34,0	3x10	8,4	0,12	369,7	375	8,43	99,1
2	3,0	5,7	17,1	34,6	3x8	8,3	0,13	365,8	375	8,40	99,1
3	3,0	5,8	17,4	35,7	3x6	8,1	0,13	362,8	350	8,19	99,1
4	3,0	5,8	17,4	36,6	3x4	8,2	0,15	354,1	350	8,29	99,1
1	3,5	5,8	20,3	37,3	3x10	11,0	0,12	392,1	400	11,14	99,1
2	3,5	5,8	20,3	36,8	3x8	11,2	0,13	388,7	400	11,38	98,7
3	3,5	6,3	22,1	36,5	3x6	11,0	0,13	385,2	375	11,17	98,7
4	3,5	6,5	22,8	37,0	3x4	10,9	0,15	372,0	375	11,11	98,5
1	4	6,5	26,0	37,8	3x10	12,58	0,12	404,9	425	12,82	98,1
2	4	6,7	26,8	38,0	3x8	13,26	0,13	404,6	400	13,50	98,2
3	4	6,9	27,6	37,9	3x6	13,88	0,13	407,2	400	14,10	98,5
4	4	7,0	28,0	36,8	3x4	14,34	0,15	394,2	400	14,53	98,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 1 – Состав и режимы переработки растворов ВОНР, физико-химические и технологические свойства полученных простых и сложных оксидных композиций

Состав ОК	Состав ВОНР					Режимы переработки ВОНР		Лазерная дифракция ОК	БЭТ-анализ ОК		Параметры прессования ОК	
	№	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O, г/л	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O, г/л	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, г/л	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, % масс.	f <sub>ф</sub> , Гц	Q <sub>отв</sub> , кг/с		D <sub>50</sub> , мкм	S, м <sup>2</sup> /г	D <sub>bet</sub> , нм	ρ <sub>нас</sub> , г/см <sup>3</sup>
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,1$												
ОК-43 (90% CeO <sub>2</sub> –10% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ВОНР-43	32,6	297,6	-	64,3	35	2,8	10,7	-	-	-	-
ОК-44 (85,5% CeO <sub>2</sub> –9,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –5,0% MgO)	ВОНР-44	31,0	282,7	80,1	63,3	35	2,8	10,2	-	-	-	-
ОК-45 (81,0% CeO <sub>2</sub> –9,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-45	29,3	267,9	160,3	62,2	35	2,8	12,4	-	-	-	-
ОК-46 (76,5% CeO <sub>2</sub> –8,5% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –15,0% MgO)	ВОНР-46	27,7	253,0	240,4	61,2	35	2,8	12,5	12,5	78	-	-
ОК-47 (72,0% CeO <sub>2</sub> –8,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-47	26,1	238,1	320,5	60,6	35	2,8	14,7	12,8	76	0,462	7,5
ОК-48 (63,0% CeO <sub>2</sub> –7,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-48	22,8	208,3	480,8	58,4	35	2,8	13,9	-	-	-	-
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,5$												
ОК-59 (45,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –45,0% CeO <sub>2</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-59	146,7	148,8	160,3	62,3	50	2,8	9,8	13,1	68	0,84	12,5
ОК-60 (40,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –40,0% CeO <sub>2</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-60	130,7	132,3	320,5	60,3	50	2,8	9,6	14,5	67	-	-
ОК-61 (35,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –35,0% CeO <sub>2</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-61	114,1	115,8	480,8	59,8	50	2,8	9,3	16,4	65	-	-
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,6$												
ОК-62 (54,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –36,0% CeO <sub>2</sub> –10,0% MgO)	ВОНР-62	176,0	119,1	160,3	62,3	50	2,8	8,9	-	-	-	-
ОК-63 (48,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –32,0% CeO <sub>2</sub> –20,0% MgO)	ВОНР-63	156,5	105,8	320,5	60,3	50	2,8	7,5	-	-	-	-
ОК-64 (42,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –28,0% CeO <sub>2</sub> –30,0% MgO)	ВОНР-64	136,9	92,6	480,8	58,4	50	2,8	6,8	-	-	-	-

$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0,7$												
OK-65 (63,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 27,0% CeO <sub>2</sub> –10,0% MgO)	BOHP-65	205,4	89,3	160,3	62,3	50	2,8	9,3	13,9	64	-	-
OK-66 (56,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 24,0% CeO <sub>2</sub> –20,0% MgO)	BOHP-66	182,5	79,4	320,5	60,3	50	2,8	8,9	16,8	58	-	-
OK-67 (49,0% Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 21,0% CeO <sub>2</sub> –30,0% MgO)	BOHP-67	159,7	69,4	480,8	58,4	50	2,8	8,1	15,4	69	-	-