

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

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Плазмохимический синтез оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и магния

УДК 66.091:533.9:661.846'022:661.865.7'022

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кузнецов Сергей Юрьевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные компетенции		
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (Ук1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК- 6, 19-23).
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).
Общепрофессиональные		
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14,).
Профессиональные компетенции		
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).

	значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).	
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.	Требования ФГОС (УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и про- грамм испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Отделение школы – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ П.Н. Бычков
« ___ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кузнецову Сергею Юрьевичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и магния	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 22-69/с от 22.01.2021 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	12.06.2021 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима- оксид магния». Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	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.

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

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Расчетная часть	доцент ОЯТЦ ИЯТШ Каренгин А.Г.
Экспериментальная часть	доцент ОЯТЦ ИЯТШ Каренгин А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШБИП ТПУ Клемашева Е.И.
Социальная ответственность	доцент ОЯТЦ ИЯТШ Тимченко С.Н.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.01.2021 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кузнецов С.Ю.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кузнецову Сергею Юрьевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 «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>	<i>Бюджет проекта – не более 270891 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 37775 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2% Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,3 баллов из 4,7</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>15% премии; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Описание потенциальных потребителей. Оценка конкурентоспособности НИ. Определение возможных альтернатив проведения НИ. SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования. Расчет бюджета НИ.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение: интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Диаграмма Ганта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.01.2021 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Е.И.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кузнецов С.Ю.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кузнецову Сергею Юрьевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР:

Плазмохимический синтез оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и магния
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правовые нормы трудового законодательства; – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ; – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 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.
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.01.2021 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кузнецов С.Ю.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 16 рисунков, 28 таблиц, 21 источник, 32 формулы.

Ключевые слова: плазма, высокочастотный факельный разряд, ВЧФ-плазмотрон, водно-органический нитратный раствор, оксидная композиция, матрица.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций «оксид неодима–оксид магния» из водно-органических нитратных растворов.

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций «оксид неодима–оксид магния» из водно-органических нитратных растворов.

В процессе исследований проводились: расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов неодима и магния на основе ацетона; термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «оксид неодима–оксид магния» из этих растворов в воздушной плазме; определение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

В работе определены составы водно-органических нитратных растворов, включающие неодим, магний и органический компонент (ацетон), а также режимы их переработки, обеспечивающие прямой синтез в воздушной плазме наноразмерных оксидных композиций «оксид неодима–оксид магния».

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

Определения

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

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования воздушно-плазменных потоков.

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

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

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

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

Рентгенофазовый анализ – метод исследования структурных характеристик материала при помощи дифракции рентгеновских лучей.

БЭТ-анализ – метод математического описания физической адсорбции, основанный на теории полимолекулярной (многослойной) адсорбции.

Обозначения и сокращения

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

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ– высокочастотный генератор.

ВНР – водный нитратный раствор.

ВОНР – водно-органический нитратный раствор.

ОК – оксидная композиция.

ОТВ – обратная технологическая вода.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия.

РФА – рентгенофазовый анализ.

Содержание

Введение.....	15
1 Обзор литературы	16
1.1 Материалы для матрицы оксидной композиции	16
1.1.1 Матричные материалы на основе металлов.....	16
1.1.2 Алюминий и его сплавы.....	17
1.1.3 Магний и его сплавы	18
1.1.4 Интерметаллические соединения.....	18
1.1.5 Матричные материалы на основе оксидов металлов	19
1.2 Методы получения оксидных композиций	21
1.2.1 Методы отдельного получения.....	21
1.2.2 Золь-гель метод	21
1.2.3 Получение оксидов из уранилнитрата.....	21
1.2.4 Термическое разложение полиуранатов аммония.....	22
1.2.5 Получение оксидов из аммонийуранилтрикарбоната.....	22
1.2.7 Плазмохимические методы получения оксидных композиций ..	23
1.2.8 Метод переработки газообразных соединений.....	24
1.2.9 Метод переработки капельного жидкого сырья.....	24
1.2.10 Метод переработки твердого сырья.....	25
2 Расчетная часть	27
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов	27
2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР	28
3 Экспериментальная часть	34

3.1	Описание экспериментальной установки.....	34
3.2	Определение расходов воздуха через плазматрон и газоход.....	35
3.3	Определение расхода газа через реактор	38
3.4	Исследование режимов работы ВЧФ-плазматрона.....	39
3.5	Методика проведения экспериментов	41
3.5.1	Исследование физико-химических свойств оксидных композиций	42
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
4.1.1	Анализ потенциальных потребителей исследования.....	46
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	46
4.1.2	SWOT-анализ.....	49
4.2	Определение возможных альтернатив проведения исследований	51
4.3	Планирование научно-исследовательских работ	51
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	51
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	52
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	56
4.4.1	Расчет материальных затрат	56
4.4.2	Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ	57

4.4.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	58
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	61
4.4.5 Накладные расходы.....	62
4.5 Определение ресурсной эффективности проекта.....	63
4.5.1 Определение финансовой и ресурсной эффективности проекта.....	63
5 Социальная ответственность.....	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	67
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	69
5.2 Производственная безопасность.....	71
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	71
5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.....	72
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата.....	72
5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	73
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	74
5.3.4 Превышение уровня шума.....	75
5.3.5 Психофизиологические факторы.....	76
5.3.6 Поражение электрическим током.....	77
5.4 Экологическая безопасность.....	79
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80

5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования	80
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС	81
Выводы	84
Заключение	86
Список используемых источников.....	87
Приложение А	89
Приложение Б.....	91
Приложение В	93

Введение

Используемые в настоящее время керамические материалы в виде оксидных композиций имеют низкую теплопроводность, что приводит к высоким термическим нагрузкам и существенно снижает их физико-химические и технологические свойства.

Недостатками методов отдельного получения оксидных композиций являются их многостадийность, продолжительность, неравномерное распределение фаз, высокие энерго- и трудозатраты, что существенно снижает их конкурентоспособность.

Применение плазмы для плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных смешанных водных нитратных растворов металлов позволяет получать с высокой скоростью высокодисперсные порошки с равномерным распределением фаз. Однако плазменная переработка только водных нитратных растворов требует высоких затрат электрической энергии (до 4 кВт·ч/кг).

Снижение энергозатрат при плазмохимической переработке водно-нитратных растворов металлов можно достигнуть путем добавления органических горючих компонентов (спирты, кетоны), это обеспечит более энергоэффективный процесс плазмохимической переработки с равномерным распределением и требуемым составом фаз.

1 Обзор литературы

1.1 Материалы для матрицы оксидной композиции

Одним из компонентов дисперсионного ядерного топлива является матрица. В качестве материалов матрицы могут использоваться металлы, их сплавы, оксиды, нитриды, интерметаллиды, а также неметаллы, такие как например, графит [1]. Так как процентное содержание матрицы может составлять до 80%, то одним из важнейших требований применяемым к материалам матрицы является малое поперечное сечение захвата тепловых нейтронов, хорошая теплопроводность, радиационная и коррозионная устойчивость, низкая стоимость, хорошие физико-механические характеристики в широком диапазоне температур, а также пластичность в рабочих температурах активной зоны реактора и химическая совместимость с материалами [1].

Также материал матрицы должен иметь температуру плавления выше рабочих температур, обладать высокими механическими, теплофизическими свойствами, должен быть устойчивым к радиации и не иметь фазовых превращений. Кроме того, необходимо учитывать доступность и стоимость материалов [1].

1.1.1 Матричные материалы на основе металлов

Создание дисперсионного ядерного топлива привлекло внимание разработчиков из-за его высокой теплопроводности, а также малых поперечных сечений захвата нейтронов.

Дисперсионное ядерное топливо с металлическими матрицами обладает хорошей теплопроводностью, высокой прочностью, коррозионно-устойчивостью, при облучении незначительно изменяет свои размеры под воздействием облучения, а также обеспечивает высокую степень выгорания топлива.

В таблице 1.1 представлены некоторые свойства металлов, которые могут быть применены в качестве матрицы.

Таблица 1.1 – Свойства металлов

Металл	Температура плавления, К	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Поперечное сечение тепловых нейтронов, 10^{-24} см	Поведение при растворении в HNO_3
Вольфрам	3660,0	673 К – 144,00 1200 К – 112,00	19,2	Высокая скорость растворения
Молибден	2890,0	600 К – 151,50 1200 К – 127,00	2,7	То же
Хром	2176,0	720 К – 73,70 1200 К – 62,85	3,1	Cr пассивирует
Цирконий	2128,0	600 К – 24,60 1200 К – 27,40	0,18	
Железо	1811,0	773 К – 47,50 1313 К – 25,00	2,6	Fe пассивирует
Никель	1728,0	800 К – 68,00 1200 К – 75,50	4,6	Низкая скорость растворения
Инконель	1680	293 К – 15,20 673 К – 20,00		
Алюминий	940	293 К – 236,0 673 К – 228,0	0,24	

При использовании металлов в качестве матрицы важно также учитывать поведение системы «топливо–матрица». Некоторые возможные сочетания приведены в таблицах ниже [3, 12].

1.1.2 Алюминий и его сплавы

Алюминий (и его сплавы) используется в исследовательских реакторах из-за низкой прочности и недостаточной коррозионной устойчивости. Однако эти недостатки незначительно влияют на работу исследовательского реактора с рабочими температурами до 100 °С, в то же время он обладает хорошими ядерными и теплофизическими свойствами, низкой стоимостью и стойкостью в воде [4,7].

Для улучшения механических свойств алюминий легируют, однако это снижает и благоприятные свойства алюминия [4].

В таблице 1.2 приведены механические свойства некоторых сплавов алюминия.

Таблица 1.2 – Механические свойства некоторых сплавов алюминия до и после облучения потоком нейтронов $(1,3-1,8) \cdot 10^{21} \text{ см}^{-1}$

Марка сплава	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
	До/после облучения	До/после облучения	До/после облучения
АД1	95/180	47/120	38/21
САВ-1	290/330	245/280	11/10
6061 (61 S) (США)	315/350	270/310	17,5/16

1.1.3 Магний и его сплавы

Магний имеет плохие механические свойства, вследствие чего его легируют. Также механические свойства магния зависят от температуры, способа его получения, а также чистоты, данные зависимости представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3– Механические свойства магния

Температура, °С	Состояние Mg	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
20	Литой	113	24,5	8,0	9,0
	Деформированный	196	88,2	11,5	12,5
100	Литой	91	–	18,0	–
	Деформированный	–	–	–	–
200	Литой	55	24,5	28,0	–
	Деформированный	59	–	42,5	36,5
300	Литой	24,5	–	58,0	–
	Деформированный	19,6	15,7	58,5	95,5
400	Литой	8,4	–	80,0	–
	Деформированный	9,8	4,9	60,0	93,5

1.1.4 Интерметаллические соединения

Керамические композиции с матрицей из интерметаллических соединений обладает хорошими физико-механическими свойствами, такими как высокая температура плавления, высокая прочность и сопротивление ползучести. Однако у интерметаллидов есть очень важный недостаток – хрупкость при определённых температурах, что существенно ограничивает область их применения. Интерметаллиды, обладающие наиболее хорошими

физико-механическими свойствами? в основном состоят из металлов, обладающих хорошими свойствами сами по себе, такие как Ni_3Al , $NiAl$, $ZrAl_2$, $TiAl$. Сплавы на основе интерметаллидов также обладают теми же преимуществами, что и сами интерметаллиды. Например, сплавы на основе алюминидов пластичны, устойчивы к коррозии [5, 6].

1.1.5 Матричные материалы на основе оксидов металлов

Наибольшее количество исследований посвящено оксидным матрицам. Это обусловлено тем, что наибольшее применение нашли оксиды урана и плутония в качестве ядерного топлива. В качестве оксидной матрицы ядерного топлива в основном рассматривают оксиды алюминия, магния, церия, иттрия и циркония (таблица 1.4).

К преимуществам оксидов металлов можно отнести их высокую температуру плавления, высокую прочность при сжатии, они не подвержены окислению в области высоких температур.

Оксид алюминия обладает высокой прочностью, сохраняемой и при высоких температурах, химической стойкостью.

Оксиды магния обладают низкой термической стойкостью, летуч при высоких температурах, а также способен к гидратации на воздухе.

Оксид циркония имеет хорошие физико-механические свойства, обладает инертной природой, однако при температурах ниже температуры плавления у него имеется три типа кристаллической структуры. Недостатком является относительно низкая теплопроводность, которую можно повысить, добавляя шпинель.

Таблица 1.4 – Основные физико-механические свойства оксидов металлов

Свойства	Соединение оксидов				
	Al ₂ O ₃	MgO	CeO ₂	Y ₂ O ₃	ZrO ₂
Температура плавления, °С	2054	2827	~2400	2430	2710
Давление пара, мм рт. ст.	~10 ⁻⁹ (1950 °С)	~10 ⁻⁴ (1727 °С)	2 · 10 ⁻⁷ (1500 °С) 6 · 10 ⁻⁵ (2000 °С)	2 · 10 ⁻⁷ (2000 °С)	2 · 10 ⁻⁸ (2000 °С)
Теплопроводность, Вт/(м·К)	13,3 (500 °С) 8,2 (1000 °С) 5,8 (1500 °С)	20,0 (500 °С) 13,0 (1000 °С) 6,0 (1500 °С) 5,0 (2000 °С)	1,2 (1000 °С) 0,9 (1500 °С) 1,2 (2000 °С)	4,1 (500 °С) 2,5 (1000 °С) 2,9 (1500 °С) ~4,0 (2000 °С)	2,2 (1000 °С) 1,5 (1500 °С) 1,8 (2000 °С)
Модуль нормальной упругости E, ГПа	374,63–147,10 (293–1773 К)	295,20–219,68 (298–1573 К)	162,4 (293 К)	180,1 (293 К)	168,68–94,15 (293–1635 К)
Модуль сдвига G, ГПа	124,55–105,92 (298–1323 К)	113,76–35,31 (573–1673 К)	62,74–34,32 (303–1373 К)	–	60,80–97,09 (293–1573 К)
Коэффициент Пуассона	0,26–0,45 (298–1473 К)	0,36–0,47 (298–1373 К)	0,515 (293 К)	–	0,36 (293 К)

Наиболее перспективными являются оксиды алюминия, циркония и магния, так как у них высокая температура плавления, хорошая теплопроводность, а также хорошие пластические характеристики, однако оксид алюминия сильно деформируется при облучении, а оксид циркония склонен к распаду после обжига, а также обладает плохой устойчивостью к излучению. Также оксид магния совместим с материалом оболочки ТВЭЛа до 1100°С.

1.2 Методы получения оксидных композиций

1.2.1 Методы раздельного получения

К методам раздельного получения относят такие методы, в которых необходимые компоненты в данном случае $MgAl_2O_3$ и UO_2 получают раздельно друг от друга, а затем механически смешивают и спекают. В нашем случае наибольший интерес представляют методы получения UO_2 .

1.2.2 Золь-гель метод

Исходными веществами в данном процессе золь-геля являются растворы нитрата уранила $UO_2(NO_3)_2$ и нитрата тория $Th(NO_3)_4$.

Полученный коллоидный раствор замешивают с раствором аммиака, полученный. Образовавшийся гель промывают водой и сушат в воздушной среде, после чего спекают. Минимальные размеры получаемых частиц достигают 5-100 нм. Преимуществами данного процесса является чистота и однородность получаемых соединений, а также возможность синтезировать разнообразные соединения. К недостаткам данного метода можно отнести достаточно сложное аппаратное оформление.

1.2.3 Получение оксидов из уранилнитрата

Данный метод получения оксидов урана основан на термической диссоциации солей урана при температурах порядка 200-500°C

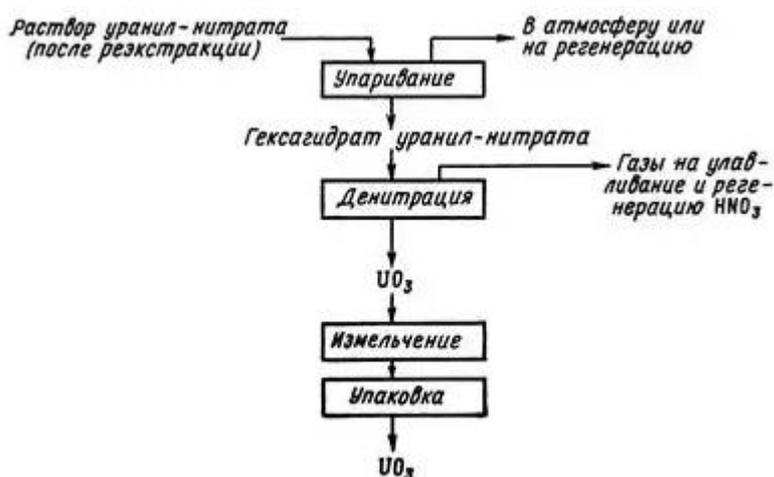


Рисунок 1.1 – Схема получения оксидов урана из уранилнитрата

Далее триоксид урана (UO_3) восстанавливается с помощью водорода при температурах около 600°C .

К преимуществам относят чистоту получаемых продуктов и сравнительную дешевизну процесса. Недостатком данного процесса является то, что физические свойства получаемых оксидов сильно зависят от параметров прокаливания таких как например, температура, вакуум и др.

1.2.4 Термическое разложение полиуратов аммония

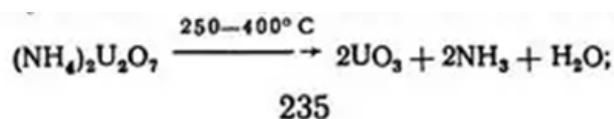


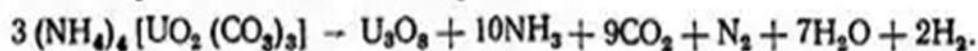
Рисунок 1.2 – Реакция разложения полиуретана аммония

Данный процесс характеризуется следующими достоинствами: простота получения осадков из практически любого урансодержащего раствора, полнота перехода урана в осадок, сравнительно низкая стоимость [1,8].

К недостаткам можно отнести большой разброс в размерах получаемых гранул и необходимость дополнительных реакций для получения диоксида урана.

1.2.5 Получение оксидов из аммонийуранилтрикарбоната

Разложение аммонийуранилтрикарбоната происходит в воздушной среде при температуре порядка $700-900^\circ\text{C}$



либо в инертной среде или вакууме



Недостатком данной схемы также является зависимость физических свойств от условий прокаливания, а также необходимость дополнительных реакций восстановления до диоксида урана.

1.2.7 Плазмохимические методы получения оксидных композиций

Плазмохимические методы, в отличие от лазерных методов переработки, позволяют получать нанодисперсные оксидные порошки с равномерным распределением фаз [9,13].

Суть плазмохимических методов заключается в протекании реакции с высокой скоростью в плазме при высокой скорости образования зародышей в результате чего получаются порошки с малым размером частиц, так как сами частицы и ограничивают рост частиц из соседних зародышей.

Получения оксидных композиций целесообразно получать с использованием быстрого охлаждения потока плазмы в котором и происходит конденсация порошков из жидкой фазы.

При плазмохимическом синтезе используется плазма с температурой порядка 4000–8000 К с использованием дугового, тлеющего или сверхвысокочастотного разрядов.

Характеристики получаемых дисперсных материалов зависят от многих параметров таких как, например, исходного сырья, среды в которой происходит синтез и типа плазмотрона.

Частицы в плазмотроне пролетая через плазму получают от нее энергию для проведения реакции, после чего происходит образование частиц.

Дальнейшие трудности связаны с выделением наноразмерных порошков из газовой фазы.

Плазмохимические способы получения оксидных композиций могут быть разделены на три группы:

- 1) переработка сырья в газообразной форме;
- 2) переработка сырья в жидкой форме;

3) переработка сырья в форме твердых частиц, взвешенных в плазме.

1.2.8 Метод переработки газообразных соединений

Исходный компонент (сырье) подается в реактор плазмотрона где происходит его нагрев до рабочих температур.

После чего компоненты взаимодействуют и происходит образование частиц продукта из газовой фазы.

Данный процесс происходит либо конденсацией на стенках аппаратуры, либо за счет конденсации в объеме вещества и дальнего роста зародышей.

Рост зародышей также имеет два возможных варианта развития. Первый – перенос вещества от более маленьких частиц к крупным за счет испарения.

Другой путь – коагуляция, т.е. слипание частиц и образование спекшихся агломераций.

Для избежание образования агломераций используется процесс быстрого охлаждения («закалка»), который приводит к резкому увеличению пересыщения, увеличивая количество образующихся зародышей, что замедляет их рост и не даёт им укрупняться.

К основным достоинствам плазмохимического метода получения оксидных композиций можно отнести: высокую скорость протекания химических реакций, что обеспечивает высокую производительность, а также высокую чистоту и равномерное распределение фаз в получаемых продуктах.

1.2.9 Метод переработки капельного жидкого сырья

Исходный раствор с заданным составом подается в плазму при помощи форсунок.

Применение центробежных или пневматических форсунок позволяет впрыскивать исходный раствор в виде капель с маленьким диаметром (порядка нескольких десятков микрометров), что также увеличивает производительность процесса.

Другое отличие этого метода состоит в том, что образование твердого продукта может идти двумя способами.

Первый способ заключается в испарении жидкого сырья, и протекание реакции происходит уже в газовой фазе, после чего происходит его охлаждение с формированием частиц оксидной композиции.

Во втором способе реакция происходит в жидкой фазе – происходит образование зародышевых центров (центров нуклеации) с их последующим ростом.

В качестве сырья используются либо чистые жидкости, либо водные растворы.

К преимуществам капельного метода переработки можно отнести большое число возможностей влиять на физико-химические свойства продукта, а также возможность синтеза сложных композиций.

Форма и размер частиц зависит от многих факторов, таких как, например, исходного сырья, концентрации отдельных компонентов, температуры синтеза и некоторых других.

Метод переработки жидкого сырья по сравнению с переработкой газов обладает лучшими экономическими показателями, расширяет сырьевой потенциал синтеза, и также позволяет получать сложные композиции с равномерным распределением фаз.

1.2.10 Метод переработки твердого сырья

В методе переработки твердого сырья в виде частиц, взвешенных в потоке плазмы, исходные вещества подаются в плазму в виде порошка.

При попадании порошка в реактор происходит его нагрев и плавление, с последующим испарением.

Химическая реакция протекает уже в газообразной фазе, после которой можно переводить продукт из газовой фазы в твердую [11].

Методы перевода частиц продукта из газовой фазы в твердую аналогичны первым двум методам, но при использовании в качестве сырья твердых частиц возможно укрупнение частиц готовой оксидной композиции.

Применение данного метода позволяют еще больше расширить сырьевую базу, и получать дисперсионные оксидные композиции практически любых составов и из сырья в любом фазовом состоянии.

Данный метод также обладает низкими трудо- и энергозатратами.

К недостаткам метода следует отнести неполную переработку исходного сырья и присутствие в продукте примесей исходных металлов и восстановителя.

Исходя из всего вышперечисленного можно сделать вывод, о том, что плазмохимический синтез позволяет получать широкий спектр дисперсионных оксидных композиций с различным химическим составом и свойствами, практически из любых веществ и из любого фазового состояния, при этом данный метод переработки обладает значительно меньшими трудо- и энергозатратами по сравнению с другими методами получения оксидных композиций, что позволяет сделать вывод о его перспективности и возможности создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций.

2 Расчетная часть

2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов

Для жидких горючих композиций низшая теплотворная способность $Q_{нр}$ должна быть не меньше 8,4 МДж/кг.

Низшая теплотворная способность для ВОНР определялась по формуле (2.1):

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

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

В таблице 2.1 приведены значения низшей теплотворной способности, а также температуры вспышки и самовоспламенения для различных органических веществ.

Таблица 2.1 – Показатели горючести органических веществ

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

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

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

2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР

Термодинамическое моделирование равновесных составов плазменной переработки водно-органических нитратных растворов проведено с помощью лицензионной программы расчета фазового состава произвольных гетерогенных систем «TERRA».

Моделирование проводилось при давлении 0,1 МПа и в диапазоне температур от 300÷4000 К при массовых долях воздуха от 10÷90 %.

На рисунках 2.1 – 2.6 представлены характерные равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза ОК из водно-органических нитратных растворов ВОНР–10÷15 на основе ацетона.

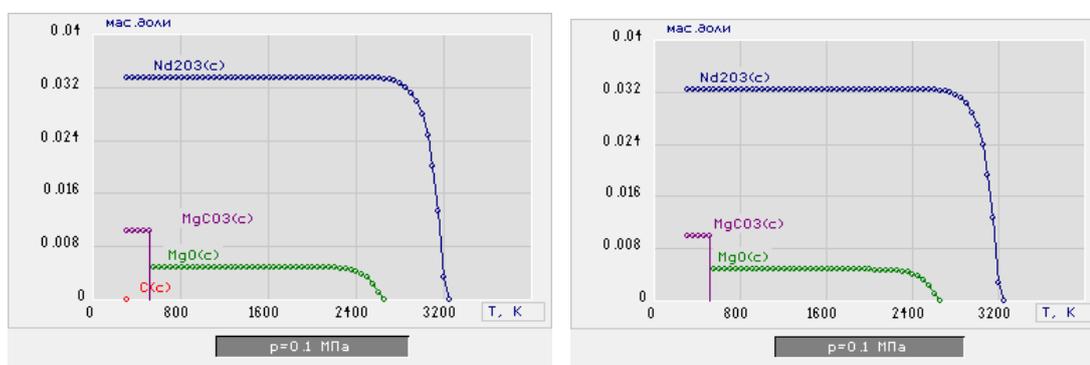
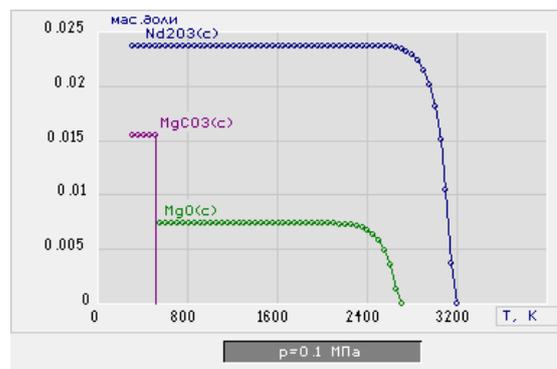
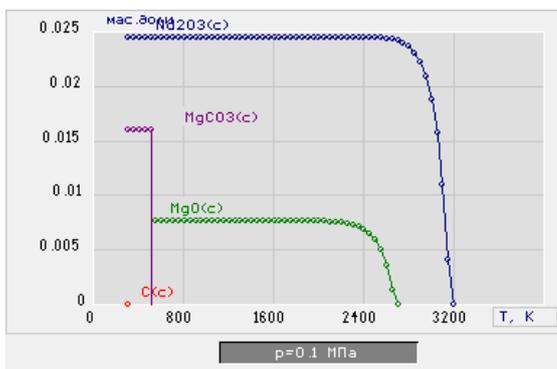


Рисунок 2.1 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-10 на основе ацетона при массовой доле воздуха 69 % (а) и 70 % (б): (MgO – 5 %)

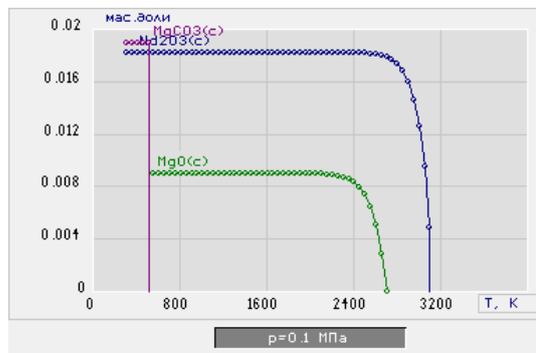
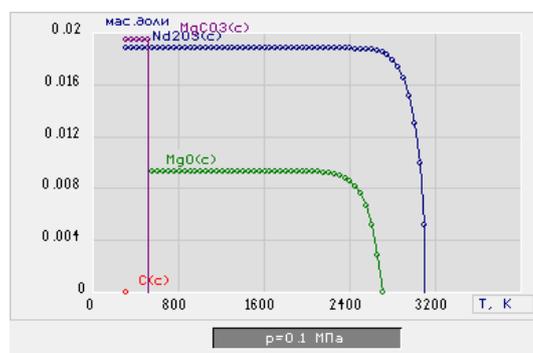


а)

б)

Рисунок 2.2 – Влияние температуры на равновесный состав

конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-11 на основе ацетона при массовой доле воздуха 69 % (а) и 70 % (б): (MgO – 10 %)



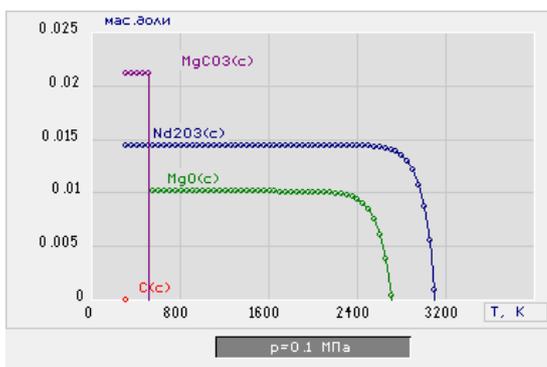
а)

б)

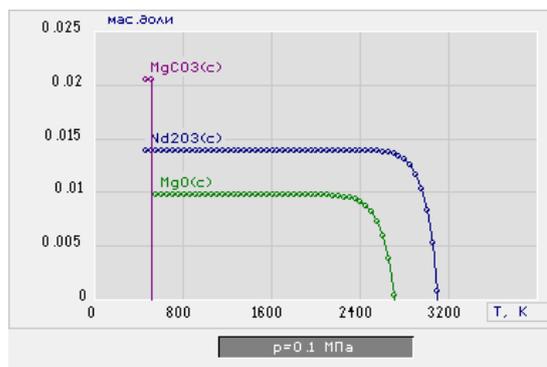
Рисунок 2.3 – Влияние температуры на равновесный состав

конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-12 на основе ацетона при массовой доле воздуха 69 % (а) и 70 % (б): (MgO – 15 %)

Из анализа равновесных составов (рис. 2.1 – 2.3) следует, что при температурах 800-2200 К основными продуктами плазменной переработки растворов ВОНР-10÷12 при массовой доле воздуха 69 % являются $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{c})$ и $\text{MgO}(\text{c})$, а также углерод $\text{C}(\text{c})$ в конденсированных фазах, содержание которого резко увеличивается при снижении доли воздуха менее 69 %. Увеличение массовой доли воздуха с 69 % до 70 % приводит к образованию $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{c})$ и $\text{MgO}(\text{c})$ с получением требуемых оксидных композиций ОК-10÷12 без образования $\text{C}(\text{c})$.

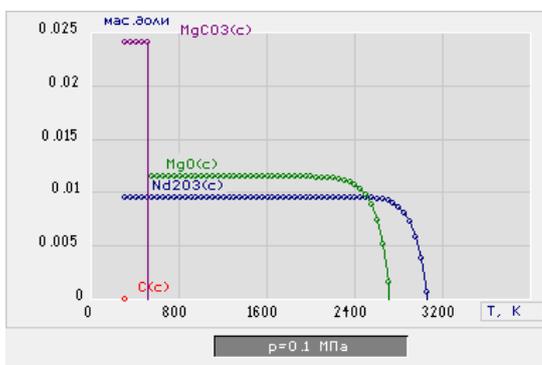


а)

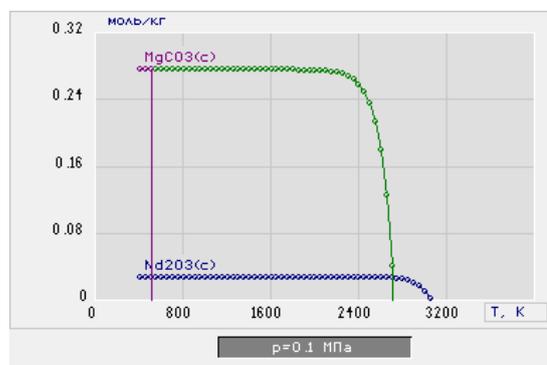


б)

Рисунок 2.4 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-13 на основе ацетона при массовой доле воздуха 70 % (а) и 71 % (б): (MgO – 20 %)

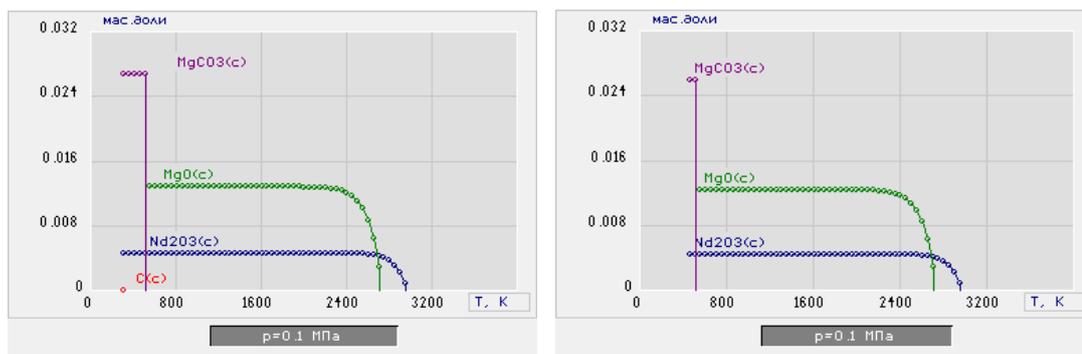


а)



б)

Рисунок 2.5 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-14 на основе ацетона при массовой доле воздуха 70 % (а) и 71 % (б): (MgO – 30 %)



а)

б)

Рисунок 2.6 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-15 на основе ацетона при массовой доле воздуха 70% (а) и 71% (б): (MgO – 50%)

Их анализа равновесных составов (рис. 2.4 – 2.6) следует, что при температурах 800-2200 К основными продуктами плазменной переработки растворов ВОНР–13÷15 при массовой доле воздуха 70 % являются $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{с})$ и $\text{MgO}(\text{с})$, а также углерод $\text{C}(\text{с})$ в конденсированных фазах, содержание которого резко увеличивается при снижении доли воздуха менее 70 %. Увеличение массовой доли воздуха с 70 % до 71 % приводит к образованию $\text{Nd}_2\text{O}_3(\text{с})$ и $\text{MgO}(\text{с})$ с получением требуемых оксидных композиций ОК–4÷7 без образования $\text{C}(\text{с})$.

Проведены расчеты энергозатрат процесса плазмохимического синтеза в воздушной плазме по формулам (2.2) и (2.3).

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = H_T - H_{300}, \quad (2.2)$$

где $\mathcal{E}_{\text{общ}}$ – общие энергозатраты, МДж/кг.

H_T – полная энтальпия при температуре T , МДж/кг.

H_{300} – полная энтальпия при температуре 300 К, МДж/кг.

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{общ}}}{Z}, \quad (2.3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{уд}}$ – удельные энергозатрат на получение 1 кг оксидной композиции, МДж/кг; $Z_{\text{ОК}}$ – массовая доля оксидной композиции.

Результаты расчетов представлены в таблице 2.2 и на рисунке 2.7

Таблица 2.2 – Энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций в воздушной плазме

ВОНР	I_{300} , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	Z_{OK}	$\mathcal{E}_{уд.}$, МДж/кг
ВОНР-10	-3280	1650	0,037	44,39
ВОНР-11	-3330	1680	0,031	53,98
ВОНР-12	-3370	1700	0,027	62,45
ВОНР-13	-3300	1720	0,024	72,60
ВОНР-14	-3340	1690	0,020	83,29
ВОНР-15	-3380	1770	0,017	105,48

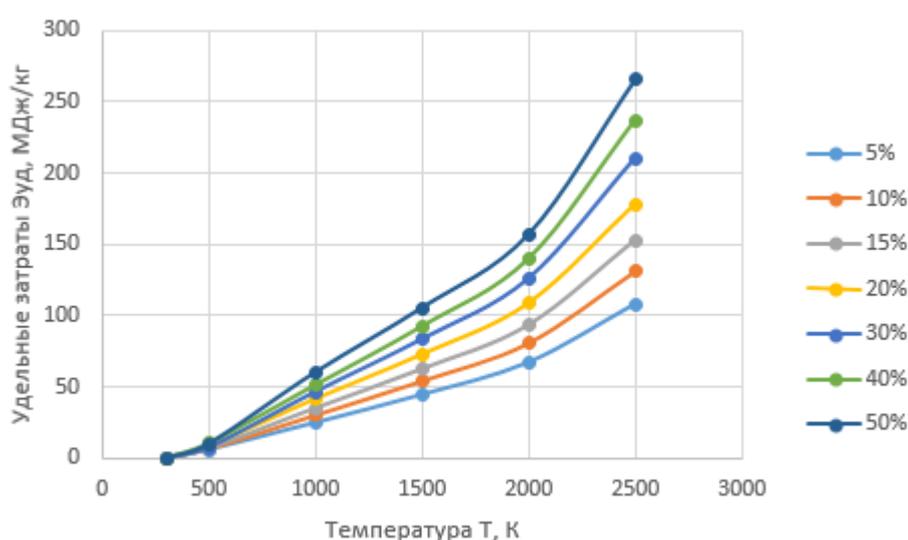


Рисунок 2.7 – Влияние температуры на удельные энергозатраты на плазмохимический синтез 1 кг оксидной композиции ОК–10÷15 при различном содержании матрицы (MgO)

По результатам проведенных расчетов определены следующие оптимальные условия проведения процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций ОК–10÷15 требуемого состава из растворов ВОНР 10÷15:

- Массовая доля воздуха не менее 70 % при содержании матрицы в ОК 5-15% MgO и не менее 71 % при содержании матрицы 20-50% MgO;
- Рабочая температура: 1500±200 К;

– Удельные энергозатраты на получение 1 кг ОК «Nd₂O₃–MgO»:
44-105 МДж/кг.

3 Экспериментальная часть

3.1 Описание экспериментальной установки

Исследования процесса плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов металлов в воздушно-плазменном потоке проводились на экспериментальной установке «Плазменный модуль на базе ВЧФ-плазмотрона» схема которого представлена на рисунке 3.1.

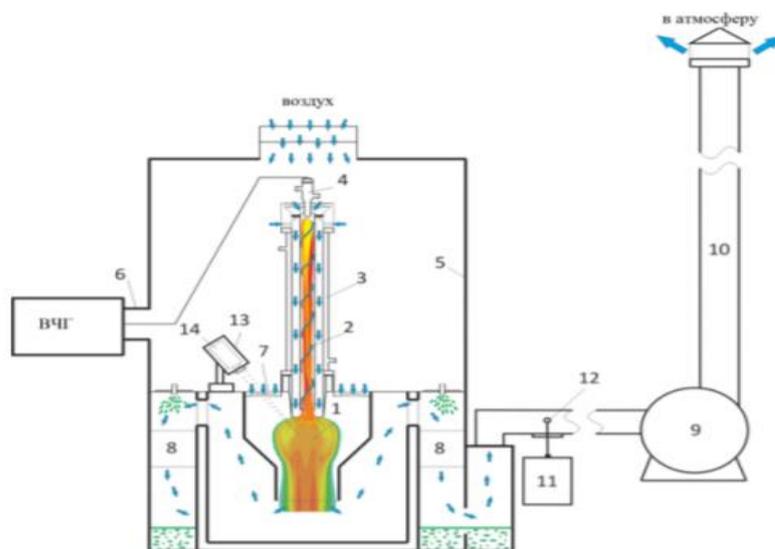


Рисунок 3.1 – Схема плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон, 4 – медный электрод, 5 – корпус, 6 – Коаксиальный вывод, 7 – импеллер реактора, 8 – узел «мокрой очистки» 9 – вытяжной вентилятор, 10 – воздуховод, 11 – газоанализатор, 12 – пробоотборник, 13 – защитный кожух широметра, 14 – широметр.

Высокочастотная энергия от ВЧ-генератора через коаксиальный вывод 6 подавалась на медный водоохлаждаемый электрод ВЧФ-плазмотрона 3. ВЧФ-разряд 2 возбуждается и «горит» с электрода 4 внутри кварцевой разрядной камеры плазмотрона ($d = 50$ мм, $L = 860$ мм). ВЧФП предназначен для генерирования воздушно-плазменного потока.

Отходящие газы откачиваются из реактора с помощью вытяжного вентилятора 9.

На входе ВЧФ-плазмотрона 3 установлен импеллер, имеющий входную площадь $S_{\text{пр}}=25 \text{ см}^2$ и предназначенный для ввода плазмообразующего газа (воздуха) в разрядную камеру плазмотрона.

На входе в реактор установлен импеллер 7, имеющий максимальную входную площадь $S_p = 1650 \text{ см}^2$. Над импеллером находится шибер, позволяющий регулировать расход воздуха через импеллер в реактор.

Контроль температуры плазменного горения диспергированных растворов ВОНР в реакторе осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром 14 (ИРЕ-140/45) по линии поглощения диоксида углерода.

Напор, скорость и расход воздуха через плазмотрон, газоход и реактор определялся при помощи трубки Пито и газоанализатора 11 КМ 9106 «Quintox».

3.2 Определение расходов воздуха через плазмотрон и газоход

Величина массового расхода газа через кварцевую трубку, а также газоход определялись с помощью трубки Пито.

Данная трубка измеряет напор f , создаваемый потоком газа, который отображается на дисплее газоанализатора.

Поток воздуха можно определить по формуле 3.1:

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

где ρ – плотность воздуха при температуре T , кг;

V – скорость набегающего потока;

$P_{\text{п}}$ – полное давление, Па;

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

Выразив из формулы 3.1 скорость, получим:

$$V = \left[\frac{2 \cdot (P_{\text{п}} - P_{\text{ст}})}{\rho} \right]^{0,5} \quad (3.2)$$

Объёмный расход воздуха вычисляется по формуле 3.3:

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

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

Напор струи воздуха измерялся при помощи трубки Пито при различной входной площади импеллера реактора, которая регулировалась путем перекрытия сегментов импеллера реактора с помощью шибера.

Таблица 3.1 – Измерение расхода воздуха через газоход

№	$S_{\text{имп}}$		$\rho v^2/2$, мБар							$f_{\text{ср}}$
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар
1	3х10	1650	4,01	3,99	4,01	3,99	4,01	4,02	4,04	4,01
2	3х8	1320	3,08	3,07	3,06	3,09	3,11	3,08	3,12	3,09
3	3х6	990	2,88	2,89	3	2,87	2,8	2,87	2,85	2,88
4	3х4	660	2,68	2,66	2,64	2,68	2,66	2,69	2,69	2,67

Таблица 3.2 – Измерение расхода воздуха через ВЧФ-плазмотрон

№	$S_{\text{имп}}$		$\rho v^2/2$, мБар							$f_{\text{ср}}$
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар
1	3х10	1650	2,24	2,26	2,27	2,25	2,22	2,21	2,23	2,24
2	3х8	1320	2,45	2,49	2,46	2,44	2,49	2,48	2,48	2,47
3	3х6	990	2,62	2,66	2,64	2,63	2,6	2,61	2,59	2,62
4	3х4	660	3,57	3,69	3,54	3,52	3,65	3,61	3,64	3,6

По данным таблицы 3.1 построен график зависимости расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона от входной площади импеллера, данная зависимость представлена на рисунке 3.2.

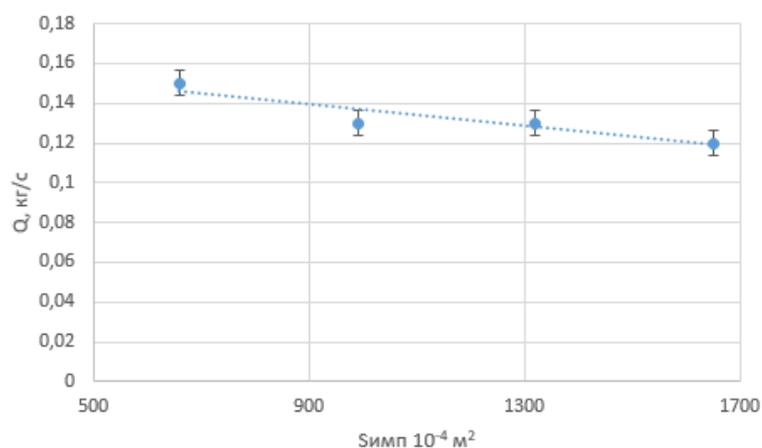


Рисунок 3.2 – Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Исходя из полученных результатов, представленных на графике 3.2, следует, что при увеличении входной площади импеллера реактора, массовый расход плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона уменьшается.

По данным таблицы 3.2 построен график зависимости расхода плазмообразующего газа через газопровод после УМО от входной площади импеллера, данная зависимость представлена на рисунке 3.3.

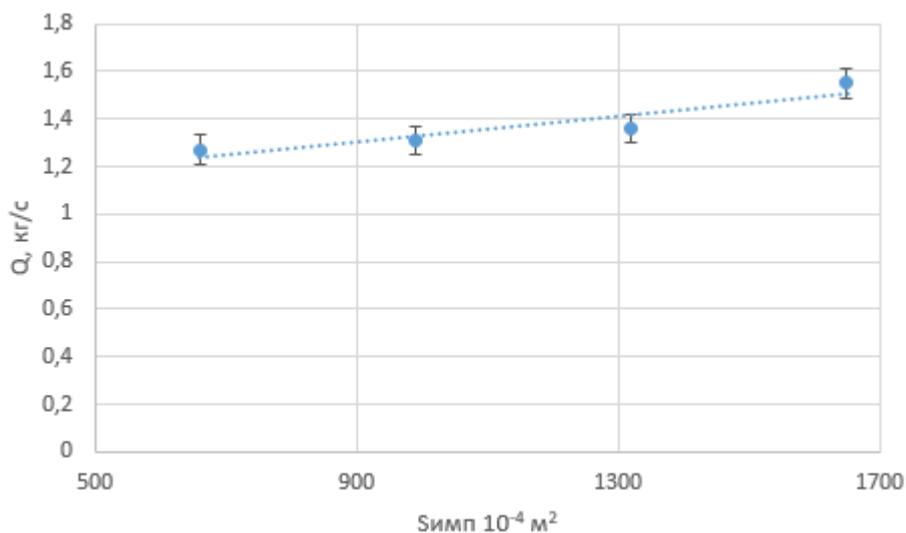


Рисунок 3.3 – Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход плазмообразующего газа через газопровод после УМО

Исходя из полученных результатов, представленных на рисунке 3.3, следует, что увеличение входной площади импеллера реактора также приводит к увеличению массового расхода воздуха через газоход после УМО.

3.3 Определение расхода газа через реактор

Для расчета расхода воздуха через реактор использовалась формула:

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

где Q_p – расход воздушного теплоносителя через реактор, м³/с;

$Q_{\text{ГХД}}$ – расход воздушного теплоносителя через газоход, м³/с;

$Q_{\text{ПГ}}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон, м³/с.

Расчеты массового расхода воздуха через реактор, а также обобщенные данные по расходу воздуха через газоход и разрядную камеру приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Измерение расхода воздуха через реактор

№	$S_{\text{имп}}$		Газоход			ВЧФП			Реактор		
	3хп	см ²	$f_{\text{ср}}$, мБар	$P_{\text{пг}}$, Па	$Q_{\text{пг}}$, кг/с	$f_{\text{ср}}$, мБар	$P_{\text{пг}}$, Па	$Q_{\text{пг}}$, кг/с	T , °С	ρ , кг/м ³	Q_p , кг/с
1	3х10	1650	4,01	399,94	1,55	2,24	223,76	0,12	21	1,20	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

Исходя из данных (табл. 3.3) построен график зависимости массового расхода воздушного теплоносителя через реактор от величины входной площади импеллера реактора (рисунок 3.4).

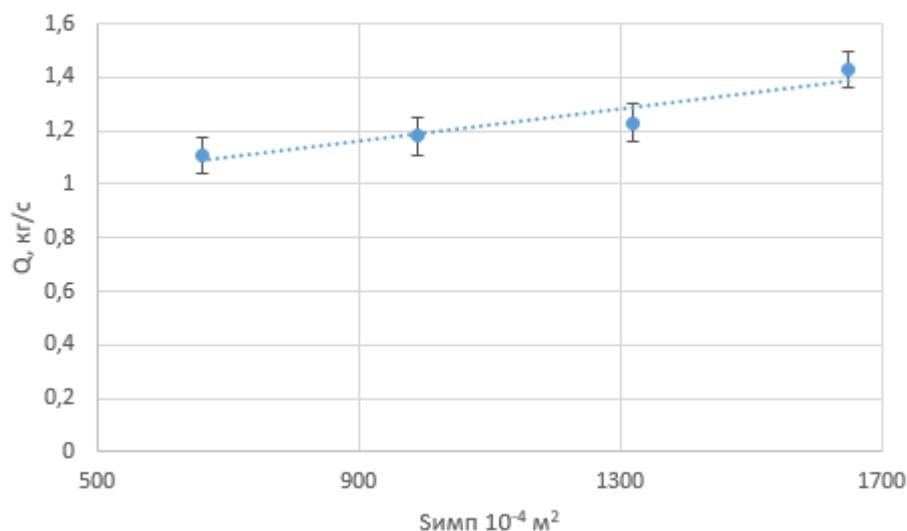


Рисунок 3.4 – Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход плазмообразующего газа через реактор

Полученные данные позволяют говорить о возможности осуществления плавной регулировки расхода воздуха через реактор и плазмотрон путем изменения входной площади импеллера реактора.

3.4 Исследование режимов работы ВЧФ-плазматрона

Были рассчитаны тепловые потери мощности на аноде генераторной лампы и сетке ВЧ-генератора.

Определены следующие теплофизические параметры плазматрона: КПД, энтальпия, температура воздушной плазменной струи.

Мощность плазменной струи определялась по формуле 3.5:

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

где I_a – анодный ток, А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы, определялась по формуле 3.6:

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

где m_a – массовый расход воды, кг/с;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг;

Δt_a – изменение температуры охлаждающей воды, град.

По этой же формуле рассчитывалась тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности, электроде и корпусе плазматрона.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле 3.7:

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

Мощность плазменной струи определяется как разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, рассеиваемой на корпусе плазматрона, и рассчитывалась по формуле 3.8:

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

Энтальпия плазменной струи рассчитывалась по формуле 3.9:

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

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазматрона рассчитывался по формуле 3.10:

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

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда рассчитывался по формуле 3.11:

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

Полученные данные приведены в приложении Б.

Режим работы ВЧФ-плазматрона подбирался таким образом, чтобы температура плазменной струи была не меньше температуры воспламенения перерабатываемого раствора ВОНР.

3.5 Методика проведения экспериментов

Для подготовки растворов ВОНР использовались соли нитрата неодима $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 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.

В результате проведенных исследований были определены следующие оптимальные режимы совместной работы высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01 (рабочая частота – 13,56 МГц, колебательная мощность до 60 кВт), высокочастотного факельного плазмотрона (ВЧФ-плазмотрона) и плазмохимического реактора в составе плазменного стенда «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01»:

- генератор ВЧГ8-60/13-01 ($U_a=5,6$ кВ, $I_a=3,5$ А, $I_c=1,2$ А);
- ВЧФ-плазмотрон ($P_{\text{стр}}=15,0$ кВт);
- плазмохимический реактор ($S_{\text{имп}}=1320$ см², $Q_{\text{возд}}=0,95$ кг/с).

Предварительно готовился водный нитратный раствор (ВНР) с использованием дистиллированной воды, который смешивался с горючим органическим компонентом (ацетон) с получением ВОНР заданного состава.

Готовые растворы ВОНР подавались с постоянным расходом 300 л/ч на диспергатор *I* и далее в диспергированном виде поступали в реактор, где осуществлялся плазмохимический синтез оксидных композиций при рабочей температуре 1100 ± 50 °С.

Контроль температуры осуществлялся с использованием пирометра IPE 140/45 по линии поглощения диоксида углерода.

После реактора смесь поступала на центробежно-барботажные аппараты УМО, где происходила «закалка» смеси с помощью оборотной технологической воды, в результате чего получались водные суспензии из полученных оксидных композиций.

Из полученных суспензий отбирались пробы для проведения гранулометрического анализа методом лазерной дифракции (ЛД).

Отходящие очищенные газы выбрасывались в атмосферу при помощи вытяжного вентилятора 9.

Полученную суспензию отстаивали в течении суток, полученный осадок отделялся, проходил процесс фильтрации, затем прокаливался при температуре 120-150 °С в течении 20 минут и затем передавался на анализ.

3.5.1 Исследование физико-химических свойств оксидных композиций

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

Для проведения гранулометрического анализа использовался прибор SALD – 7101 основанный на лазерной дифракции.

Для сравнительного анализа использовался количественный результат в виде медианного значения полученного распределения, который равен техническому параметру « D_{50} » широко применяемом в производстве.

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

Рентгенофазовый анализ (РФА) исследуемых порошков ОК проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 с применением стандартной базы данных кристаллических структур неорганических материалов PDF-4, в свободно распространяемом программном обеспечении

PowderCell по алгоритму Ритвельда для полнопрофильного анализа рентгеновских дифрактограмм.

Определялся фазовый состав оксидных порошков, средние размеры области когерентного рассеяния отношение которой к размеру частиц характеризует морфологию поверхности частиц, которая может быть выражена коэффициентом гигроскопичности K .

При $K \leq 1$ форма частиц близка к равноосной, а при $K > 1$ частицы имеют развитую поверхность и/или внутренние поры.

Из анализа результатов, представленных в приложении В следует, что при расходе ОТВ (2,8 кг/с) на закалку ОК и частоте 35 Гц роторной форсунки диспергатора, увеличение исходной концентрации солей металлов (Nd, Mg) с 300 г/л до 1500 г/л в растворах ВОНР–1,2,3 и ВОНР–7,8,9 приводит при плазменной переработке к увеличению размера образующихся частиц оксида неодима с 7,8 мкм до 8,7 мкм и оксида магния с 9,5 мкм до 13,2 мкм (метод ЛД).

При этом снижение расхода ОТВ с 2,8 кг/с до 2,3 кг/с приводит при переработке растворов ВОНР – 4,5,6 к увеличению размера образующихся частиц оксида неодима по сравнению с частицами, полученными из растворов ВОНР-1,2,3, что послужило основанием использовать в расход ОТВ – 2,8 кг/с.

Значительные размеры частиц ОК–1,2 и низкая удельная поверхность получены при применении температуры прокаливания 120 °С, что послужило основанием увеличить ее в дальнейшем до 150 °С.

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) с 5 % до 50 % в составе ОК, полученных из растворов ВОНР–10,11,12,13,14,15 приводит к снижению размера образующихся частиц ОК с 13,0 мкм до 4,7 мкм (метод ЛД), при этом удельная поверхность ОК и размер частиц лежат в пределах 53-123 нм и 11,2-15,2 м²/г (БЭТ) соответственно.

На рисунке 3.5 представлена диаграмма распределения частиц по размерам для водной суспензии ОК–13.

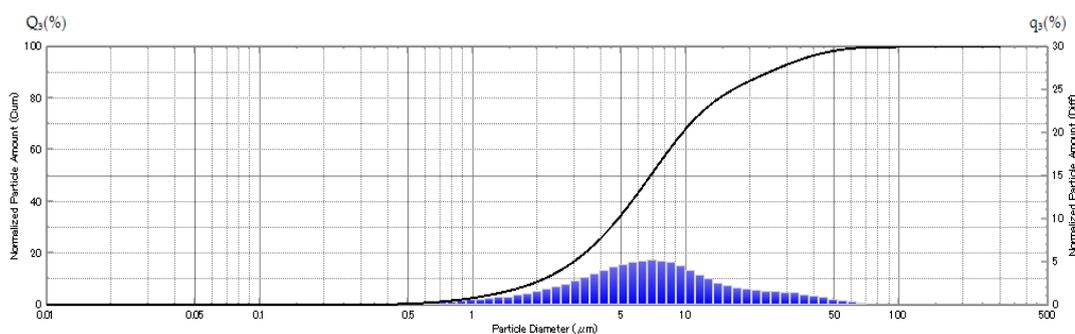


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения по размерам частиц (агломератов) водной суспензии ОК-13

Частицы водной суспензии ОК–13 характеризуются достаточно широким распределением по размерам, близким к мономодальному.

Характерные величины медианных значений распределения частиц лежат в диапазоне от 1 до 55 мкм. Среднее значение размера частиц D_{50} составляет 6,8 мкм.

Для определения фазового состава проводился рентгенофазовый анализ. Анализ образца ОК-13 показывает, что основным продуктом порошка являются целевые оксиды неодима (Nd_2O_3) и магния (MgO).

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных сложных оксидных композиций для уранового дисперсионного ядерного топлива.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования обуславливается не только важностью разработки в какой-либо сфере деятельности, но и его коммерческой эффективностью.

Оценка коммерческого потенциала разработки является наиболее важным фактором при поиске финансовых источников для реализации научного исследования и его последующей коммерциализации.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности проекта, а также механизмов управления и сопровождения проектных решений на этапе реализации, анализ финансовых аспектов реализации проекта, а также определить экономическую эффективность синтеза ДЯТ в воздушной плазменной струе, а также его последующего внедрения в топливный цикл.

Достижение поставленной цели обеспечивается следующими задачами:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования;
- Определение возможных альтернатив в процессе проведения исследования удовлетворяющих требованиям ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективностей проведения исследования.

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

4.1.1 Анализ потенциальных потребителей исследования

В настоящее время в России используются 7 АЭС, количество энергоблоков на которых с 2010 по 2020 увеличилось с 35 до 38 штук.

С 2007 по 2020 годы выработка электроэнергии на АЭС увеличилась на 50 млрд кВт/ч, а доля ядерной энергетики с 15,9% до 20,28%, а к 2045 году планируется увеличить долю атомной энергетики до 25%.

Дисперсионное ядерное топливо может использоваться как на относительно старых реакторах на тепловых нейтронах типа ВВЭР, так и на новых на быстрых нейтронах типа БН.

Перезагрузка топлива происходит примерно каждые 3–5 лет, и в среднем каждый энергоблок требует топлива порядка 90 тонн в год.

Что позволяет сказать о потенциальной емкости рынка которая составляет порядка 3510 тонн/год.

Текущее керамическое топливо обладает рядом существенных недостатков основным, из которых является низкая теплопроводность, что уменьшает КПД работы реактора, а также приводит к теплонапряжениям топлива, что не безопасно.

Текущее НТИ имеет теплопроводность в разы выше чем керамическое топливо, все зависит от состава ДЯТ, данное преимущество позволяет более эффективно использовать топливо, а значит позволяет повысить КПД реактора, также использование ДЯТ является более безопасным.

Исходя из всего вышеперечисленного можно сказать, что даже потребительский рынок России очень перспективный для данной разработки.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Рынок ДЯТ находится в постоянном движении, изменяются как цена на топливо, так и предпочтительный вид топлива, по этим причинам

проводить анализ конкурентных разработок на рынке необходимо проводить систематически, что позволит вносить коррективы в процессы проведения и реализации исследования, в результате чего проект с большей вероятностью окажется перспективней более перспективным, чем у конкурентов.

Оценка перспективности реализации научного проекта осуществляется с помощью определенных показателей, зависящих от объекта исследования, сферы применения объекта исследования, а также технических и экономических особенностей.

Для данной работы выбраны следующие технические критерии оценки перспективности проекта:

- Мобильность – возможность передвижения установок для работы в различных местах;
- Уровень шума
- Наличие отходов – чистота производства;
- Простота в эксплуатации;
- Наличие дорогостоящего оборудования;
- Однородность распределения фаз – в таблетке топливный компонент равномерно распределено в материале матрицы.

Помимо технических критериев, также определены следующие экономические критерии оценки ресурсоэффективности:

- Конкурентоспособность продукта – соотношение сильных и слабых сторон проекта по сравнению с конкурирующими проектами;
- Стоимость реализации проекта – оценка финансовых затрат на реализацию проекта;
- Трудоемкость – количество времени, затрачиваемого на производство единицы продукции;
- Финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами.

В таблице 4.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Баллы с учетом веса коэффициента		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Мобильность	0,02	1	3	5	0,02	0,06	0,1
Уровень шума	0,04	3	4	4	0,12	0,16	0,16
Наличие отходов	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
Простота эксплуатации	0,03	3	3	5	0,09	0,09	0,15
Наличие дорогостоящего оборудования	0,07	3	3	5	0,21	0,21	0,35
Однородность распределения фаз	0,02	5	4	2	1	0,8	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность	0,12	4	4	3	0,48	0,48	0,36
Стоимость реализации	0,04	3	4	5	0,12	0,16	0,2
Финансовая эффективность научной разработки	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
Трудоемкость	0,08	4	5	1	0,32	0,4	0,08
Итого	1	35	38	37	4,16	3,96	3,2

где вариант 1 – плазмохимический синтез, вариант 2 – самораспространяющийся высокотемпературный синтез, вариант 3 – механическое смешивание.

Анализируя таблицу 4.1 можно сделать вывод о том, что без учета весового коэффициента механическое смешение получается самым

оптимальным методом получения ДЯТ, а плазмохимический синтез наименее перспективным.

Однако проведя расчет с использованием весовых коэффициентов видна абсолютно противоположная ситуация, наиболее перспективным методом синтеза ДЯТ является плазмохимический синтез, а наименее – механическое смешивание оксидов, это происходит потому что преимущества, которые имеют методы СВС и механическое смешивание менее важны и соответственно имеют меньшие весовые коэффициенты, чем критерии, в которых плазмохимический синтез более предпочтителен.

Исходя из чего можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным методом для синтеза ДЯТ является плазмохимический синтез оксидов.

4.1.2 SWOT-анализ

Для лаконичного и доступного описания проекта можно применить SWOT-анализ. SWOT является мнемонической аббревиатурой и расшифровывается как strengths (сильные стороны), weakness (слабые стороны), opportunities (возможности), threats (угрозы). То есть SWOT-анализ — это анализ сильных и слабых сторон, а также влияния внешней среды

В таблице 4.2 приведена матрица SWOT-анализа проекта.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

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

	получения результатов при проведении предлагаемого исследования.	композиций.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение отходов ядерного производства.</p> <p>В2. Уменьшение количества урана-235.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В5. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Данным методом можно перерабатывать ОЯТ, что уменьшит количество отходов.</p> <p>2. Россия обладает сравнительно небольшими запасами урана-235, поэтому в недалеком будущем необходимо будет менять/усовершенствовать используемую технологию производства ЯТ.</p> <p>3. В случае успеха удастся переработать часть захороненного топлива.</p> <p>4. При благоприятном раскладе станет возможным строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Повышение спроса на данную продукцию обеспечит приток кадров.</p> <p>2. Использование научно-исследовательского потенциала ТПУ позволит подобрать необходимую композицию.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У3. Неудача эксперимента.</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</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>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.</p>

Проанализировав таблицу 4.2 можно сделать вывод о том, что слабые стороны проекта представляют определенную угрозу, однако исходя из сильных сторон проекта данные угрозы можно применить на пользу проекта.

Самой сильной стороной проекта является превосходство получаемого топлива над используемым в текущее время.

Самой слабой – необходимость в материально-технической базе, и наличии финансовой поддержки.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения исследований

Морфологический подход основан на исследовании теоретически возможных вариантах исходя из закономерностей строения объекта исследования

В таблице 4.3 приведена морфологическая матрица проекта

Таблица 4.3 – Морфологическая матрица проекта

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
А. Материал матрицы	Оксид металла	Нитрид металла	Металл
Б. Горючее вещество	Ацетон	Этанол	Метанол
В. Температура синтеза	300 – 4000 °С		

В нашем случае используется вариант А1Б1, температура подбирается опытным путем для определённого состава ВОНР.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо грамотно планировать занятость каждого исполнителя, а также сроки проведения работ.

В данном разделе представлен перечень проводимых работ, их продолжительность, а также исполнители.

Процесс плазмохимического синтеза практически последовательный, поэтому невозможно проводить процессы параллельно, также на это указывает и малое число исполнителей, а значит предпочтительным является линейный график.

Для построения линейного графика построена таблица с необходимым перечнем работ.

Таблица 4.4 – Перечень работ

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

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- Техничко-экономическим;
- Опытно-статистическим.

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

- Аналоговый;
- Экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и небольшими затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя проекта аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

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

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

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

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

$t_{ож}$ – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

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

$$T_{P_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

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

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

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

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

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

Таблица 4.5 – Временные показатели проектирования

Название работ	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min}		t_{max}		$t_{ож}$					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	1	4	3	2,8	1,8	2	1	3	2
Составление и утверждение ТЗ	6	8	10	12	7,6		8		12	
Знакомство с принципом работы оборудования	-	12	-	16	-	13,6		11	-	14
Подбор и изучение материалов по тематике	3	4	6	7	4,2	5,2	3	3	5	5
Разработка календарного плана	5	7	8	10	6,2	8,2	7	5	11	8
Обсуждение литературы	6	8	10	12	7,6	9,6	4	5	6	8
Разработка модели	8	10	14	16	10,4	12,4	6	7	9	11
Определение адекватности модели	3	4	6	8	4,2	5,6	3	3	5	5

Продолжение таблицы 4.5

Изучение результатов	-	5	-	9	-	6,6	-	4	-	6
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	3	-	5	-	3,8	-	2	-	3
Оформление графического материала	-	2	-	4	-	2,8	-	2	-	3
Подведение итогов	3	6	5	8	3,8	6,8	2	4	3	6

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

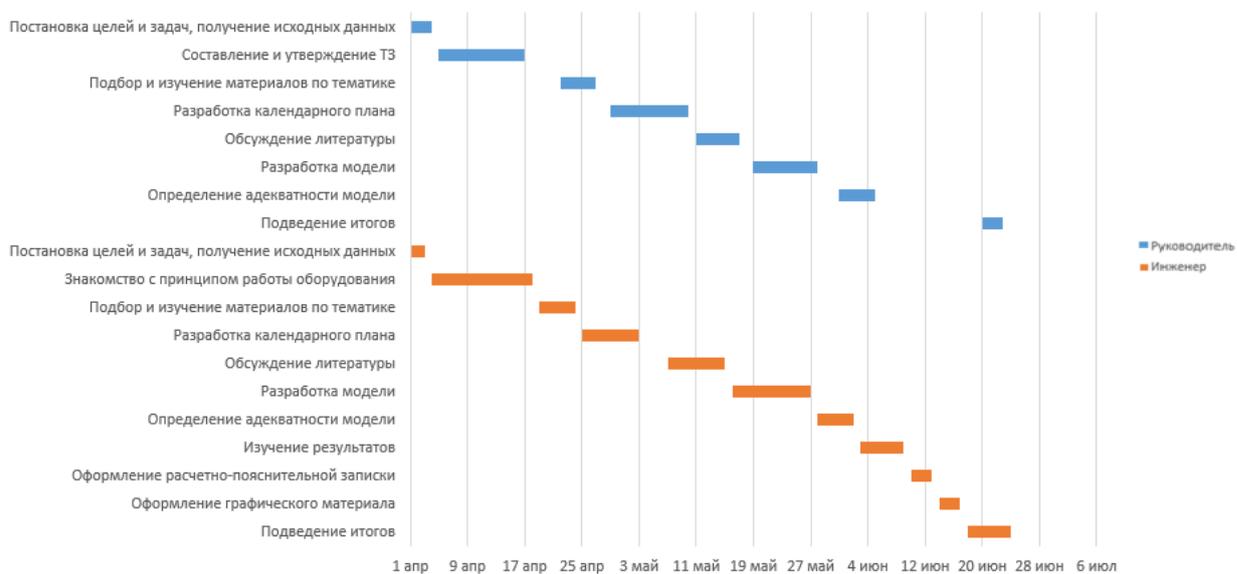


Рисунок 4.1 – Диаграмма Ганта

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

Таблица 4.6 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	84
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	81
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	62

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

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета использовались следующие статьи затрат:

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

Данные расходы являются прямыми поэтому их следует определять прямым счетом, остальные же затраты рассчитываются косвенным способом, они не связаны с непосредственным выполнением НТИ.

4.4.1 Расчет материальных затрат

Проект выполнялся с помощью плазмотрона, расчеты и моделирование проводились на компьютере, также представлены затраты на

канцелярские принадлежности, а также материалы (нитрат неодима и ацетон), данные затраты приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Ацетон	104	1,3 л.	136
Нитрат неодима $Nd(NO_3)_3$	11900	1 кг.	11900
Итого:	12036 руб.		

Из таблицы 4.7 видно, что сумма материальных затрат составляет 13695 рублей, большую часть из которой составляет дорогостоящий нитрат неодима затраты на который составляют 98%.

4.4.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

Расчёт амортизационных затрат производится на находящееся в использовании оборудование со сроком службы более 1 года. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

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

Таблица 4.8 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	15	11000000	11000000
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
Итого:	1145000 руб.				

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.5:

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

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.6:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

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

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

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, 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:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t = \frac{0,06 \cdot 11000000}{12} \cdot 3 = 165000 \text{ руб.}$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t = \frac{0,33 \cdot 11000000}{12} \cdot 3 = 3713 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 165000 + 3713 = 168713 \text{ руб.}$$

4.4.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

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

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{дон} \quad (4.7)$$

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, старший 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:

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

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:

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.10:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{T_{\theta}} \quad (4.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

T_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней (таблица 4.9).

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

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

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники):	66	118
Отпуск, невыходы по болезни	70	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	219

Инженер ежемесячно получает заработную плату в размере 13500 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

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

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

k_z – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 30000. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35000	45500	2067	11	22737
Инженер	13500	17550	834	15	12510
Итого $Z_{осн}$			35247		

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

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

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

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	22737	12510
Дополнительная зарплата, руб.	3411	1877
Затраты на оплату труда исполнителя, руб.	26148	14387
Итого по статье Сзп, руб.	40535	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 26148 руб, а инженера – 14387 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 40535 рублей.

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Страховые взносы – это обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Дополнительно необходимо учесть налог на наступление несчастных случаев в размере 0,2 %.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды. Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30,2% (ст. 425, 426 НК РФ).

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{\text{внеб}} = 0,302$$

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

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 26148 = 7897 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 14387 = 4345 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и инженера, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 7897 руб., а для инженера 4345 рублей.

4.4.5 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

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

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (12036 + 168713 + 35247 + 7897 + 4345) = 37365 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости синтеза ДЯТ, приведенной в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
168713 руб.	12036 руб.	35247 руб.	4928 руб.	5288 руб.	233526 руб.	37365 руб.	270891 руб.

В итоге бюджетная стоимость составила 266723 рубля. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 36790 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

4.5 Определение ресурсной эффективности проекта

4.5.1 Определение финансовой и ресурсной эффективности проекта

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

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

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

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	3	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	2
3. Помехоустойчивость	0,05	4	4	4
4. Энергосбережение	0,1	4	3	5
5. Надежность	0,3	5	4	4
6. Материалоемкость	0,25	4	5	4
Итого I	1	4,15	4	3,8

Вариант 1 – используются оксиды металла и ацетон, вариант 2 – используются нитрид металла и этанол, вариант 3 – используются металлы и метанол.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} = \frac{256504}{300000} = 0,855$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{270104}{300000} = 0,9$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{248104}{250000} = 0,992$$

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

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

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 4.18:

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

Таблица 4.14 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	0,900	0,99	0,85
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	4,0	4,0
Интегральный показатель эффективности	4,22	4,03	4,67
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,11	1,01	1,17

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

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

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 76 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 73 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 54;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 256504 руб.;

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

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,855, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4, по сравнению с 4 и 3,8;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,68, по сравнению с 4,03 и 4,22, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 Социальная ответственность

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

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

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

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства [14].

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.

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 [15].

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 [16].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

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

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

- Физические;
- Химические;
- Психофизиологические;
- Биологические.

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

Таблица 5.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Эксперимент	Расчеты на ПК	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

Продолжение таблицы 5.2

4. Превышение уровня шума	+	-	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

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

- Нервно - эмоциональные перегрузки;
- Умственное напряжение;
- Физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

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

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м².

5.3.1 Отклонение показателей микроклимата

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

Таблица 5.3 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

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

Экран и системные блоки ЭВМ также производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см

вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.4.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [17].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

По нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [18].

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

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- Системой общего равномерного освещения.

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

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

5.3.4 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [19].

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

Таблица 5.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

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

5.3.5 Психофизиологические факторы

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

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

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

5.3.6 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой [20].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- Рода и величины напряжения и тока;
- Частоты электрического тока;
- Пути прохождения тока через тело человека;
- Продолжительности воздействия на организм человека;
- Условий внешней среды.

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

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

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

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

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

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- Обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- Применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- Использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения (ГОСТ Р 12.1.019-2009);
- 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 не электротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь не электротехнический персонал должен быть аттестован на первую

квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год.

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

5.4 Экологическая безопасность

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

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

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте:

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

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

включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

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

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования

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

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

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

К причинам электрического характера относятся:

- Короткое замыкание;
- Перегрузка проводов;
- Искрение;
- Статическое электричество.

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

Причины возникновения короткого замыкания:

- Ошибки при проектировании;
- Старение изоляции;
- Увлажнение изоляции;
- Механические перегрузки.

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

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

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

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации [21].

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- Обеспечение эффективного удаления дыма, т. к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- Обеспечение правильных путей эвакуации;
- Наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;

– Соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Рабочее помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации. План эвакуации представляет собой заранее разработанную схему, на которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Существует порядок действий и правила поведения в случае возникновения пожара:

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

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

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

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

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

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

Выводы

1. В результате проведенных расчетов установлены закономерности влияния органического компонента (ацетона) на показатели горючести водно-органических нитратных растворов неодима и магния и определены составы растворов ВОНР с низшей теплотворной способностью ($\approx 8,4$ МДж/кг), обеспечивающие их энергоэффективную плазменную переработку.

2. По результатам термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР установлены закономерности влияния массовой доли воздушного теплоносителя на состав образующихся продуктов и определены следующие условия, обеспечивающие в воздушной плазме плазмохимический синтез оксидных композиций «Nd₂O₃–MgO» требуемого состава:

- Массовая доля воздушного плазменного теплоносителя не менее 70 % при массовой доле матрицы (MgO) в ОК (5-15%) и не менее 71 % при массовой доле матрицы (MgO) в ОК (20-50%);
- Рабочая температура 1500 ± 200 К;
- Удельные энергозатраты на получение 1 кг ОК «Nd₂O₃–MgO»: 44-105 МДж/кг.

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;
- Рабочая температура в реакторе – 1100 ± 50 °С.
- Расход раствора ВОНР – 300 л/ч;
- 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 (оксида 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) и изменении массовой доли матрицы (MgO) с 5 % до 50 % в составе ОК, полученных из растворов ВОНР, приводит к снижению размера образующихся частиц ОК с 13,0 мкм до 4,7 мкм (метод ЛД), при этом удельная поверхность ОК и размер частиц лежат в пределах 53-123 нм и 11,2-15,2 м²/г (БЭТ) соответственно.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима, магния и других металлов, например, при создании уранового дисперсионного ядерного топлива.

Список используемых источников

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. - М.: Техносфера, 2015. – 256 с. – ISBN 978-5-94836-428-5
2. Алексеев С.В., Зайцев В.А. Торий в ядерной энергетике. – М.: Техносфера, 2014. – 394 с. – ISBN 978-5-94836-394-3
3. Беденко С. В., Кнышев В. В., Кузнецова М. Е., Шаманин И. В. Особенности формирования остаточного излучения дисперсионного микрокапсулированного ядерного топлива // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. - 2018. - №3.
4. Марихин Н. Ю., Пименов В.В., Старков В. А. Исследование характеристик активной зоны реактора см с дисперсионным топливом и матрицей на основе алюминиевого сплава // Сборник трудов АО ГНЦ НИИАР. - 2014. - №1.
5. Пиоро И., Кириллов П.Л. Поколение IV ядерных реакторов как основа для мирового производства электричества в будущем // Атомная техника за рубежом. – 2014. – № 2. – С. 3
6. Рылов М.И., Тихонов М.Н. Ядерный и радиационный терроризм // Атомная стратегия XXI. – 2014, июль. – № 92. – С. 14.
7. Семеновская И.В. Повышение эффективности использования исследовательских реакторов в мире // Атомная техника за рубежом. – 2014. – № 1. – С. 19.
8. Каренгин А. Г. Плазменная техника и технологии в ядерном топливном цикле: учебное пособие Ч. 1. / А. Г. Каренгин, И. Ю. Новоселов, А. А. Каренгин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета–, 2020. –149 с. – ISBN 978-5-4387-0947-3
9. Каренгин А. Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ–, 2008. –160 с. – ISBN 5-98298-334-9
10. Котельников Р.Б. Высокотемпературное ядерное топливо. – М.: Атомиздат, 1978. – 432 с.

11. Ворожцов А.Б. Синтез дисперсионных металлооксидных материалов. Книга 2. Плазмохимический метод получения оксидов титана и циркония. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014 – 168 с. – ISBN 978-5-89503-549-8
12. Leeneers A., et al. Surface engineering of low enriched uranium–molybdenum // J. Nucl. Mater. – 2013. – V. 440. – P. 220.
13. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки металлов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с. ISBN 5-9221-0416-0
14. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
15. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5. – ISBN 978-5-8050-0339-5
16. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7. – ISBN 978-5-406-05319-5
17. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.
18. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
20. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. – Directmedia, 2014. – ISBN 978-5-4468-1394-0
21. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004 – 85 ССБТ Пожарная безопасность.

Приложение А

Таблица А1 – Состав ВОНР для плазмохимического синтеза оксидных композиций «Nd₂O₃-MgO» на основе ацетона

№	Состав ОК	Состав ВОНР, %				Q _{нр} , МДж/кг
		Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	H ₂ O	Ацетон	
1	95% Nd ₂ O ₃ -5% MgO	28,12	10,17	31,71	30,00	8,67
2	90% Nd ₂ O ₃ -10% MgO	20,59	15,72	33,69	30,00	8,62
3	85% Nd ₂ O ₃ -15% MgO	15,80	19,15	35,05	30,00	8,59
4	80% Nd ₂ O ₃ -20% MgO	12,50	21,46	36,04	30,00	8,56
5	70% Nd ₂ O ₃ -30% MgO	8,27	24,34	37,39	30,00	8,53
7	50% Nd ₂ O ₃ -50% MgO	3,95	27,16	38,89	30,00	8,49

Таблица А2 – Расчет состава растворов ВОНР 16-21, имеющих Q_{нр}, ≈ 8,4 МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Nd₂O₃-MgO» с использованием ацетона

Состав оксидной композиции		Состав ВОНР						Q _{нр}	Доля ВНР
		Соль, %		H ₂ O, %	Ацетон, %	А	W		
		Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O					Ацетон	
ОК-16	95%-Nd ₂ O ₃ ; 5%-MgO	26,113	9,442	29,445	35,000	35,555	29,445	8,644	0,7
ОК-17	90% - Nd ₂ O ₃ ; 10% - MgO	19,122	14,596	31,282	35,000	33,718	31,282	8,598	0,7
ОК-18	85% - Nd ₂ O ₃ ; 15% - MgO	14,670	17,784	32,546	35,000	32,454	32,546	8,566	0,7
ОК-19	80% - Nd ₂ O ₃ ; 20% - MgO	11,604	19,928	33,468	35,000	31,532	33,468	8,543	0,7

Продолжение таблицы А2

OK– 20	70%- Nd ₂ O ₃ ; 30%-MgO	7,676	22,600	34,724	35,000	30,276	34,724	8,512	0,7
OK– 21	50%- Nd ₂ O ₃ ; 50%-MgO	3,671	25,217	36,112	35,000	28,888	36,112	8,477	0,7

Приложение Б

Таблица Б1 – Полученные значения при проведении исследования и оптимизации режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ – плазматрона

						Анод				Сетка				Электрод				Корпус				
№	I, А	U _a , кВт	P ₀ , кВт	T _{дг} , °С	S, см ²	m _a , кг/с	dT _a , °С	P _a , кВт	T _a , °С	m _c , кг/с	dT _c , °С	P _c , кВт	T _c , °С	m _э , кг/с	dT _э , °С	P _э , кВт	T _э , °С	m _{кп} , кг/с	dT _{кп} , °С	P _{кп} , кВт	T _{кп} , °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 Б2 – Определение температуры воздушной плазменной струи и установочного КПД установки

№	I, А	U _a , кВт	P ₀ , кВт	T _{др} , °C	S, см ²	ВЧФП					
						P _{стр} , кВт	Q _{пр} , кг/с	H _T , кДж/кг	T _{стр} , °C	P _p , 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 В1 – Состав и режимы переработки растворов ВОНР, физико-химические и технологические свойства полученных простых и сложных оксидных композиций, моделирующих в воздушно-плазменном потоке плазмохимического синтез уранового дисперсионного ядерного топлива

Состав ОК	Состав ВОНР				Режимы переработки ВОНР		Лазерная дифракция ОК	БЭТ-анализ ОК		Параметры прессования ОК	
	№	Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O, г/л	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O, г/л	C ₃ H ₆ O, % масс.	f _ф , Гц	Q _{отв} , кг/с	D ₅₀ , мкм	S, м ² /г	D _{бет} , нм	ρ _{нас} , г/см ³	ρ _{нас} , %
ОК-1 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-1	300,0	-	64,9	35	2,8	7,8	0,2	3738	-	-
ОК-2 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-2	500,0	-	61,6	35	2,8	8,1	1,3	646	0,530	7,5
ОК-3 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-3	1000,0	-	54,6	35	2,8	8,7	7,7	107	0,533	7,4
ОК-4 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-4	300,0	-	64,9	35	2,3	8,7	5,9	141	0,450	6,3
ОК-5 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-5	500,0	-	61,6	35	2,3	9,8	8,3	104	-	-
ОК-6 (100% Nd ₂ O ₃)	ВОНР-6	1000,0	-	54,6	35	2,3	10,2	6,9	113	0,484	6,3
ОК-7 (100% MgO)	ВОНР-7	-	300,0	64,9	35	2,8	9,5	9,0	94	-	-
ОК-8 (100% MgO)	ВОНР-8	-	500,0	61,6	35	2,8	10,9	-	-	0,429	8,1
ОК-9 (100% MgO)	ВОНР-9	-	700,0	54,6	35	2,8	13,2	-	-	0,507	12,2
ОК-10 (95% Nd ₂ O ₃ –5% MgO)	ВОНР-10	309,6	80,1	63,3	35	2,8	13,0	-	-	0,429	5,9
ОК-11 (90% Nd ₂ O ₃ –10% MgO)	ВОНР-11	293,4	160,2	62,3	35	2,8	9,4	-	-	0,424	5,8
ОК-12 (85% Nd ₂ O ₃ –15% MgO)	ВОНР-12	277,1	240,3	61,3	35	2,8	7,3	11,2	73	0,445	6,1
ОК-13 (80% Nd ₂ O ₃ –20% MgO)	ВОНР-13	260,8	320,5	60,3	35	2,8	6,8	15,2	53	0,487	6,6
ОК-14 (70% Nd ₂ O ₃ –30% MgO)	ВОНР-14	228,2	480,8	58,4	35	2,8	5,1	14,6	56	0,507	6,9
ОК-15 (50% Nd ₂ O ₃ –50% MgO)	ВОНР-15	163,0	801,3	56,0	35	2,8	4,7	11,2	123	0,393	9,1