

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование процесса плазмохимического синтеза наноструктурных оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния</b>

УДК 661.8'043-022.532-026.741:6.011:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Андреев Дмитрий Викторович		

Руководитель

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изоотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
<b>Универсальные</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

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

Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии  
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Видяев Д.Г.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0AM01	Андрееву Дмитрию Викторовичу

Тема работы:

Исследование процесса плазмохимического синтеза наноструктурных оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 32-51/С от 01.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1. Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима-оксид самария - оксид магния». Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор и анализ способов получения оксидных композиций. 2. Определение составов водно-органических растворов, включающих органический компонент и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. 3. Термодинамический расчет и оптимизация процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций требуемого состава. 4. Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда и получение порошков

	<p>оксидных композиций.</p> <p>5. Исследование физико-химических свойств полученных порошков.</p> <p>6. Выводы по работе. Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<p>Графики:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема двух типов подачи прекурсора в плазму</li> <li>2. Процесс образования геля из коллоидного раствора</li> <li>3. Возможности дальнейшего развития золь-гель процесса</li> <li>4. Этапы получения нанопорошков золь-гель методом</li> <li>5. Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1-4 на основе ацетона при массовой доле воздуха 61 % (а) и 62 % (б): (MgO – 5 % - 50%)</li> <li>6. Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР-1-6 при <math>\alpha=0,1-0,3</math></li> <li>7. Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона</li> </ol>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н. Клемашева Е.И.
Социальная ответственность	Доцент Отделения ядерно-топливного цикла, к.т.н. Передерин Ю.В.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Каренгин А.Г.	к.ф.-м.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0АМ01	Андреев Д.В.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM01	Андрееву Дмитрию Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение ядерно-топливного цикла</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НИИ; SWOT-анализ.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта.
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: - организация работ НИИ; - определение структуры работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИИ: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления во внебюджетные фонды.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности; 4. Оценка абсолютной эффективности НИИ.

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

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT-анализа
4. Иерархическая структура работ
5. Диаграмма Ганта

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.22
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM01	Андреев Дмитрий Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM01	Андрееву Дмитрию Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: горизонтальная транспортная емкость. Область применения: атомная промышленность.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020); – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– выбор и описание типичной ЧС - пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM01	Андреев Дмитрий Викторович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 126 страниц, 19 рисунков, 45 таблиц, 23 источника, 43 формулы.

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

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

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов неодима, самария 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, самария 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, самария, 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.

## Содержание

Введение.....	14
1 Обзор литературы .....	15
1.1 Методы получения порошков оксидных композиций.....	15
1.1.1 Плазменный метод получения дисперсных порошков .....	15
1.1.2 Золь-гель процесс.....	18
1.1.3 Восстановление оксидов урана.....	21
1.1.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония .....	22
1.2 Оксид неодима: свойства и получение .....	23
1.3 Оксид магния: свойства и получение.....	24
2 Расчетная часть.....	26
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов.....	26
2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР.....	27
3 Экспериментальная часть.....	34
3.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазматрона .....	34
3.2 Определение расходов воздуха через ВЧФ-плазматрон и газоход .....	35
3.3 Определение расхода воздуха через реактор .....	37
3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазматрона.....	38
3.5 Методика проведения экспериментов .....	40
3.5.1 Исследование физико-химических свойств оксидных композиций ..	40
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	45
4.1 Предпроектный анализ .....	46

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	46
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	47
4.1.3 SWOT-анализ.....	48
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	51
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	52
4.2 Инициация проекта .....	53
4.2.1 Реестр рисков проекта .....	56
4.2.2 Планирование научно-исследовательского проекта .....	56
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	60
4.3.1 Расчет материальных затрат .....	61
4.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ....	61
4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	63
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды .....	66
4.3.5 Накладные расходы.....	67
4.4 Определение ресурсной эффективности проекта.....	68
4.5 Оценка абсолютной эффективности НИ .....	70
5 Социальная ответственность .....	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	75
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	77
5.2 Производственная безопасность .....	79

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов .....	79
5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов .....	81
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата.....	81
5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	82
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	83
5.3.4 Превышение уровня шума .....	87
5.3.5 Психофизиологические факторы .....	87
5.3.6 Поражение электрическим током.....	88
5.4 Экологическая безопасность.....	90
5.5 Химическая безопасность .....	91
5.6 Пожарная и взрывная безопасность.....	92
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	95
5.7.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	95
Выводы по разделу.....	97
ВЫВОДЫ.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	99
Список использованных источников .....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	113

## Введение

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

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

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

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Методы получения порошков оксидных композиций

#### 1.1.1 Плазменный метод получения дисперсных порошков

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

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

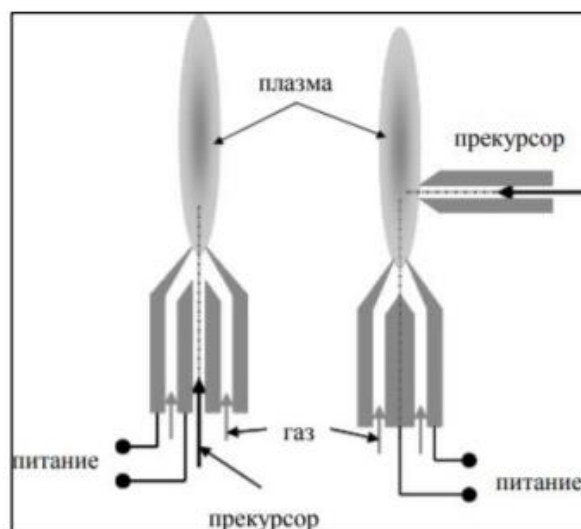


Рисунок 1.1 – Схема двух типов подачи прекурсора в плазму

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

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

После синтеза следует этап резкого охлаждения или «закалки». Кроме того, крайне важно рециркулировать технологический газ. Примером, где это необходимо, является синтез нитридов, где для азотирования используются чистый азот или смесь «азот-аммиак», а в случае синтеза карбида металла в большинстве случаев в качестве газа-носителя используется аргон.

Зачастую является недостатком то, что плазмотроны переменного или постоянного тока склонны к предрасположенности производства только сильно агломерированных порошков.

Низкотемпературные плазменные процессы всегда связаны с системами с пониженным давлением. В данном контексте низкотемпературные системы определяются как системы, в которых используются температуры ниже 1000 К. В этих системах питание подается либо от радиочастотных, либо от высокочастотных источников питания. Физика использования радиочастот или микроволн в некоторой степени отличается. Чтобы понять влияние частоты, необходимо изучить передачу энергии заряженным частицам в переменном



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

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

В радиочастотных системах из-за короткой длины свободного пробега электронов энергия электронов находится в диапазоне нескольких эВ, тогда как энергия электронов в микроволновой плазме находится в диапазоне кэВ. Электроны с энергией всего несколько эВ могут присоединяться к поверхности частиц; это отличается в случае электронов, богатых энергией, поскольку они ионизируют частицы. Поэтому в радиочастотных системах участвуют отрицательно заряженные частицы, тогда как электрический заряд частиц в микроволновых системах положительный. В обоих случаях в хорошем приближении электрический заряд частиц линейно возрастает с увеличением диаметра частиц [3]. Увеличение заряда частиц с увеличивающимся диаметром имеет серьезные последствия для процессов коагуляции и агломерации частиц. Частицы с одинаковыми электрическими зарядами отталкиваются друг от

друга. Поскольку заряд частиц увеличивается с увеличением диаметра частиц, частицы с большими диаметрами отталкивают друг друга больше, чем частицы с меньшими диаметрами. Это ограничивает образование более крупных частиц и образование агломератов. Иными словами, в хорошо спроектированной низкотемпературной плазменной системе для синтеза наночастиц, получают частицы с узким спектром распределения размеров частиц.

### 1.1.2 Золь-гель процесс

Под Золь-гель процессом принято понимать технологию, при которой получают дисперсные частицы и преобразовывается коллоидная система в результате одной из многочисленных стадий всего процесса. Подобная методика используется для того, чтобы изготовить смеси оксидов металла, чаще всего при помощи неё готовят оксиды титана и кремния. В результате процесса все мономеры превращаются в так называемый коллоидный раствор, который также называют золь. Золь представляет из себя смесь частиц, которые равномерно распределены внутри жидкости. Золь, также является предшественником для нанесения геля. Гель в свою очередь представляет из себя жидкую фазу, которая позволяет жидкости не терять своей формы. Внутри золь образуется ковалентная связь, которая соединяет частицы [3]. Для того, чтобы рассмотреть, как образуется гель на базе коллоидного раствора,



Рисунок 1.2 – Процесс образования геля из коллоидного раствора

предложено обратить внимание на рисунок 2

Таким образом золь превращается в гелеобразную двухфазную систему, в которой есть твердая и жидкая фаза. За счет такой системы, морфология данного вещества может меняться от частиц до полимерных сетей. Если сравнивать золь с коллоидами, то здесь частицы принимают несколько более низкое значение, это нужно для того, чтобы синтезированное вещество не теряло форму геля. Такой эффект можно достичь самыми разными способами – в качестве примера используется самый простой способ – центробежные силы в результате частицы осядут на дне раствора, а жидкость в последствии можно просто слить. Для того чтобы ускорить данный процесс можно воспользоваться центрифугированием.

Для того чтобы удалить остатки жидкой составляющей – нужно инициализировать процесс высушивания – в результате которого частицы уплотняются. Скорость удаления жидкой фазы – влияет на пористость финального геля.

В дальнейшем для того, чтобы продолжить укрепления структуры получившейся реакции нужно произвести процесс термической обработки. Это позволяет уплотнить зерно реакции.

Данный способ обладает рядом преимуществ, основным из которых выделяется возможность уплотнять частицы при гораздо более низких температурах [4]. Согласно общей технологии – золь обычно наносят на подложку подходящего контейнера и с целью образовать так называемую плетку (можно получить аэрогели, волокна, керамику и многое другое), помимо этого золь можно использовать для того, чтобы синтезировать различные порошки (напр. наносфер).

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

Все возможности по применению реакции золь-гель можно посмотреть на рисунке 3.



Рисунок 1.3 – Возможности дальнейшего развития золь-гель процесса

Сам по себе процесс использования золь-геля является низкотемпературным и дешевым способом при помощи, которого можно контролировать состав конечного продукта. Одним из главных плюсов золя является тот факт, что он равномерно распределяет частицы всех внешних примесей, позволяя сделать конечный продукт максимально равномерным. Данный способ часто используют для производства керамики и ряда других вещей с плотными частицами. В конечном итоге все материалы, которые получены при помощи золь-геля используются в целом спектре отраслей от оптики до энергетики [5].

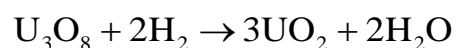
Интерес к данному методу можно проследить еще в середине 1800-х годов, когда было обнаружено, что гидролиз тетраэтилортосиликата в кислых условиях приводит к образованию  $\text{SiO}_2$  в виде волокон и монолитов. Схема получения нанопорошков с помощью золь-гель метода, начиная от получения исходных растворов и заканчивая спеканием заготовки, описана на рисунке 3 [6].



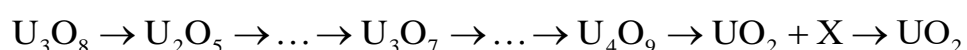
Рисунок 1.4 – Этапы получения нанопорошков золь-гель методом

### 1.1.3 Восстановление оксидов урана

Помимо золь-геля существуют и иные способы обработки оксидов, в нашем случае нас интересует восстановление оксидов урана, которое можно производить при помощи газов. В качестве примера на водороде:

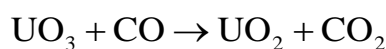
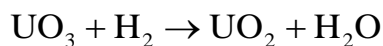


Важно отметить, что данная реакция имеет несколько стадий:



Данная реакция может протекать при температуре вплоть до 650 °С, при дальнейшем повышении температуры скорость реакции не будет протекать быстрее, поэтому в этом нет никакого смысла. В данном случае в качестве восстановителя мы можем использовать разбавленный водород, который будет

иметь формулу  $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 1 : 4$ . Далее идёт процесс восстановления при максимальной температуре в  $650^\circ\text{C}$ ):



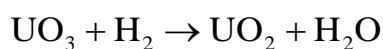
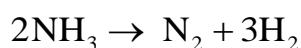
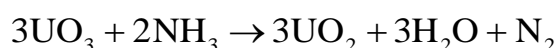
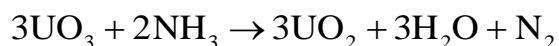
Реакция восстановления триоксида урана обязательно протекает через промежуточную стадию образования  $\text{U}_3\text{O}_8$  и лимитируется этой стадией [7].

#### 1.1.4 Термолиз уранилтрикарбоната аммония

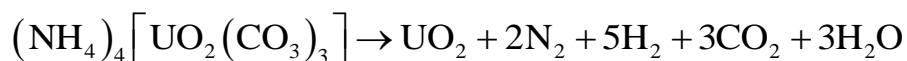
Далее рассмотрим процесс термолиза. Термолиз может проводиться исключительно при отсутствии воздуха, так как лишь при такой реакции уранилтрикарбонат аммония сможет разложиться в результате нашей реакции:



Далее наступает вторая стадия реакции, при которой аммиак и его субпродукты будут выступать восстановителями для триоксида урана, стоит заметить, что данная реакция должна проводиться строго при температуре  $350\text{--}450^\circ\text{C}$ , иначе результат будет совершенно иным. Если все условия соблюдены, то в таком случае мы видим следующее:



Однако, если условия соблюдены не полностью (например, температура выше  $450$  градусов), то в таком случае реакция пойдёт иным способом:



В полученном  $\text{UO}_2$  содержание U (IV) составляет около  $96\%$ , а U (VI) составляет не менее  $4\%$ . Таким образом количество продуктов, которые будут образованы в составе данной реакции будут зависеть от способа дегазации, а также от скорости нагревания. Важно понимать, что не все кристаллы аммония могут быть нагреты максимально быстро. Поэтому для того чтобы ускорить

данный процесс, часто используют трубчатую печь, в которой есть подвижный слой [8].

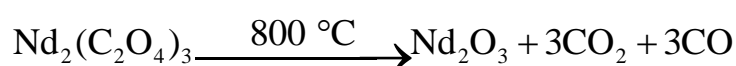
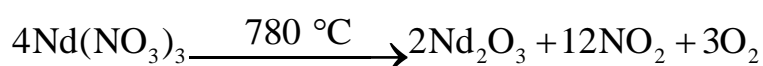
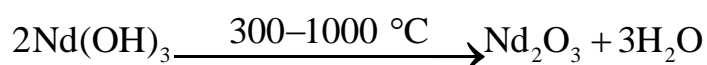
## 1.2 Оксид неодима: свойства и получение

Оксид неодима III -  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  – представляет из себя неорганическое соединение кислорода с неодимом. Является соединением бинарного типа, имеет голубовато-фиолетовый цвет, его формой являются кристаллы. Растворимость в воде – нет.

Опишем физические свойства данного оксида – основным свойством является образование различных кристаллов, имеющих голубовато-фиолетовый цвет в нескольких модификациях.

Для того чтобы получить этот оксид, нужно нагреть неодим – в результате он окислится. При нагревании он может реагировать с серой, водородом и рядом других неметаллов.

Есть и иной способ – при помощи реакции разложения оксалата неодима, гидроксида или нитрата:



Нитрат неодима – представляет из себя неорганическое соединение, состоящее из соли и азотной кислоты. Он имеет формулу  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ . В отличие от оксида, он не имеет голубого оттенка и является полностью фиолетовым. Основной формой выступают кристаллы. Помимо этого, при помощи нитрата можно образовать кристаллогидраты состава  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $n = 4$  и  $6$ . Кристаллогидрат состава  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  представляет из себя красно-фиолетовые кристаллы, которые могут растворяться не только в воде, но также в ацетоне и этаноле. Растворимость перечисленных веществ можно посмотреть в таблице 1.1. [9].

Таблица 1.1 – Растворимость нитрата неодима 6-водного в воде

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

### 1.3 Оксид магния: свойства и получение

Под оксидом магния понимают вещество с формулой MgO. Данное вещество имеет форму порошка белого цвета, также существует магний в кристаллическом виде – в данной форме он практически не растворяется в воде и не вступает в реакцию с целым рядом кислот. Если мы используем его в качестве порошка, то мы наблюдаем полностью противоположный эффект, при котором он растворяется в воде и отлично взаимодействует со всем кислотами, растворяясь в них. Примечательно, что при реакции с водой оксид магния образует гидроксиды. Помимо этого, оксид магния взрывоопасен и подвержен возгоранию, поэтому нужно работать с ним максимально аккуратно, соблюдая все меры предосторожности.

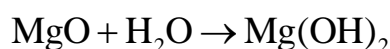
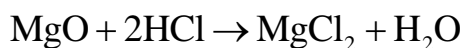
**Физические свойства** оксида магния. Представляет из себя порошок белого цвета, весьма рыхлой структуры, который прекрасно впитывает воду. Этот порошок часто используют при занятиях спортивной гимнастики – он наносится на руки спортсмена с целью убрать эффект скольжения на различных поверхностях.

Температура плавления - 2825 °С. Температура кипения - 3600 °С. Плотность = 3,58 г/см<sup>3</sup>.

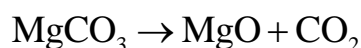
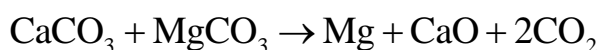
**Химические свойства.** Данный оксид реагирует со всевозможными кислотами в результате образуются различные соли. Также возможна реакция с



холодной водой, при которой будет создано соединение  $Mg(OH)_2$ . Также существует реакция с горячей водой, которая будет идти следующим образом



**Получение.** Для того, чтобы получить оксид магния нужно прибегнуть к использованию доломита и магнезита, которые в последствии обжигаются.



Нитрат магния (магниева селитра -  $Mg(NO_3)_2$ ) в обычных условиях представляет собой твердое вещество белого цвета кристаллической структуры. Безводный нитрат магния получают взаимодействием магния с  $N_2O_4$  с последующим отщеплением  $N_2O_4$ , гидратированный - реакцией  $MgCO_3$  или  $MgO$  с разбавлением  $HNO_3$ .

Гексагидрат магния - исходное соединение при синтезе оксида магния ( $MgO$ ) особой чистоты, нитратов других металлов, а также разложению соединений магния. Растворимость нитрата магния 6-водного в воде представлена в таблице 1.2 [10].

Таблица 1.2 – Растворимость нитрата магния 6-водного в воде

$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , г/100 г воды		
t, °C	S	Тв. ф.
-10	23,3	лед
-20	38,1	*
-30	49,7	*
-18	61,3	9+6
0	64	6
10	70,1	6
20	73,3	6
25	75,1	6
30	77,3	6
40	81,2	6

## 2 Расчетная часть

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

В предыдущем разделе было рассмотрено получение оксидов и гидроксидов на практике, а также их основные химические и физические свойства, с целью произвести оптимальные расчеты для водно-органических-нитратных растворов.

Низшая теплотворная способность, удовлетворяет следующему условию:  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} \geq 8,4$  МДж/кг. Для определения теплотворной способности было использовано следующее уравнение:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_{\text{H}}^{\text{C}}}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{H}}^{\text{C}}$  – низшая теплота сгорания органического компонента, кДж/кг;

$W$  – содержание воды,  $A$  – негорючих минеральных веществ в композиции, %; 2,5 – коэффициент для учета скрытой теплоту испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

В таблице 2.1 приведены значения низшей теплотворной способности  $Q_{\text{H}}^{\text{C}}$  различных органических веществ.

Таблица 2.1 – Показатели горючести различных органических веществ

Параметр	Вещество				
	Метанол	Этанол	Пропанол	Бутанол	Ацетон
$Q_{\text{H}}^{\text{C}}$ , МДж/кг	19,95	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 ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ), т.к. он обладает высокой теплотворной способностью, высокой взаимной растворимостью с водными растворами, а также легкой доступностью.

Требование достижения значения показателя  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} \geq 8,4$  МДж/кг для того чтобы смесь считалась горючей, является завышенным для большого числа

используемых в промышленности композиций, содержащих горючие компоненты с низкими значениями  $Q_n^c$ , но с высокой жаропроизводительностью. Более объективным показателем горючести водно-органического нитратного раствора является адиабатическая температура горения ( $T_{ад}$ ), которую оценивали по формуле (2.2) [1]:

$$T_{ад} = \frac{(100 - v_{ок})Q_n^p + v_{ок}C_{ок}t_{ок}}{100VC} \quad (2.2)$$

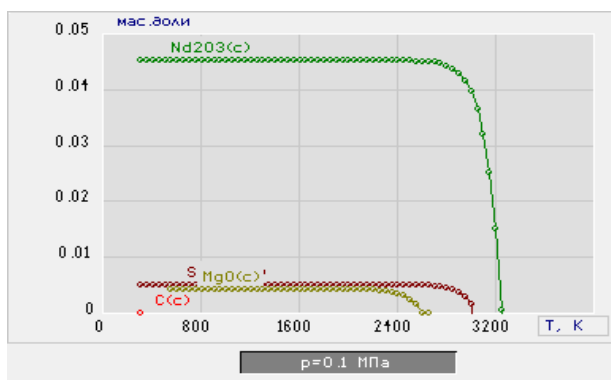
где  $v_{ок}$  – массовая доля окислителя (воздуха), %;  $C_{ок}$  – теплоемкость окислителя, кДж/(кг·К);  $t_{ок}$  – температура окислителя, К;  $V$  – удельный объем продуктов плазменной переработки ВОНР, м<sup>3</sup>/кг;  $C$  – объемная равновесная теплоемкость продуктов плазменной переработки ВОНР, кДж/(м<sup>3</sup>·К).

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

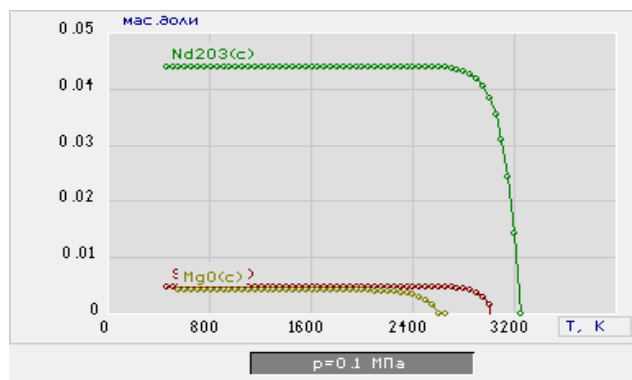
## **2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР**

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

На рисунках 2.1-2.4 представлены характерные равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза ОК из растворов ВОНР 1-4 на основе ацетона при  $\alpha = Sm/(Sm+Nd)=0,1$ .

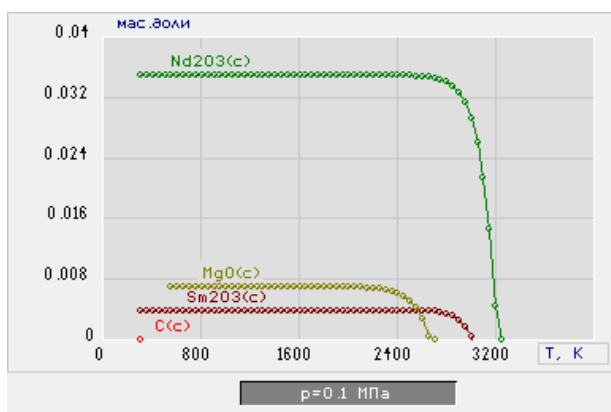


а)

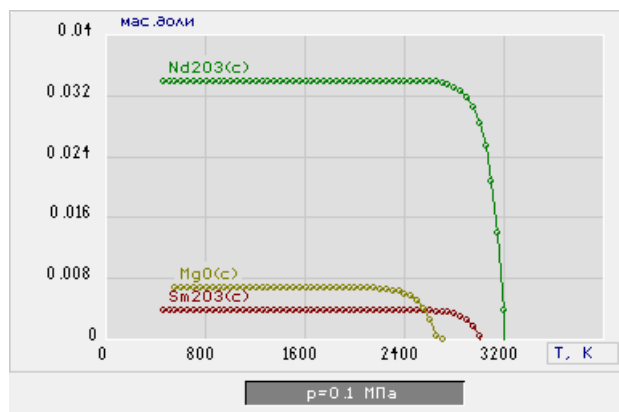


б)

Рисунок 2.1 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1 на основе ацетона при массовой доле воздуха 61 % (а) и 62 % (б): (MgO – 5 %)

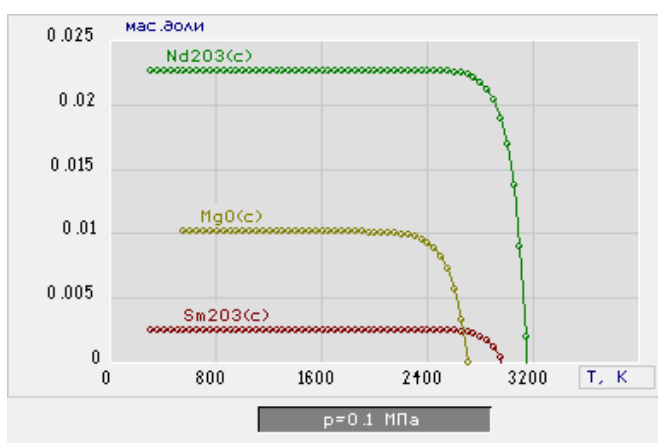


а)

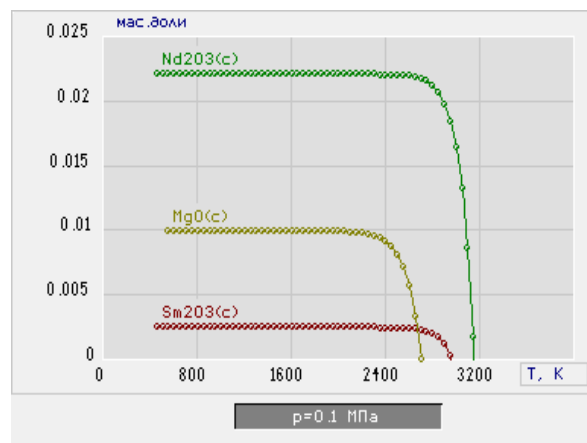


б)

Рисунок 2.2 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-2 на основе ацетона при массовой доле воздуха 61 % (а) и 62 % (б): (MgO – 10 %)

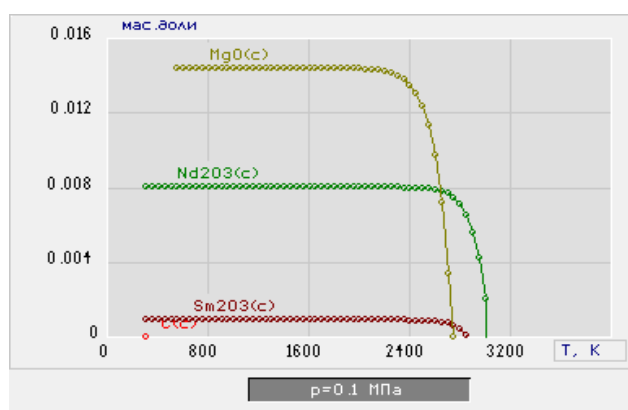


а)

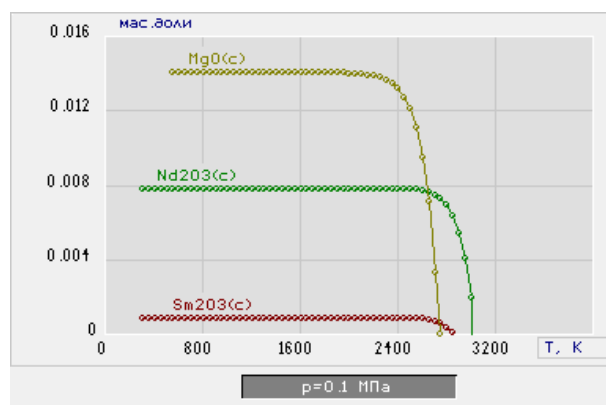


б)

Рисунок 2.3 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-3 на основе ацетона при массовой доле воздуха 61 % (а) и 62 % (б): (MgO – 20 %)



а)



б)

Рисунок 2.4 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной обработки раствора ВОНР-4 на основе ацетона при массовой доле воздуха 61 % (а) и 62 % (б): (MgO – 50 %)

Из анализа равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР на основе ацетона (рис. 2.1-2.4) следует, что при массовой доле воздуха 61 % основными продуктами в конденсированных фазах являются целевые оксиды  $\text{Sm}_2\text{O}_3(\text{c})$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{c})$  и  $\text{MgO}(\text{c})$ , которые образуют требуемые оксидные композиции ОК-1÷ОК-4. При этом также образуется углерод  $\text{C}(\text{c})$ , содержание которого резко возрастает при снижении массовой доли воздуха

менее 69 %. Повышение массовой доли воздуха с 61 % до 62 % не приводит к образованию углерода С(с) и не изменяет состав целевых продуктов. Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 62 % приведет лишь к уменьшению содержания целевых продуктов и снижению производительности данного процесса.

Результаты проведенных расчетов составов растворов ВОНР и массовые доли воздуха для плазмохимического синтеза требуемых топливных оксидных композиций водно-органических нитратных растворов самария, неодима и магния, включающих органический компонент, представлены в приложении А

Далее были проведены расчеты энергозатрат на процесс плазмохимического синтеза в воздушной плазме оксидных композиций, результаты которых представлены на рисунках 2.5–2.7.

Расчет общих энергозатрат на процесс плазменной переработки растворов ВОНР:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = I_T - I_{300}, \quad (2.3)$$

где  $I_T$  – энтальпия продуктов воздушно-плазменной переработки 1 кг ВОНР при температуре  $T$ , МДж/кг;  $I_{300}$  – энтальпия продуктов плазменной переработки ВОНР при температуре 300 К, МДж/кг.

Расчет и оценка удельных энергозатрат на получение 1 кг топливной оксидной композиции проводился по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}_{\text{общ}} / Z_{\text{ТОК}}, \quad (2.4)$$

где  $Z_{\text{ТОК}}$  – массовая доля топливной оксидной композиции в составе продуктов плазменной переработки раствора ВОНР.

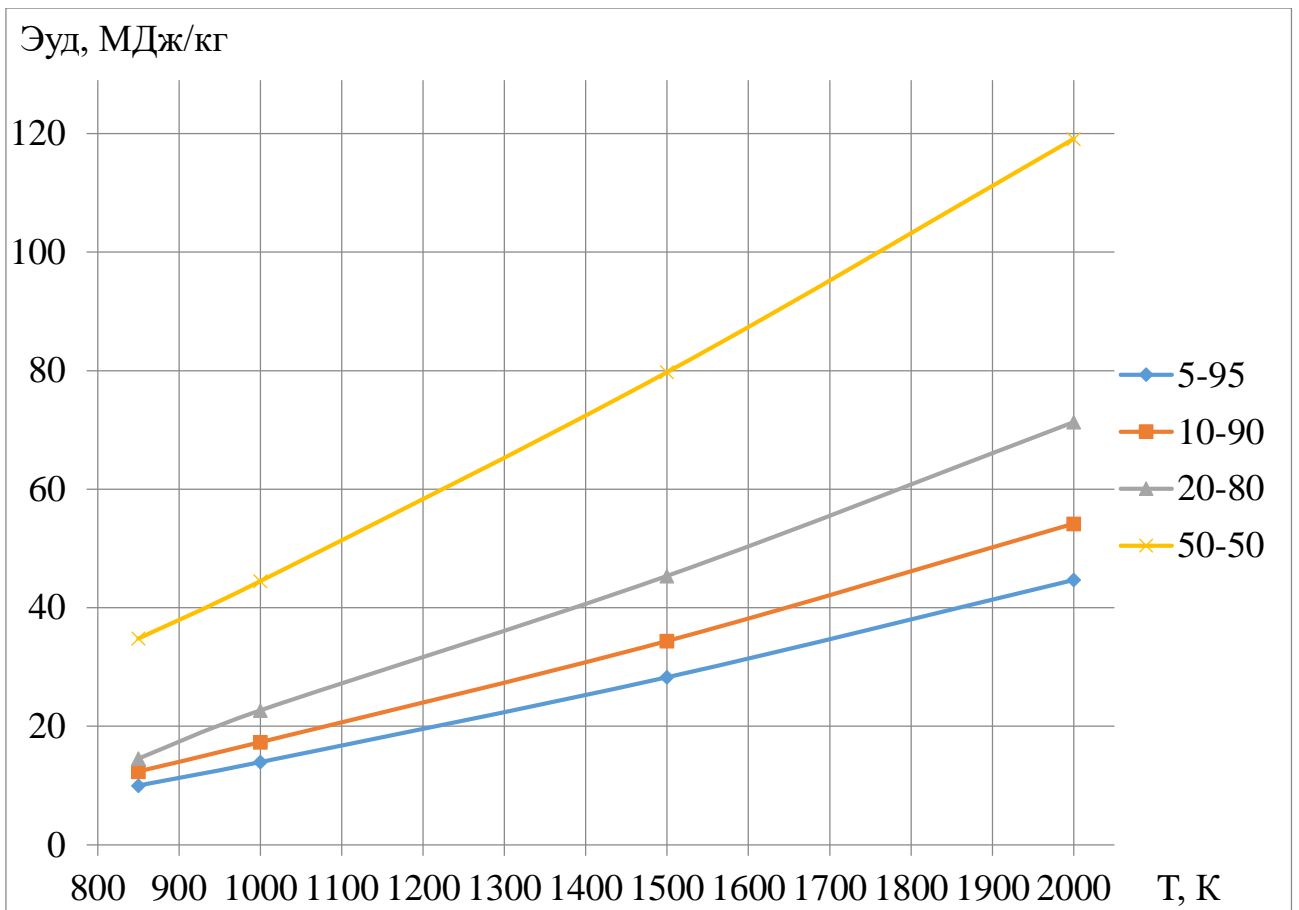


Рисунок 2.5 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР-1÷6 при  $\alpha=0,1$

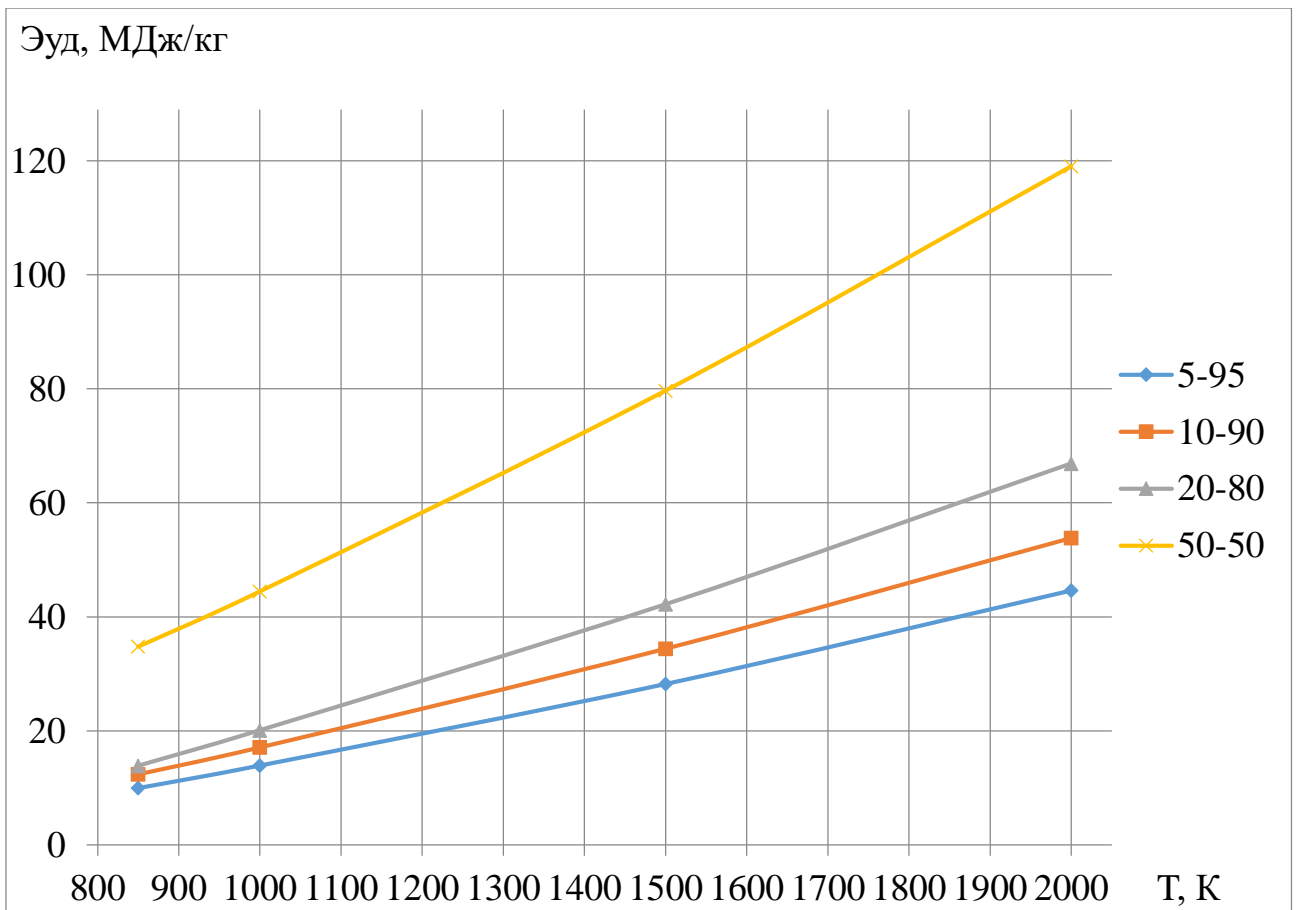


Рисунок 2.6 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР при  $\alpha=0,2$ .



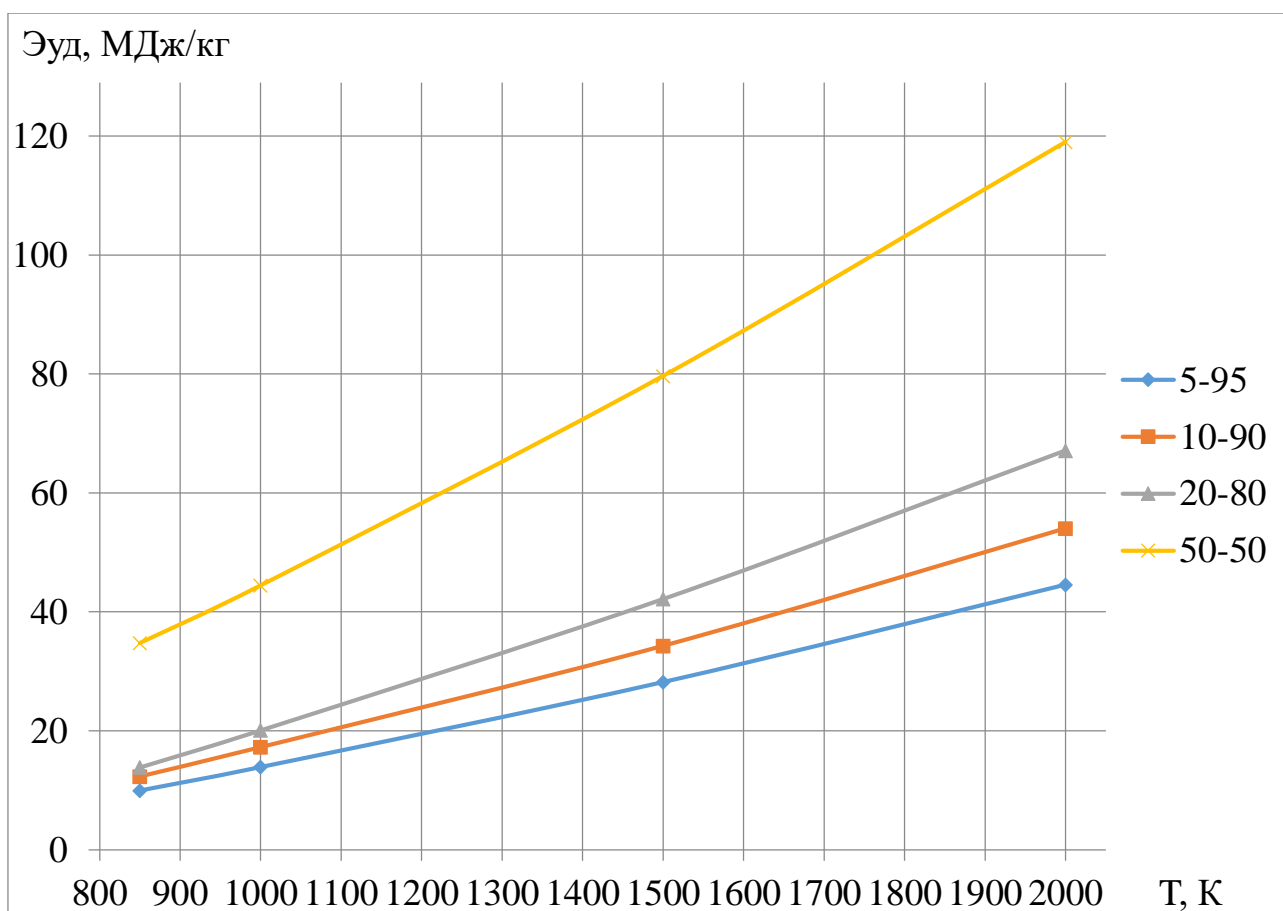


Рисунок 2.7 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций из растворов ВОНР при  $\alpha=0,3$ .

По результатам проведенных расчетов могут быть рекомендованы следующие оптимальные условия для процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций требуемого состава из растворов ВОНР: массовая доля воздушного плазменного теплоносителя не менее 61 %; рабочая температура  $1500 \pm 200$  К.

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазматрона

Исследования процесса плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов металлов в воздушно-плазменном потоке проводились при помощи ВЧФ-плазматрона, схема которого представлена ниже, на рисунке 3.1.

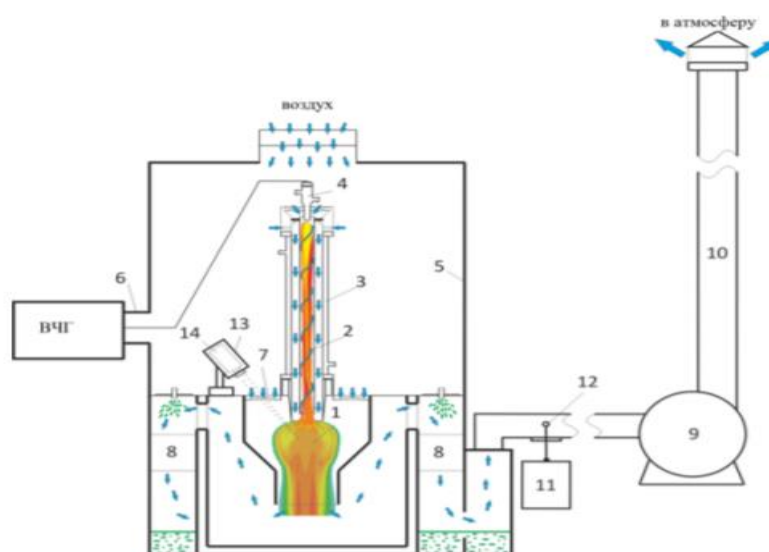


Рисунок 3.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазматрона:

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

Согласно схеме – высокочастотный ток подается через генератор к коаксиальному выводу, а затем к электроду, данный электрод охлаждается водой и сделан из меди. Сам электрод находится внутри плазматрона, позволяя генерировать плазменную струю, рабочая температура, которой составляет около 4000 К. Сама плазменная струя располагается внутри разрядной камеры

плазматрона – далее максимальной надежности – камера изготовлена из крепкого кварцевого стекла, которое выдерживает температуру нашей струи ( $d = 50$  мм,  $l = 860$  мм). В конструкции плазматрона также имеет мощный вентилятор, основная задача которого откачивать лишний воздух из узлов нашей установки.

В плазматроне располагается реактор – над которым установлен импеллер с крайне высокой пропускной способностью. Импеллер позволяет закручивать пропускной поток, который поступает внутрь реактора. Над импеллером установлен шибер, который позволяет контролировать весь процесс, следя за расходом прокачиваемого воздуха. Входная площадь реакторного шибера  $S_{\text{шиб}}$  регулируется в интервале  $0-1650$  см<sup>2</sup>. Реакторный шибер имеет входную площадь в диапазоне  $0 - 1650$  см<sup>2</sup>. Для того, чтобы контролировать вредные вещества – установка оборудована газоанализатором и пробоотборником. Также имеется возможность определять температуру, а также напор, скорость и расхода нашего плазменного потока - при помощи особы датчиков.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$V = \left[ \frac{2(P_{\text{П}} - P_{\text{СТ}})}{\rho} \right]^{0.5} \quad (3.2)$$

Конечное значение объёмного расхода воздуха через воздуховод находится по формуле:

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

где  $S$  – площадь поперечного сечения воздуховода.

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

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

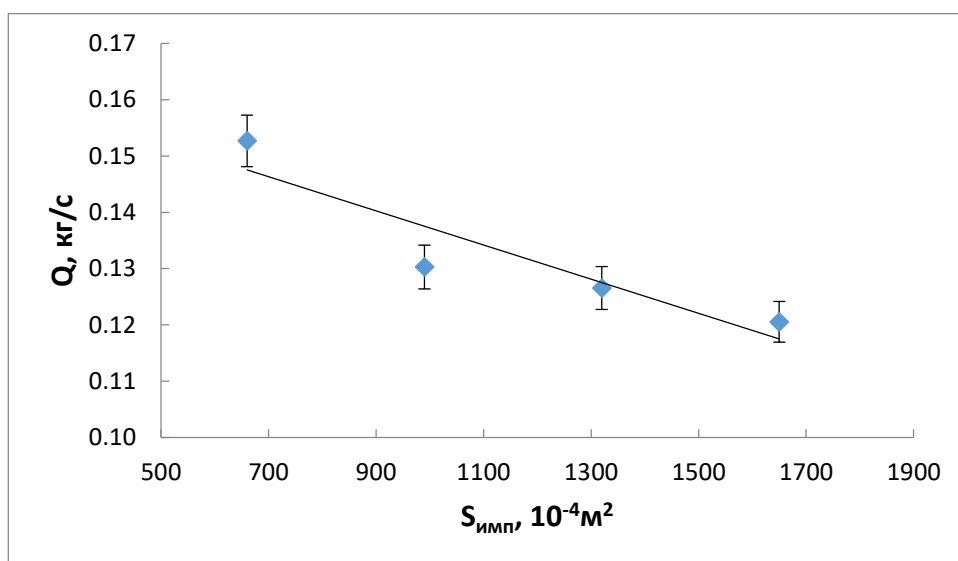


Рисунок 3.2 – Влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

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

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

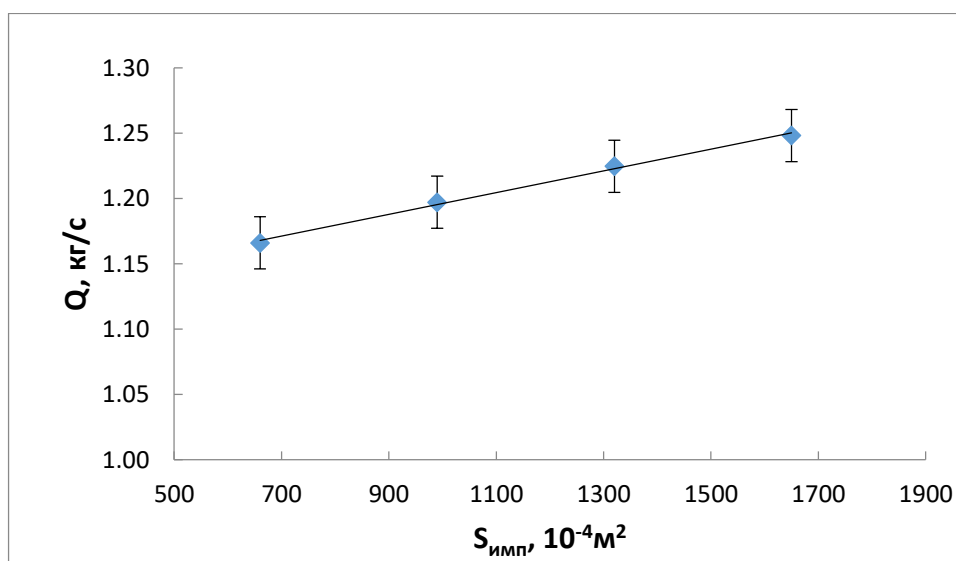


Рисунок 3.3 – Влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через газоход от площади импеллера реактора

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

### 3.3 Определение расхода воздуха через реактор

Чтобы рассчитать расход воздуха через реактор было использовано выражение:

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

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

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

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

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

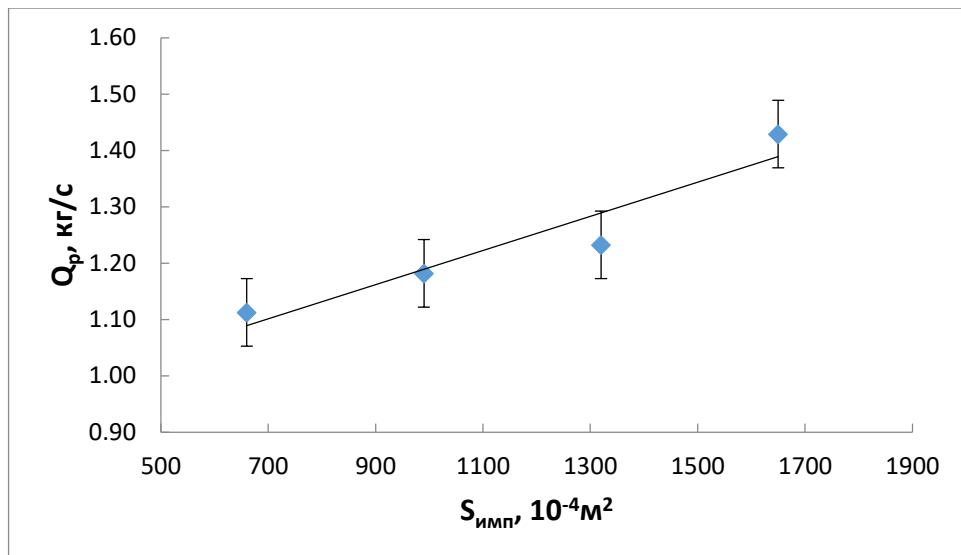


Рисунок 3.4 – Влияние величины входной площади импеллера реактора на массовый расход воздушного теплоносителя через реактор

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

### 3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона

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

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

где  $I_a$  – анодный ток, А;

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

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы:

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

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

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

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

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

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

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

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

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

Энтальпия плазменной струи:

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

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

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазматрона:

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

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

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

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

### **3.5 Методика проведения экспериментов**

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

Был подготовлен водный нитратный раствор (далее – ВНР) используя 1 литр дистиллированной воды, которую затем смешивалась с тремя литрами ацетона получив на выходе ВОНР. Созданные ВОНР подавались с постоянным расходом в размере 300 л/ч в диспергатор, который в последствии подавал их в плазменный поток, где синтезировались оксидные композиции при температуре  $T_p \geq 1000$  °С. Для того чтобы контролировать температуру использовался инфракрасный пирометр IPE 140/45, который был установлен по линии поглощения диоксида углерода. Смесь из пыли и паров газа после реактора попадала в узлы мокрой очистки, где происходило резкое охлаждение и закалка, для того чтобы замедлить рост частиц, а так же получить водные суспензии из полученных ОК. Очищенные отходящие газы забирались высоконапорным вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу. Полученные водные суспензии ОК помещали в емкости из нержавеющей стали, отбирали пробы для определения гранулометрического состава суспензий методом лазерной дифракции (ЛД). Затем водные суспензии ОК отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокачивали в течение 20 минут при температуре 120-150 °С.

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

Исследования морфологических, структурных, кристаллических и технологических свойств порошков ОК проводили на базе аналитического оборудования Центра коллективного пользования НОИЦ НМНТ ИШНПТ ТПУ (Научно-образовательный инновационный центр «Наноматериалы и нанотехнологии», Федеральное государственное автономное образовательное



учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»).

В первую очередь был рассмотрен гранулометрический состав полученных водных суспензий ОК – для этого использовался метод ЛД, который проводился на японском приборе SALD-7101. Для того, чтобы сопоставить полученный результат с другими порошками в схожей группе, была проведена выборка по параметру  $D_{50}$ , в виде медианного значения полученного распределения. Помимо этого, этот метод использовался для того, чтобы определить степень агломерации полученных порошков, при том, что прибор не учитывает структурного строения порошков, а лишь изучает их состав.

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

Помимо этого, был проведен рентгенофазовый анализ порошков, который был сделан на японском приборе XRD-7000. В качестве базы использовалась стандартная база PDF-4, которая является полностью бесплатной. Определяли фазовый состав порошков ОК, параметры кристаллической структуры обнаруженных фаз, а также средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР, кристаллитов). Отношение последних к размеру частиц по данным БЭТ характеризует морфологию и развитость поверхности частиц и может быть выражено количественно коэффициентом гигроскопичности  $K$ : форма частиц, для которых этот коэффициент меньше или приближается к единице, близка к равноосной; коэффициент больше единицы характеризует частицы с развитой поверхностью и/или с внутренними порами; коэффициент меньше единицы характеризует плотные агломераты, состоящие из нескольких кристаллитов. Степень агломерированности таких частиц количественно характеризует коэффициент агломерации  $Q$ , величина которого

определяется как отношение размера частиц по результатам ЛД к размеру ОКР (количество кристаллитов на линейном поперечном размере частицы).

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

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

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 5 % до 50 % в составе ОК (при  $\alpha=0,3$ ), полученных из растворов ВОНР-9,10,11,12 также приводит к снижению размера образующихся частиц ОК-9,10,11,12 с 7,8 до 4,7 мкм (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК также уменьшается с 15,2 м<sup>2</sup>/г до 11,9 м<sup>2</sup>/г (БЭТ-анализ).

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

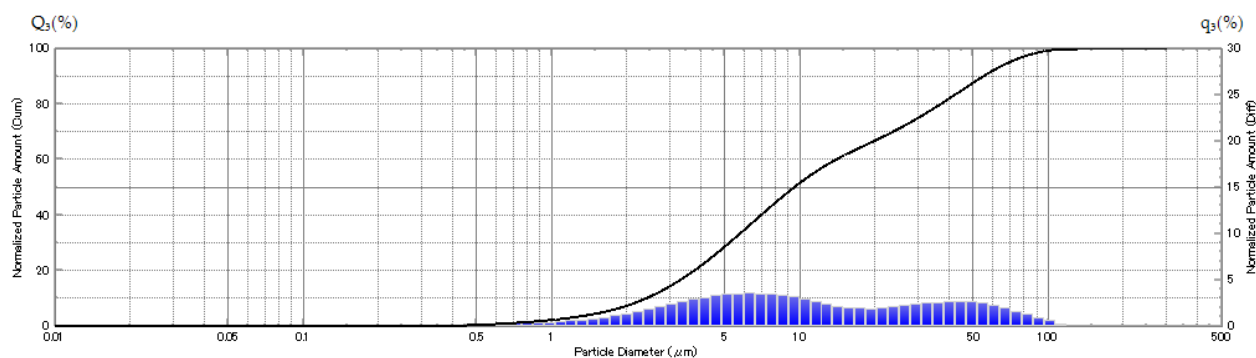


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения по размерам частиц водной суспензии ОК-4

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

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

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

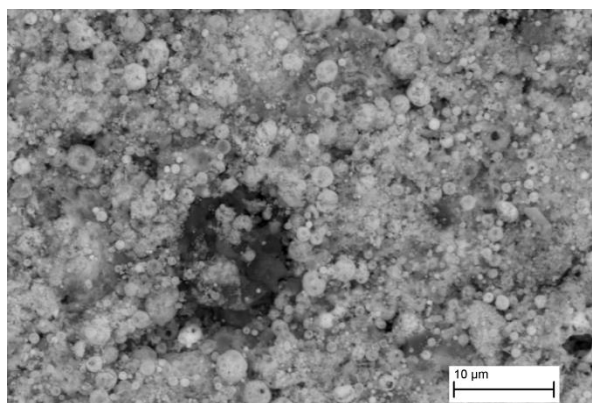


Рисунок 3.6 – СЭМ-изображение морфологической структуры порошка ОК-4

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

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

Насыпная плотность исследуемых проб порошков определялась по ГОСТ 27801-93 и для ОК-4 составила 0,441 г/см<sup>3</sup>. Свойства прессуемости, найденные по результатам прессования порошков, имеют характерные для

большинства оксидных материалов значения: уплотняемость порошка ОК-4 составляет 0,091; порошки принадлежит к 4 группе сложности прессования.

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

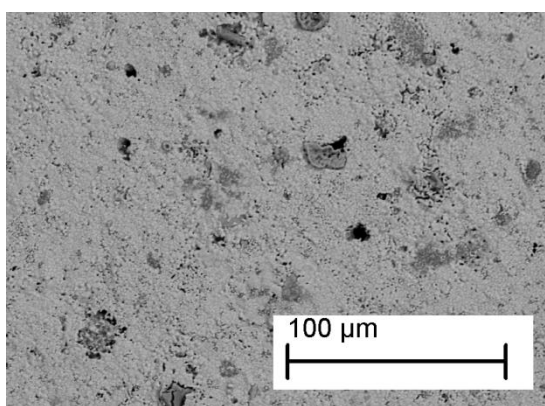


Рисунок 3.7 – Микрофотографии спеченной керамики из порошков ОК-4

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

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

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

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

## **4.1 Предпроектный анализ**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести инвестиционные компании, частных инвесторов, научно-исследовательские институты. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

Сегментировать рынок услуг по разработке математической модели можно по следующим критериям: формирование портфеля, управление портфелем.

Услуги по формированию портфеля:

- инвестиционные компании (Росатом);

Услуги по управлению портфелем:

- инвестиционные компании;

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В таблице 4.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя [11].

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

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

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

#### 4.1.3 SWOT-анализ

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

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде [12]. Интерактивная матрица данного научно-исследовательского проекта представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

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

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

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



Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>С1.</b> Одностадийность получения ДЯТ;</p> <p><b>С2.</b> Невысокая стоимость переработки сырья.</p> <p><b>С3.</b> Гомогенное распределение фаз в продукте с заданным стехиометрическим составом.</p> <p><b>С4.</b> Возможность активно влиять на морфологию частиц.</p> <p><b>С5.</b> Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии.</p> <p><b>С6.</b> Компактность необходимого оборудования.</p> <p><b>С7.</b> Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>Сл1.</b> Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p><b>Сл2.</b> Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов.</p> <p><b>Сл3.</b> Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p><b>Сл4.</b> Работа с модельными композициями.</p> <p><b>Сл5.</b> Большое количество возможных вариантов композиций.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Увеличение отходов ядерного производства.</p> <p><b>В2.</b> Уменьшение количества урана-235.</p> <p><b>В3.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p><b>В4.</b> Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p><b>В5.</b> Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</b></p> <p>1. ДЯТ, полученное плазмохимическим синтезом, совершеннее используемого сейчас ЯТ.</p> <p>2. Россия обладает сравнительно небольшими запасами урана-235, поэтому в недалеком будущем необходимо будет менять/усовершенствовать используемую технологию производства ЯТ.</p> <p>3. В случае успеха удастся переработать часть захороненного топлива.</p> <p>4. При благоприятном</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>

	раскладе станет возможным строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.	
<p><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p><b>У2.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p><b>У3.</b> Неудача эксперимента.</p> <p><b>У4.</b> Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b></p> <p>1. Качественные преимущества нового ДЯТ создают хорошую конкуренцию используемым методам производства ЯТ.</p> <p>2. Такие факты, как нехватка урана-235 и необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на новые технологии производства ЯТ.</p> <p>3. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных композиций обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной композицией или в случае прекращения финансирования.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b></p> <p>1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.</p>

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

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

Слабыми же сторонами являются: отсутствие прототипа научной разработки, отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов, отсутствие инжиниринговой компании, способной построить

производство под ключ, работа с модельными композициями, большое количество возможных вариантов композиций.

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 4.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2

12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	30

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации.

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как инжиниринг. Так как консультант имеет знания и опыт в оказании инженерно-технических услуг, но не имеет возможности построить собственное предприятие, заключается договор с заказчиком. Заказчик имеет собственное производство, но нуждается в дополнительном ведении узконаправленных проектов, которые выступают как вспомогательные для реализации рабочего процесса. Хотя методика и доступна в открытом доступе, необходимы ресурсы для найма сотрудников. В данном случае заказчику выгоднее заключать договор с компанией извне, а не создавать собственный отдел по расчету какой-либо составляющей процесса. Консультант же способен к выполнению

большого количества задач и гибкости в отношении их количества и потраченного на проект времени

## 4.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

### 1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ	Использование расчетов для увеличения производительности ВЧФ-плазматрона
Управляющие компании	Тестирование наноразмерных порошков области нанотехнологий, создание таблеток на основе дисперсионного ядерного топлива
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 4.6

Таблица 4.6 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния.
Ожидаемые результаты проекта:	Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, самария и магния, а также других редкоземельных, редких и рассеянных металлов.
Критерии приемки результата проекта:	Получение наноразмерных оксидных композиций
Требования к результату проекта:	Требование:
	Получение и исследование составов наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов.

### 1. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 4.7

Таблица 4.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Андреев Д.В., ТПУ, магистр	Моделирование и исследование процесса плазмохимическо го синтеза оксидных композиций в воздушно- плазменном потоке из ВОНР	Основной разработчик проекта	493
2	Каренгин А.Г., ТПУ, к.ф.м.н.	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	60
ИТОГО:				553

## 2. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	312572
3.1.1. Источник финансирования	ТПУ
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
3.2.2. Дата завершения проекта	22.05.2022

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

#### 4.2.1 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 4.9 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Внешний	Санкции, кризис	5	3	средний	Использование аналоговых альтернативных программ расчета	Изменение политической и международной конъюнктуры
2	Финансовый	Повышение уровня инфляции во время реализации проекта	3	3	средний	Использование более дешевых альтернативных химических реактивов	Изменение политической и международной конъюнктуры
3	Производственный	Изменение объемов или сроков работ	3	2	низкий	Модернизация ВЧФ-плазматрона	В зависимости от задач руководства

#### 4.2.2 Планирование научно-исследовательского проекта

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

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его



построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 4.10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона	И
	7	Анализ результатов работы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В данном подпункте составлен полный перечень проводимых работ исполнителей. Из таблицы 4.10 можно сделать вывод о том, что большая часть работы приходится на исполнителя.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 10.

Таблица 4.11 – Календарный план проекта

Код работ	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	3	01.02.2022	03.02.2022	Андреев Д.В. Каренгин А.С.
2	Календарное планирование работ по теме	4	04.02.2022	08.02.2022	Андреев Д.В.
3	Изучение материалов по теме	17	09.02.2022	28.02.2022	Андреев Д.В.
4	Анализ исходных параметров	7	01.03.2022	08.03.2022	Андреев Д.В.
5	Выбор метода выполнения работы	9	09.03.2022	18.03.2022	Андреев Д.В. Каренгин А.С.
6	Применение метода к исходным параметрам	35	19.03.2022	27.04.2022	Андреев Д.В.
7	Анализ результатов работы	16	28.04.2022	15.05.2022	Андреев Д.В.
8	Составление отчета по работе	6	16.05.2022	22.05.2022	Андреев Д.В.
ИТОГО:		97			

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

График строится в виде таблицы 11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.12 – Календарный план-график проведения работ

Код работ ы	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, Исполнитель	2	■											
2	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	4	■											
3	Изучение материалов по теме	Исполнитель	17		■	■									
4	Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР	Исполнитель	7					■							
5	Выбор метода выполнения работы	Научный руководитель, исполнитель	9					■	■						
6	Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона	Исполнитель	35								■	■			
7	Анализ результатов работы	Исполнитель	16											■	■
8	Составление отчета по работе	Исполнитель	6												■

■ – исполнитель, ■ – научный руководитель.

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

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

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

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

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

### 4.3.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на плазматроне и на компьютере. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на ацетон, нитрат самария  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ , нитрат неодима  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ . Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Ацетон	70	2,5 л.	175
Нитрат неодима $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	8000	2.5 кг	20000
Нитрат самария $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ .	9500	2,5 кг.	23750
Итого:	43925 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 43925 рублей. Самый дорогостоящий материал – нитрат самария, необходимое количество которого 2,5 кг, при цене за единицу 9500 рублей. Общая сумма всех материалов, за исключением нитрата самария составляет 20175 рублей.

### 4.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

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

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

Таблица 4.14 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-	1	15	10000000	10000000

	60/13-01				
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
<b>Итого:</b>	1045000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.2:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.2)$$

где  $n$  – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.3:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4.3)$$

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

$m$  – время использования, мес.

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

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

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

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

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

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

Персональный компьютер:

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

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

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

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет составила 0,06, а общая сумма амортизационных отчислений 200000 рублей. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 4950 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 204950 рублей.

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

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

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

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

$Z_{доп}$  – 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:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.5)$$

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

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}, \quad (4.6)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.7:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\partial}}, \quad (4.7)$$

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

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

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

Таблица 4.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники): -выходные; -праздничные.	66	66
Отпуск	56	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251



Исполнитель во время написания диплома ежемесячно получает стипендию в размере МРОТ 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- доплата за работу во вредных условиях труда;
- оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_z, \quad (4.8)$$

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

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

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 35000. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$ , руб.	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ , дн	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	35000	45500	2170	8	17920
Исполнитель	13890	18057	863	63	54369
Итого $Z_{осн}$	72289 руб.				

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

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

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	17920	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2688	8155
Зарплата исполнителя, руб.	20608	62524
Итого по статье С <sub>зп</sub> , руб.	83132 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 20608 руб, а исполнителя – 62524 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 83132 рублей.

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30,2%.

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,302$$

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

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 20608 = 6223 \text{ руб.}$$

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

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 62524 = 18882 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и исполнителя, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 6223 руб., а для исполнителя 18882 рубля.

#### 4.3.5 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (\text{сумма статей 1-6}), \quad (4.11)$$

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

Накладные расходы составят:

$$З_{накл} = (25105 + 43925 + 204950 + 83132) \cdot 0,16 = 57137 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
204950 руб.	43925 руб.	72289 руб.	10843 руб.	25105 руб.	357112 руб.	57137 руб.	414249 руб.

В итоге бюджетная стоимость составила 414249 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 57137 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

#### 4.4 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 4.12:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.12)$$

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

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

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.19.

Таблица 4.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3	3

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

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (4.13)$$

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

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{414249}{450000} = 0,9$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\max}} = \frac{410000}{450000} = 0,91$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{450000}{450000} = 1$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_\phi^p} \quad (4.14)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_\phi^a} \quad (4.15)$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_\phi^p} = \frac{4,25}{0,89} = 4,72$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_\phi^a} = \frac{3,65}{0,91} = 4$$

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 4.16:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_p} \quad (4.16)$$

Таблица 4.20 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	3,15	4,25
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4	3,15	4,72
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1	1,11

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

#### 4.5 Оценка абсолютной эффективности НИ

Для оценки общей экономической эффективности используются основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

*Чистая текущая стоимость (NPV)* – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{ont}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (4.17)$$

где:  $ЧДП_{ont}$  – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t= 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

*Коэффициент дисконтирования* рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t},$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования;

$t$  – шаг расчета.

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1	2	3	4
2	Итого приток, руб.	0	375000	575000	800000	800000
3	Инвестиционные издержки, руб.	0	375000	575000	800000	800000
4	Операционные затраты, руб.	414249	0	0	0	0
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	70000	90000	110000	110000
6	Налоги, руб.	0	305000	485000	690000	690000
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	61000	97000	138000	138000
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	0	244000	388000	552000	552000
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	-414249	244000	388000	552000	552000
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	1	0,83333	0,69444	0,57870	0,48225
12	$\sum \text{ЧДД}$	644176,9259				
12	Итого NPV, руб.	229927,9259				

**Индекс доходности (PI)** – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1,$$

где: ЧДП - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Если  $PI > 1$ , то проект является эффективным.



*Внутренняя ставка доходности (IRR).* Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

*Дисконтированный срок окупаемости.*

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.22).

Таблица 4.22 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток, руб.	-414249	0,833333	0,69444	0,57870	0,48225
2	То же нарастающим итогом, руб.	-414249	-210915	58528,77	377973,2	644176,9
3	Дисконтированный срок окупаемости	<b><math>DP_{дск} = 2,2</math> года</b>				

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что проект эффективен с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, что подтверждается расчетом NPV, который оказался больше нуля. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 2,2 года.

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

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и исполнителя, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 97 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал исполнитель – 97 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 12;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 414249 руб.;

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

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,9, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,72, по сравнению с 4 и 3,15;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,72, по сравнению с 4 и 3,15, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5. Оценка абсолютной эффективности НИ показала, что проект является эффективным с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, со сроком окупаемости 2,2 года.

## **5 Социальная ответственность**

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

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

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

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

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

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

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 [13].

## 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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

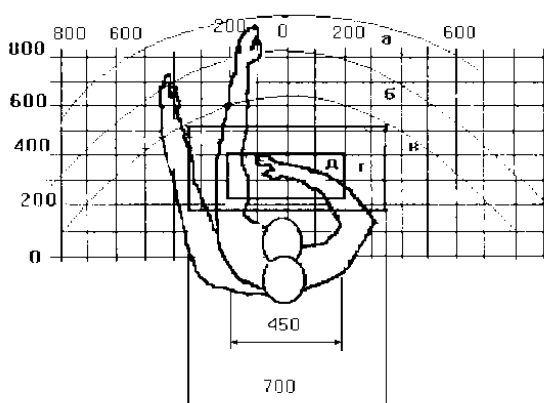


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно [14].

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

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

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

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [14].

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 [14].

## **5.2 Производственная безопасность**

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

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

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

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [15].

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

Таблица 5.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами.	Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [23].
Работа на плазменной установке.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [22], СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [22].
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [21].
Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [16], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [22].

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

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

Биологические и химические вредные производственные факторы в лаборатории № 001А–10 корпуса ТПУ отсутствуют.



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

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона [15] они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>.

#### 5.3.1 Отклонение показателей микроклимата

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

Таблица 5.3 – Оптимальные параметры микроклимата

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

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [15].

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

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [7].

В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной

вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью  $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$ .  
Объем лаборатории №001А составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 6 \text{ м} \cdot 12 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 504 \text{ м}^3. \quad (5.1)$$

Данный вентилятор обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории:

$$BO = \frac{Q}{V} = (2400 \div 4400) / 504 = 4,8 \div 8,7. \quad (5.2)$$

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой лаборатории №001А–10 учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы.

### **5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения**

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока, и является источником ВЧ-излучения. Генератор полностью экранирован. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения [16].

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

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [16].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [16].
- Таким образом установлено, что в лаборатории №001А–10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам.

### 5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [15].

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

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.
- В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:

- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;

- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [15].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (5.3)$$

где  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50 \%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{II} = 70 \%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для светодиодных лент  $Z = 1,1$ .

Выбираем светодиоды Varton 9w, световой поток которых равен  $\Phi_{лд} = 2900$  Лм.

Выбираем светильники со светодиодами типа Dioga LPO. Этот светильник имеет две светодиодные ленты мощностью 9 Вт каждая, длина светильника равна 1260 мм, ширина – 124 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (5.4)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухлентовых светильников Dioga:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Из формулы

$$\Phi_l = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} \quad (5.6)$$

находим число светодиодных лент  $N$

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_l \cdot \eta}. \quad (5.7)$$

$\eta$  определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 6}{2(6 + 6)} = 1,5. \quad (5.8)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Dioga со светодиодными лентами при  $\rho_{\Pi} = 70 \%$ ,  $\rho_c = 50 \%$  и индексе помещения  $i = 1,5$  равен  $\eta = 0,52$ .

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_l \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,52} = 11,81 \text{ лент;}$$

Принимаем количество светодиодных лент 12. При этом получается 6 светильников, т.е. 2 ряда по 3 светильника.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_l = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 2856 \text{ Лм.}$$

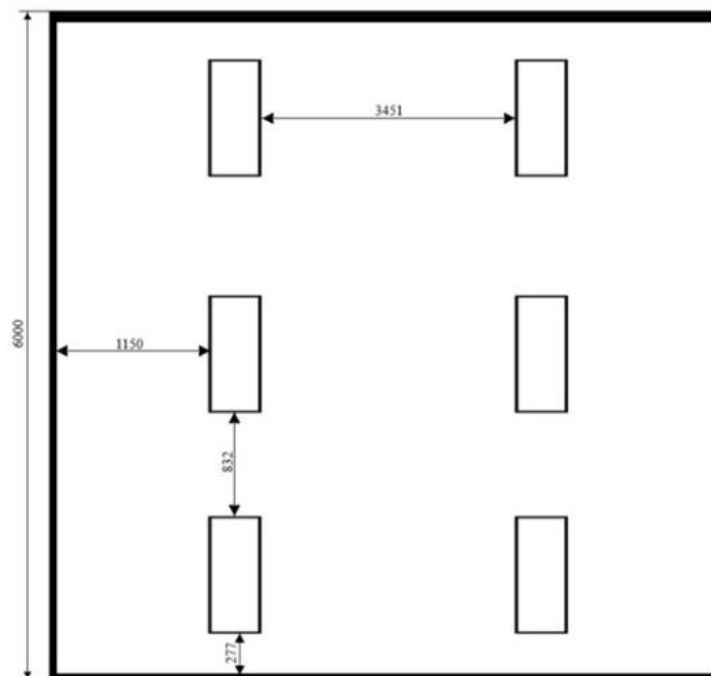
Из условий равномерности освещения определяем расстояния  $L_1$  и  $\frac{L_1}{3}$ ,

$L_2$  и  $\frac{L_2}{3}$  по следующим уравнениям:

$$6000 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 2 \cdot 124; L_1 = 3451 \text{ мм}, \frac{L_1}{3} = 1150 \text{ мм}; \quad (5.9)$$

$$6000 = 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 3 \cdot 1260; L_2 = 832 \text{ мм}, \frac{L_2}{3} = 277 \text{ мм}; \quad (5.10)$$

На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения светильников



со светодиодными лентами в лаборатории №001А–10 учебного корпуса ТПУ.

Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{-10\% \leq (\Phi_{л\partial} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\partial}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (5.11)$$

$$\frac{(\Phi_{л\partial} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\partial} \cdot 100\%} = \frac{(2900 - 2856)}{2900 \cdot 100\%} = 1,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 12 \cdot 9 = 108 \text{ Вт.}$$

Расчётное количество светильников фактически установлено в лаборатории №001А–10 учебного корпуса ТПУ.

### 5.3.4 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБ, что соответствует санитарным нормам [17].

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

Таблица 5.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

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

### 5.3.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-

психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [15].

### **5.3.6 Поражение электрическим током**

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой [18].

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 [18].

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 [15].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [18].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [18].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [18].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [18].

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения [18].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [18]:

- 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;
- 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 [15].

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

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

#### **5.4 Экологическая безопасность**

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

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и ВЧФ-плазматрон не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет [15].

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте [15]:

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

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии [15].

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 до сотен лет.

## **5.5 Химическая безопасность**

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

В таблице 5.6 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [19].

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные [19].

Таблица 5.6 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

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

Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных движимых лопастей. Скорость потока воздуха через газоход (вентиляцию) равна 18,76 м/с.

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты: резиновые перчатки, лабораторный халат, респиратор «лепесток» [20].

## **5.6 Пожарная и взрывная безопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [4]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к

помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [21]:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является этанол.

Все работы с этанолом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29 % (по объему), азота – 43 % (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1 % (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену [21].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [21].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [21].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных

правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [15].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [15]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [21]:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по

телефону – 112;

– принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

## **5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

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

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

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 5.7 рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидация их последствий.

Таблица 5.7 – Чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидация последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112); Вызов скорой медицинской помощи
2	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Травмирование	Проведение вводного и	Вызов скорой медицинской

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
	в результате падения с высоты	<p>повторного (через 6 мес.) инструктажа;</p> <p>Создание систем предупреждения падений;</p> <p>Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте</p>	<p>помощи (тел. 030, 112);</p> <p>Оказание первой помощи</p>



## Выводы по разделу

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:

- микроклимат [15];
- шум и вибрация [17];
- электромагнитное излучение [16];
- освещенность [15];
- психофизиологические факторы [15];
- химическая безопасность [19];
- электробезопасность [22];
- пожаро-взрывобезопасность [4].

Помещение № 001А–10 корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [22];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [21].

Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных расчетов установлены закономерности влияния органического компонента (ацетона) на показатели горючести водно-органических нитратных растворов самария, неодима, магния и определены составы растворов ВОНР, имеющие низшую теплотворную способность  $\approx 8,4$  МДж/кг и обеспечивающие энергоэффективный синтез оксидных композиций «оксид самария-оксид неодима-оксид магния», адиабатическая температура горения  $T_{ад} \approx 1500$  К.

2. По результатам термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР в широком диапазоне температур (300÷4000) К установлены закономерности влияния массовой доли воздушного теплоносителя на состав образующихся продуктов и определены условия, обеспечивающие в воздушной плазме синтез оксидных композиций «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO»: массовая доля воздуха не менее 61 %; температура 1500±200 К.

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 – 14,5 кВт; расход раствора ВОНР – 300 л/ч; расход воздуха – 1,2 кг/с; частота вращения ротора диспергатора – 50 Гц; расход воды на «закалку» оксидных композиций – 2,8 кг/с.

4. Осуществлен плазмохимический синтез оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР и исследованы их физико-химические свойства. Установлены закономерности влияния массовой доли матрицы (оксид магния) на площадь удельной поверхности и размер получаемых ОК. Показано, что при постоянном расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) увеличение массовой доли MgO в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» от 5,0 до 50 % при  $\alpha=0,1\div0,3$  приводит к увеличению удельной поверхности порошков ОК с 10,0

м<sup>2</sup>/г до 21,0 м<sup>2</sup>/г и уменьшению размера кристаллитов в составе ОК с 79 нм до 38 нм.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

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

## Список использованных источников

1. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 160 с.
2. Сергеев Г.Б. Нанохимия - М.: Изд-во МГУ, 2003. - 288 с.
3. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы - М.: Академия, 2005. - 192 с.
4. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 760 с.
5. Toumanov I. V., Galkin A.F., Gracev V.G., Rousanov V.D. Little-Invetigated Fields in Plasma Technology of Conversion of Solutions and Melts // 14th Intern. Symposium on Plasma Chemistry. Prague, Czech Republic, August 2-6, 1999. Symposium Proceedings. V. 5. P. 2507-2512.
6. Бойко В. И. Топливные материалы в ядерной энергетике / В. И. Бойко, Г. Н. Колпаков, О. В. Селиванова. Томск : Изд-во ТПУ, 2008. 186 с.
7. Галкин Н. П. Технология переработки концентратов урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин. М. : Атомиздат, 1960. 162 с.
8. Химия и технология фтористых соединений урана / Н. П. Галкин, А. А. Майоров, У. Д. Верятин, Б. Н. Судариков, Н. С. Николаев, Ю. Д. Шишков, А. Б. Крутиков. М. : Госатомиздат, 1961. 348 с.
9. Никольский Б.П. и др. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы» / Справочник химика. Т 3, 1965.
10. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. — М.: Высшая школа, 1970. — 192 с.
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 73 с.

12. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
13. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
14. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ».
15. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона».
17. СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
18. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность».
19. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
20. ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
21. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность».
22. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность».
23. ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества».

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Расчет состава растворов ВОНР, включающих органический компонент, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при  $\alpha = 0,1$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Q <sub>нр</sub>
		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
$\alpha = 0,1$		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-1	9,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 85,5%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	3,28	30,16	8,66	34,89	23	6,3
OK-2	9%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 81%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	2,53	23,28	14,11	37,07	23	6,3
OK-3	8%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 72%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	1,64	15,10	20,59	39,65	23	6,2
OK-4	5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 45%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	0,56	5,21	28,43	42,78	23	6,1

Таблица А2 – Расчет состава растворов ВОНР, включающих органический компонент, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при  $\alpha = 0,2$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Q <sub>нр</sub>
		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
$\alpha = 0,2$		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-5	19%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 76%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	6,56	26,84	8,67	34,90	23	6,3
OK-6	18%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 72%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	5,06	20,71	14,12	37,08	23	6,3
OK-7	16%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 64%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	3,28	13,43	20,61	39,66	23	6,2
OK-8	10%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 40%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	1,13	4,63	28,44	42,78	23	6,1

Таблица А3 – Расчет состава растворов ВОНР, включающих органический компонент, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» при  $\alpha = 0,3$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Q <sub>нр</sub>
		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
$\alpha = 0,3$		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-9	28,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 66,5%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	9,86	23,52	8,68	34,92	23	6,38
OK-10	27%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 63%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	7,61	18,14	14,14	37,09	23	6,32
OK-11	24%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 56%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	4,93	11,76	20,62	39,67	23	6,26
OK-12	15%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 35%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	1,70	4,05	28,45	42,79	23	6,18



Таблица А4 – Результаты расчетов определения оптимальных композиций «Воздух-ВОНР» при  $\alpha = 0,1$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Воздух, %
$\alpha = 0,1$		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-1	9,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 85,5%-Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	1,24	11,46	3,29	13,26	8,74	62
OK-2	9%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 81%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	0,96	8,84	5,36	14,08	8,74	62
OK-3	8%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 72%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	0,62	5,73	7,82	15,07	8,74	62
OK-4	5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 45%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	0,21	1,98	10,80	16,25	8,74	62

Таблица А5 – Результаты расчетов определения оптимальных композиций «Воздух-ВОНР» при  $\alpha = 0,2$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Воздух, %
$\alpha = 0,2$		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-5	19%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 76%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	2,49	10,20	3,29	13,26	8,74	62
OK-6	18%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 72%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	1,92	7,87	5,36	14,09	8,74	62
OK-7	16%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 64%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	1,24	5,10	7,83	15,07	8,74	62
OK-8	10%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 40%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	0,43	1,76	10,80	16,25	8,74	62

Таблица А6 – Результаты расчетов определения оптимальных композиций «Воздух-ВОНР» при  $\alpha = 0,3$

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР					Воздух, %
$\alpha = 0,3$		Соль, %			H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	
		Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O			
OK-9	28,5%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 66,5%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5%-MgO	3,750	8,939	3,300	13,271	8,74	62
OK-10	27%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 63%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10%-MgO	2,893	6,896	5,374	14,097	8,74	62
OK-11	24%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 56%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 20%-MgO	1,875	4,470	7,838	15,077	8,74	62
OK-12	15%-Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 35%- Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 50%-MgO	0,647	1,541	10,811	16,261	8,74	62

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Измерение расхода воздуха через газоход

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

Таблица Б2 – Измерение расходов воздуха через плазматрон

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

Таблица Б3 – Измерение расхода воздуха в реакторе

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

Таблица Б4 – Полученные значения при проведении исследования и оптимизации режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона

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

Таблица Б5 – Определение температуры воздушной плазменной струи и установочного КПД установки

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

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

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



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### **Research on the plasma-chemical synthesis of nanostructured oxide compositions from water-organic nitrate solutions of neodymium, samarium, and magnesium**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Андреев Дмитрий Викторович		

Консультант лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зеремская Юлия Александровна	к.филол.н.		

## Introduction

The obvious advantages of using low-temperature plasma as a raw material for the synthesis of various oxide compositions are:

- 1) high speed of compounds formation;
- 2) single stage formation;
- 3) ability to influence the morphology and size of particles;
- 4) compactness of technological equipment.

However, despite all the obvious advantages of such operations, they require a lot of costs in terms of energy consumption - the energy costs that can be up to 4 MW·h/t, so the appearance of oxide compositions is possible only if additional hydrogen reducing agent is available.

Substantial reduction of energy consumption can be achieved in the air-plasma flow during plasma chemical synthesis of complex oxide compositions (including rare earth metal oxides and a matrix of refractory metal oxides with a high thermal conductivity factor) from dispersed water-organic nitrate solutions that include an organic component (alcohols, ketones, etc.). Plasma processing of such aqueous-organic nitrate solutions (AONS solutions) leads to a reduction (up to 0,1 MW·h/t) of specific energy consumption for their processing, significantly improving the performance of plasma equipment, and also provides conditions in plasma chemical reactor for direct synthesis in air plasma of nanosized complex oxide compositions with a uniform phase distribution, high thermal conductivity, as well as stoichiometry.

For the first time after the plasma chemical reactor it is proposed to apply cooling (quenching) of plasma chemical synthesis products in centrifugal-barbotage apparatuses to control the physical and chemical properties of the obtained powders of complex oxide compositions (particle size and morphology, specific surface, granulometric and phase composition).

## Calculation of combustibility and composition of aqueous-organic nitrate solutions

The lower calorific value of aqueous-organic nitrate solutions was determined by the equation:

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

where  $Q_H^c$  - lower calorific value of the combustible component, MJ/kg;

W – the content of water, A - noncombustible minerals in the composition, %;

2,5 - coefficient for the accounting of the latent heat of water evaporation at 0 °C, MJ/kg.

Table 2.1 shows the values of the lower calorific value  $Q_H^c$  of various organic substances.

Table 2.1 Combustion performance of various organic substances

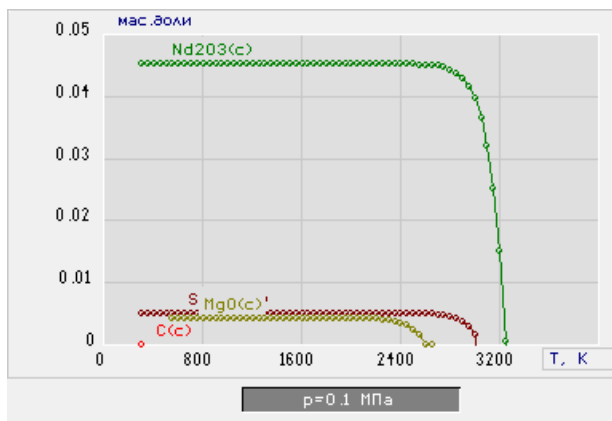
Parameter	Substance				
	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	Acetone
$Q_H^c$ , MJ/kg;	19,95	26,8	31,4	33,5	31,5
Temperature of flash point, °C	284	285	285	302	254
Auto-ignition temperature, °C	658	619	673	618	738

Acetone ( $C_3H_6O$ ) was used as a combustible component because it has a high calorific value, high mutual solubility with aqueous solutions, and easy availability.

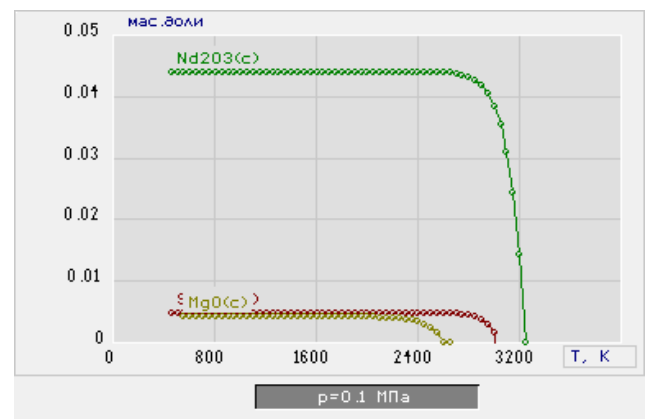
## Thermodynamic modeling of the process of plasma chemical processing of AONS solutions

Thermodynamic calculations of the equilibrium compositions of the products of plasma processing of AONS solutions were performed using the licensed program for thermodynamic calculation of the composition of phases of arbitrary heterogeneous systems "TERRA". Calculations were performed at atmospheric pressure (0.1 MPa), in a wide range of temperatures (300-4000 K) and mass fractions of air plasma coolant (10-90 %).

Figures 2.1-2.6 show the characteristic equilibrium compositions of products of plasma-chemical synthesis of oxide compositions (OC) from acetone-based aqueous-organic nitrate solution AONS solutions at  $\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})=0.1$

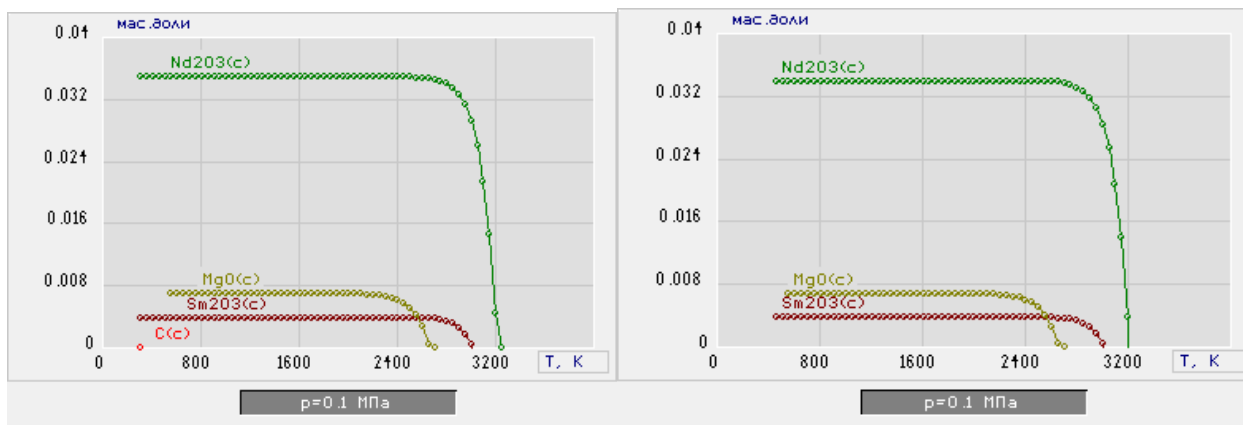


a)



b)

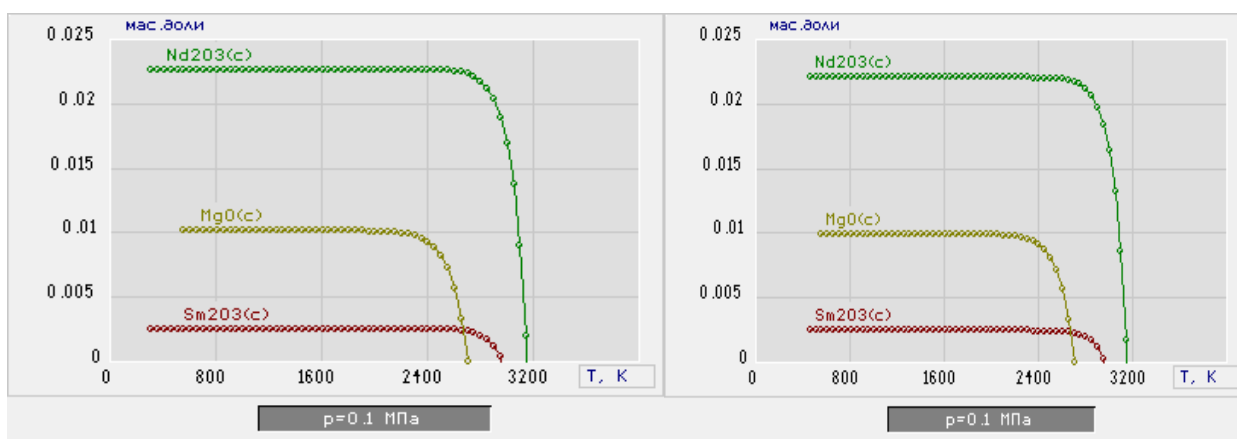
Figure 2.1 - Influence of temperature on the equilibrium composition of the condensed products of plasma processing of acetone-based AONS solution when the mass fraction of air is 68 % (a) and 69 % (b) (MgO - 5 %)



a)

b)

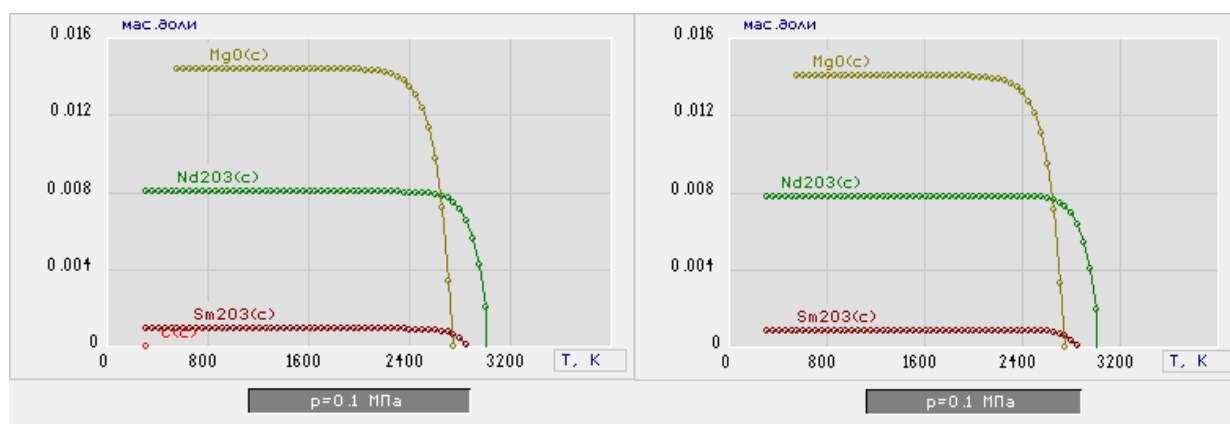
Figure 2.2 - Influence of temperature on the equilibrium composition of the condensed products of plasma processing of acetone-based AONS solution when the mass fraction of air is 61 % (a) and 62 % (b) (MgO - 10 %)



a)

b)

Figure 2.3 - Influence of temperature on the equilibrium composition of the condensed products of plasma treatment of acetone-based AONS when the mass fraction of air is 61 % (a) and 62 % (b) (MgO - 20 %)



a)

b)

Figure 2.4 - Influence of temperature on the equilibrium composition of the main products of plasma treatment of acetone-based AONS solution when the mass fraction of air is 61 % (a) and 62 % (b) (MgO - 50 %)

From the analysis of equilibrium compositions of the products of plasma processing of acetone-based AONS solutions (Fig. 2.1-2.4) it follows that when the mass fraction of air is 61 %, the main products in condensed phases are the target oxides  $\text{Sm}_2\text{O}_3(\text{c})$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{c})$  and  $\text{MgO}(\text{c})$ , which form the required oxide compositions. At the same time, carbon  $\text{C}(\text{c})$  is also formed, the content of which increases sharply when the mass fraction of air decreases below 69 %. The increase of the air mass fraction from 61 % to 62 % does not lead to the formation of carbon  $\text{C}(\text{c})$  and does not change the composition of the target products. A further increase in the air mass fraction above 62 % will only lead to the decrease in the content of the target products and reduce the productivity of the process. Further calculations of energy consumption for the process of plasma chemical synthesis in air plasma of oxide compositions have been carried out, the results of which are presented in Figures 2.7-2.9.

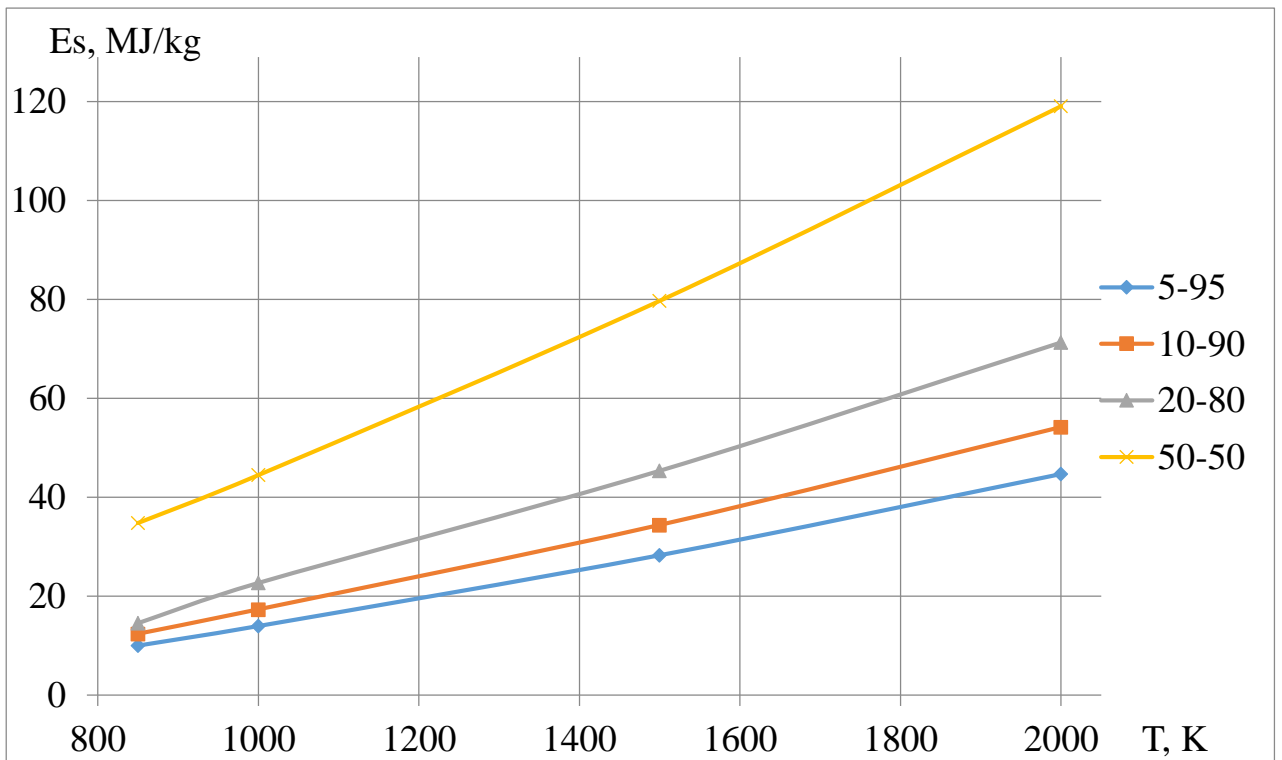


Figure 2.7 – Specific energy consumption for the process of plasma chemical synthesis of oxide compositions from AONS solutions at  $\alpha=0.1$

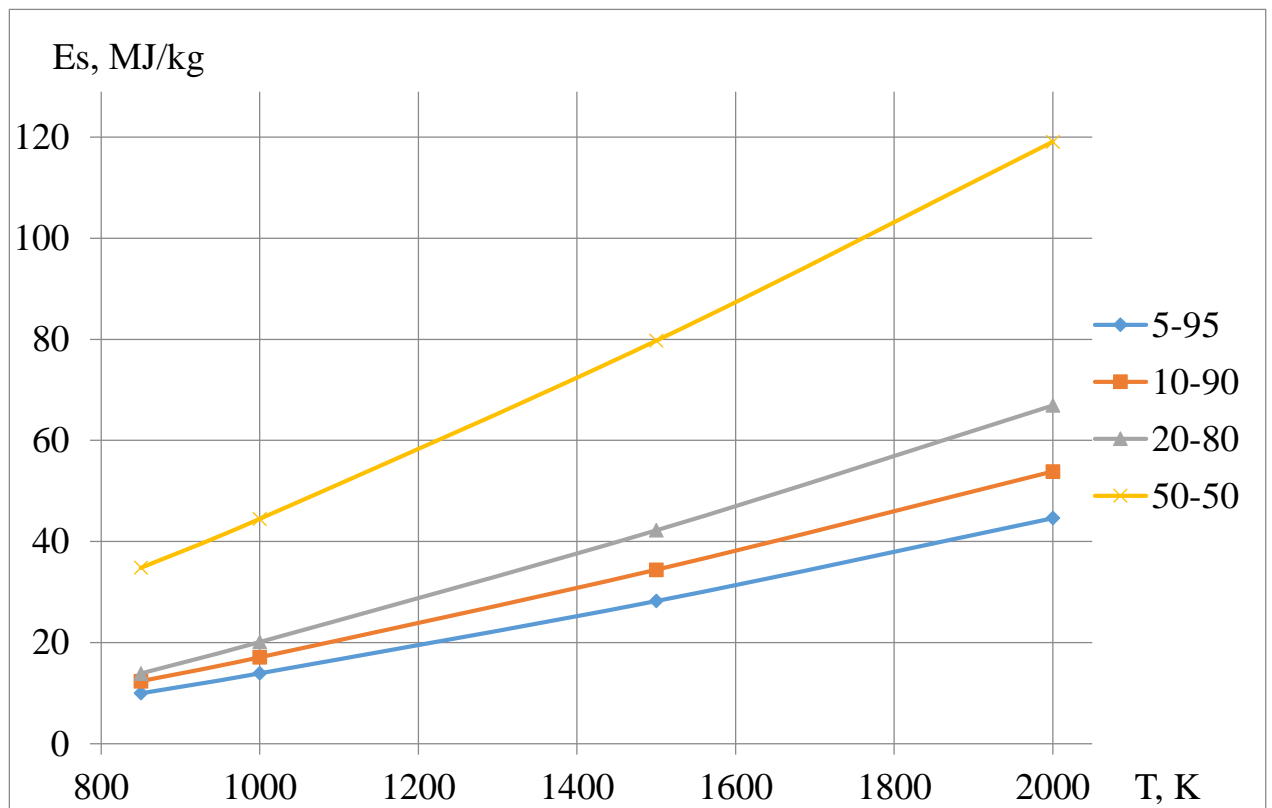


Figure 2.8 – Specific energy consumption for the process of plasma chemical synthesis of oxide compositions from AONS solutions at  $\alpha=0.2$

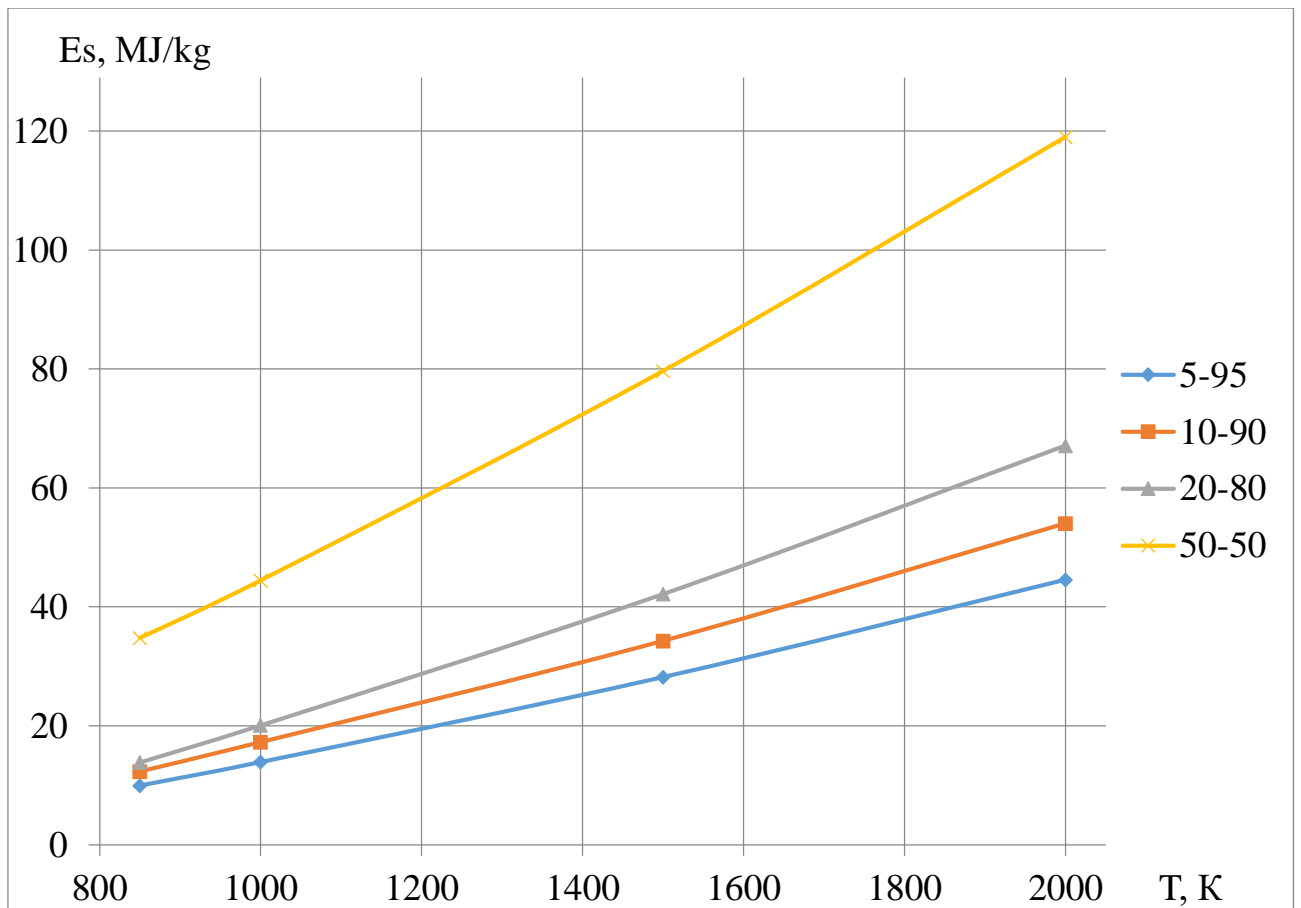


Figure 2.9 – Specific energy consumption for the process of plasma chemical synthesis of oxide compositions from AONS solutions at  $\alpha=0.3$

Based on the results of the calculations, we can recommend the following optimal conditions for the process of plasma chemical synthesis of oxide compositions of the required composition from the AONS solutions: mass fraction of air plasma coolant should not be less than 61% and operating temperature should be  $1500 \pm 200$  K.



## Experimental part

### Description of the experimental setup based on the HFF-plasmatron

Studies of the process of plasma processing of dispersed water-organic nitrate metal solutions in the air-plasma flow were carried out on a plasma bench based on the HFF-plasmatron, the scheme of which is shown in Figure 3.1.

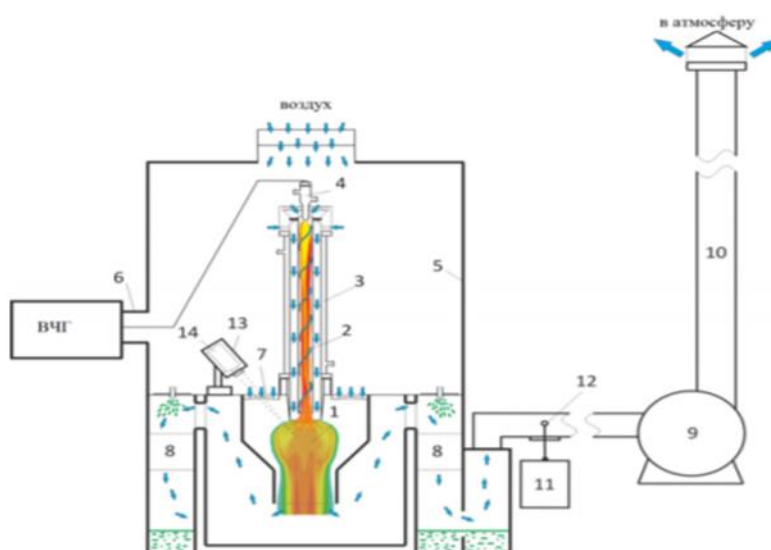


Figure 3.1 - Schematic diagram of plasma bench based on HFF-Plasmatron:  
1 - dispersant, 2 - HFF-plasma discharge, 3 - HFF-plasma torch; 4 - copper electrode,  
5 - housing; 6 - coaxial lead; 7 - reactor impeller; 8 - "wet" exhaust gas purification  
unit; 9 - extractor fan (BP 12-26, №4), 10 - air duct, 11 - gas analyzer "Quintox" KM  
9106, 12 - sampler; 13 - protective cover of pyrometer, 14 - pyrometer IPE 140/45,  
HFG - high-frequency generator HFG8-60/13-01

High-frequency current is supplied from a high-frequency generator through 3 coaxial lead (6) to electrode (4) made of copper and cooled with water. The electrode is structurally located in the HFF plasma torch (3), which directly generates a plasma jet (average mass temperature 4000 K). The plasma jet burns inside the discharge chamber of the plasmatron, which is made of quartz glass ( $d = 50$  mm,  $l = 860$  mm). The powerful fan (9) performs pumping of air through the gas duct from the

following assemblies of plasma-chemical unit: HFF-Plasmotron (3) and plasma-chemical reactor.

Above the plasma-chemical reactor there is an impeller, which has a flow area  $S_{gf} = 25 \text{ cm}^2$ . Structurally, the impeller is necessary to perform twisting of the inlet flow, which is pumped through the reactor. Above the impeller there is a slide gate (7), which controls the flow rate of the pumped air. The inlet area of the reactor slide is regulated in the range  $S_{sl} = 0 - 1650 \text{ cm}^2$ . To control the concentration of harmful gaseous substances (e.g. CO, NO, NO<sub>2</sub>) in the exhaust gases a gas analyzer (11) equipped with a sampler (12) is used. In addition, with the help of the gas analyzer and Pitot tube it is possible to determine such parameters of the air flow as pressure, speed and flow rate. A non-contact pyrometer (14) is used to control the temperature of the air-plasma flow in the plasma chemical reactor.

### **Investigation of HFF plasma torch operating modes**

Thermal power losses were calculated on heat-stressed elements of HF generator, which were cooled with water (anode of generator lamp, grid inductance), and HFF plasma torch (electrode, housing) and thermal physical parameters of plasma torch (efficiency, enthalpy, temperature of air plasma jet, etc.) were determined. Calculated ratios are presented below.

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

where  $I_a$  – anode current, A;

$U_a$  – voltage at the generator lamp anode, kV.

Thermal power dissipated at the generator lamp anode:

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

where  $m_a$  – mass flow rate of water, kg/s;

$C_p$  – temperature change of cooling water, °C;

$\Delta t_a$  – heat capacity of water, kcal/kg·°C.

Using the same formula, we can calculate the heat power dissipated at the grid inductance, electrode plasmatron body.

HFF discharge power was calculated by the formula:

$$P_{\text{dis}} = P_0 - (P_a + P_c + P_e), \text{ kW} \quad (3.7)$$

The power of the plasma jet is defined as the difference between the HFF discharge power and the power dissipated on the plasma torch body:

$$P_{\text{jet}} = P_{\text{dis}} - P_{\text{ptb}}, \text{ kW} \quad (3.8)$$

The enthalpy of the plasma jet:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{\text{dis}}}{Q_{\text{gf}}}, \text{ kJ/kg} \quad (3.9)$$

where  $H_0$  – the enthalpy of the gas mixture at 300 K;

$Q_{\text{gf}}$  – mass flow rate of plasma-forming gas, kg/s.

Efficiency factor of HFF-plasma torch:

$$\eta_{\text{ue}} = \left( \frac{P_{\text{jet}}}{P_{\text{dis}}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.10)$$

Setting efficiency of the plasma stand:

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

The obtained data are shown in Appendix B. The operating mode of the plasma torch was selected so that the temperature of the flame jet was not less than the ignition temperature of the combustible component of the reprocessed AONS solution.



## Conclusion

1. As a result of the calculations the regularities of the influence of the organic component (acetone) on the combustibility of water-organic nitrate solutions of samarium, neodymium, magnesium have been established and the compositions of AONS solutions with a lower calorific value of  $\approx 6.3$  MJ/kg and providing energy-efficient synthesis of oxide compositions "samarium oxide-neodymium oxide-magnesium oxide" have been determined.

2. According to the results of thermodynamic simulation of the process of plasma processing of AONS solutions in a wide temperature range (300÷4000) K, the regularities of the influence of the mass fraction of the air coolant on the composition of the products formed were determined and the conditions providing the synthesis of oxide compositions " $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ " in air plasma were determined: air mass fraction should not be less than 61 %; temperature should be  $1500\pm 200$  K.

3. In the course of experimental studies the operating modes of the plasma bench based on the HFF-plasma torch, providing effective plasma processing of dispersed solutions of BONR in the air-plasma flow were determined: HFF-discharge power – 14,5 kW; AONS solution flow rate - 300 l/h; air flow rate – 1,2 kg/s; dispersant rotor rotation frequency - 50 Hz; water flow rate for "quenching" of oxide compositions - 2.8 kg/s.

4. Plasma-chemical synthesis of oxide compositions in the air-plasma flow from dispersed solutions of AONS and studied their physical and chemical properties. The influence of the mass fraction of the matrix (magnesium oxide) on the specific surface area and the size of the obtained oxides was determined. It was shown that constant water consumption for hardening (2.8 kg/s) and disperser frequency (35 Hz) resulted in increase of MgO mass fraction in OC " $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ " from 5,0 to 50 % at  $\alpha=0,1\div 0,3$ , which increased the OC specific surface area from 10,0  $\text{m}^2/\text{g}$  to 21,0  $\text{m}^2/\text{g}$  and decrease of crystallite size in OC composition from 79 nm to 38 nm.

The results of our research can be used to create an energy-efficient technology for the plasma-chemical synthesis of nanosized oxide compositions from dispersed water-organic nitrate solutions of neodymium, samarium and magnesium, as well as other rare-earth, rare and scattered metals.