

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 «Ядерная 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 иттрия

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

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Ельмиров Даниил Владимирович		

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

Код	Результат освоения ООП
	тренажерных комплексов для поддержания готовности технологического персонала предприятия к работе в нестандартных и критических ситуациях, к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей плазменных установок, приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции, анализу рынка изотопномодифицированной, мембранной продукции, стабильных изотопов и услуг.
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 в области физики селективных процессов, разделения изотопных и молекулярных смесей.
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 области разделения изотопных и молекулярных смесей, молекулярно-селективных технологий и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
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 получения моноизотопной и изотопно-модифицированной продукции, глубокой очистки трудно разделяемых веществ.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования плазменных, мембранных, ионообменных установок, а также приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

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

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ П.Н. Бычков
«__» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Ельмирову Даниилу Владимировичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2021 № 22-69/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций «оксид неодима-оксид иттрия». 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.

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

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

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

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

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	Ельмиров Д.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Ельмирову Даниилу Владимировичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Оклад руководителя - 35000 Оклад исполнителя – 14000 Затрат на специальное оборудование - 60556</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 % (НК РФ)</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 проекта Проведение анализа конкурентоспособности SWOT - анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение финансовой и ресурсной эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>Диаграмма Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

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	Ельмиров Даниил Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Ельмирову Даниилу Владимировичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР:

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

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:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – 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.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

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

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	Ельмиров Даниил Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 89 страниц, 10 рисунков, 32 таблицы, 19 источников, 29 формул.

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

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

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

В процессе исследований проводились: расчет показателей горючести различных по составу водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия на основе ацетона и метанола; термодинамические расчеты процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «оксид неодима–оксид иттрия» в воздушной плазме; измерение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

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

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 потоков воздушной плазмы.

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

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

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

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

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

Обозначения и сокращения

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

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ– высокочастотный генератор.

ВНР – водный нитратный раствор

ВОНР – водно-органический нитратный раствор

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия.

РФА – рентгенофазовый анализ.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

Содержание

Введение.....	14
1. Обзор литературы.....	15
1.1 Материалы матрицы оксидных композиций	15
1.1.1 Матричные материалы на основе металлов	15
1.1.1.1 Алюминий и его сплавы.....	18
1.1.1.2 Цирконий и его сплавы.....	18
1.1.1.3 Никель	20
1.1.1.4 Магний и его сплавы.....	20
1.1.1.5 Интерметаллические соединения	21
1.1.2 Матричные материалы на основе нитридов.....	22
1.1.3 Матричные материалы на основе карбидов	22
1.1.4 Матричные материалы на основе оксидов	23
1.1.4.1 Матричные материалы на основе простых оксидов металлов.....	24
1.1.4.1.1 Свойства и получение оксида неодима	26
1.1.4.2 Матричные материалы на основе сложных оксидов металлов.....	27
1.1.4.3 Выбор оксидов металлов в качестве матрицы	28
2. Расчетная часть.....	29
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов.....	29
2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР.....	30
2.2.1 Плазмохимический синтез оксидных композиций на основе ацетона из растворов ВОНР	30
2.2.2 Плазмохимический синтез оксидных композиций на основе метанола из растворов ВОНР	33
3. Экспериментальная часть.....	36
3.1 Описание установки.....	36
3.2 Исследование режимов работы установки	38
3.3 Методика проведения экспериментов.....	39

3.3.1 Исследование оксидных композиций	41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	43
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	44
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	44
4.1.3 SWOT-анализ.....	47
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	49
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	51
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	51
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	54
4.3.1 Расчет материальных затрат	54
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ	55
4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования	56
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	59
4.3.5 Накладные расходы.....	59
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	60
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	60
4.4.1 Определение финансовой и ресурсной эффективности	60
5. Социальная ответственность	64
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	64
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	66
5.2 Производственная безопасность.....	68

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	68
5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов	69
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата	69
5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	70
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	71
5.3.4 Превышение уровня шума	72
5.3.5 Психофизиологические факторы	73
5.3.6 Поражение электрическим током.....	73
5.4 Экологическая безопасность.....	76
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	77
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС.....	78
Выводы	80
Заключение	82
Список использованных источников	83
ПРИЛОЖЕНИЕ А	85
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	86
ПРИЛОЖЕНИЕ В	88
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	89

Введение

При синтезе оксидных композиций из диспергированных водных нитратных растворов используют низкотемпературную плазму, так как данный способ синтеза имеет ряд преимуществ, таких как одностадийность; достаточно большую скорость реакции; помимо этого, оборудование для синтеза обладает сравнительно небольшими размерами. Использование низкотемпературной плазмы позволяет оказывать влияние на размер и морфологию частиц. С другой стороны, данный метод имеет некоторые недостатки при переработке водных нитратных растворов, к которым относятся: высокие энергозатраты (до 4 кВт·ч/т); невозможность одностадийного получения оксидных композиций с требуемым фазовым составом без дополнительного водородного восстановления.

Для уменьшения затрат на потребление энергии используют воздушно-плазменный поток при синтезе оксидных композиций (включающих оксиды РЗЭ и матрицу из тугоплавких оксидов металлов с высоким коэффициентом теплопроводности) из диспергированных растворов ВОНР с органическим компонентом, имеющим значение низшей теплотворной способности $\geq 8,4$ МДж/кг. Таким образом использование плазменной переработки растворов ВОНР приводит к снижению (до 0,1 кВт·ч/кг) удельного расхода энергии на их получение, что приводит к увеличению производительности оборудования. Данный способ позволяет осуществлять прямой синтез наноразмерных оксидных композиций, имеющих высокую теплопроводность, равномерное распределение и требуемый состав фаз.

Предлагается использовать резкое охлаждение («закалку») продуктов плазмохимического синтеза после плазмохимического реактора в центробежно-барботажных аппаратах узла «мокрой» очистки отходящих из реактора продуктов. Данная процедура позволит оказывать влияние на свойства порошков: размер, морфологию частиц, удельную поверхность, гранулометрический и фазовый составы.

1. Обзор литературы

1.1 Материалы матрицы оксидных композиций

В состав дисперсионного ядерного топлива входит матрица, в качестве материалов которой могут использоваться металлы, их сплавы, оксиды, нитриды, интерметаллиды, а также неметаллы, такие как например, графит. Так как процентное содержание матрицы может составлять до 80%, то одним из важнейших требований применяемым к материалам матрицы является очень маленькое 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.

Также, материал матрицы должен иметь температуру плавления выше рабочих температур синтеза, высокие механические и теплофизические свойства. Фазовые превращения и неустойчивость к радиационному воздействию - негативные свойства материала матрицы. Необходимо учитывать доступность и стоимость материалов.

1.1.1 Матричные материалы на основе металлов

Создание дисперсионного ядерного топлива привлекло внимание разработчиков из-за его отличной проводимости. А также малых сечений захвата нейтронов у некоторых металлов.

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

В таблице 1.1 можно посмотреть 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	

Также при использовании металлов в качестве матрицы важно также учитывать поведение системы «топливо-матрица». Некоторые возможные сочетания приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Физико-химическая совместимость материалов матрицы и топлива

Топливо	Матрица	Температура, °С	Характер взаимодействия
UC	Ta	293	Декарбонизация: $UC+Ta \rightarrow TaC+U$; Полная растворимость TaC в UC
UC	Zr	293	Образуются растворы UC и ZrC;
UC	C	2400	Образуется UC_2
U	Ni	500	Образуется U_6Ni
U	Al	300	Образуется UAl_4
U	Fe	500	Совместимы, при повышении температуры реагируют
U	Mo	600	Совместимы, при повышении температуры реагируют
U	Nb	600	Совместимы, при повышении температуры реагируют
U	C	2100	Образуют UC
U	Ta	900	Совместимы, при повышении температуры реагируют
U	Zr	700	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UN	Zr	862	Полиморфное превращение
UN	Nb	1800	Образуется $UNbN_2$
UN	Mo	1200	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UN	W	1800	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Ni	1400	Медленное взаимодействие
UO ₂	Fe	600	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Al	500	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Nb	1000	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Zr	800	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	W	1000	Хорошая совместимость
UO ₂	C	2100	Образуют $UC+2CO$
UC	Fe	1100	Образуется эвтектика
UC	Al	620	Образуется UAl_2 и UAl_4 после суток
UC	Ni	1000	Реакция с образованием U_6Ni
UC	Nb	527	Полная растворимость NbC в UC
UC	Mo	1000	Реакция $UC+Mo \rightarrow Mo_2C$
UC	W	293	UC растворяет ~10 моль. % W;

1.1.1.1 Алюминий и его сплавы

Алюминий и его сплавы используются в лишь исследовательский реакторах, это связано с его низкой прочностью и недостаточной коррозионной устойчивостью, так как это незначительно влияет на работу исследовательского реактора с рабочими температурами (~ 100 °С), однако он обладает хорошими ядерными и теплофизическими свойствами, низкой стоимостью, стойкостью в воде [14].

Для улучшения механических свойств алюминий легируют, однако это снижает и благоприятные свойства алюминия [7].

В таблице 1.3 приведены механические свойства сплавов с алюминием. Таблица 1.3 – Механические свойства 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

1.1.1.2 Цирконий и его сплавы

Цирконий нашел свое применение прежде всего в судовых энергетических установках. Цирконий и его сплавы обладают хорошими совокупными свойствами, к которым относятся коррозионная стойкость в воде и паре, высокая температура плавления, технологичность и экономичность, а также механическая прочность при высоких температурах. Данные свойства проявляются для циркония, который очищен от гафния.

Недостаточная коррозионная, механическая прочность, а также его взаимодействие с некоторыми газами при повышенных температурах, заставляют использовать циркониевые сплавы.

В таблицах 1.4 и 1.5 представлены данные о механических свойствах циркония с добавлением азота и кислорода соответственно.

Таблица 1.4 – Влияние азота на механические свойства циркония

Содержание азота, % масс.	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Удлинение на расчетной длине 3,8 см, %
0,008	202	–	17,6
0,030	318	161	14,7
0,044	380	225	10,8
0,069	435	286	15,0
0,120	565	440	12,0

Таблица 1.5 – Влияние кислорода на механические свойства циркония

Содержание кислорода, % масс.	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Удлинение на расчетной длине 3,8 см, %
0	220	169	25,0
0,02	206	152	17,4
0,04	257	161	17,0
0,06	284	167	17,4
0,10	216	205	8,1
0,15	342	246	8,1

Одной из особенностей циркония и его сплавов является то, что его механические свойства значительно изменяются в зависимости от потока нейтронов что можно пронаблюдать в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Влияние облучения на механические свойства циркония

Температура облучения, °С	Поток быстрых нейтронов 10^{23} нейтр./м ²	σ_B , МПа		$\sigma_{0,2}$, МПа		δ , %	
		До облучения	После облучения	До облучения	После облучения	До облучения	После облучения
80	0,3	300	330	160	220	35	26
80	4,0	265	320	160	260	34	20
80	10,0	265	360	160	340	34	15
300	0,4	260	280	150	220	34	25

1.1.1.3 Никель

Никель является достаточно хорошим материалом матрицы из-за высоких температуры плавления и теплопроводности. Не смотря на высокую прочность пластичен, обладает коррозионной стойкостью при высоких температурах.

Недостатком является то, что радиационное воздействие увеличивает склонность никеля к разрушению. Так же при нейтронном облучении у никеля очень резко уменьшается пластичность.

1.1.1.4 Магний и его сплавы

Магний имеет плохие механические свойства в следствии чего его легируют. Также механические свойства магния зависят от температуры, способа его получения, а также чистоты, данные зависимости можно посмотреть в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – 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

Развитие энергетики требует создание сплавов магния с добавлением оксидов металлов.

1.1.1.5 Интерметаллические соединения

Дисперсионное топливо с матрицей из интерметаллических соединений обладает хорошими физико-механическими свойствами, к которым относятся высокая температура плавления и прочность, а также сопротивление ползучести.

Основной недостаток – хрупкость при определённых значениях температуры. Данный недостаток ограничивает область применения интерметаллических соединений.

Подходящие свойства имеются у следующих интерметаллических соединений: Ni_3Al , NiAl , ZrAl_2 , TiAl , Fe_3Al и FeAl . Сплавы на основе алюминидов имеют высокую устойчивость к коррозии, окислению за счет оксидной пленки на поверхности

Алюминид титана (TiAl) пластичный, трещиностойкий и обладает высоким сопротивлением ползучести.

Алюминид никеля (NiAl) плохо подвергается науглероживанию при температурах до 1373 К. При температурах от 923 К до 1373 К имеет высокую прочность на сжатие, довольно пластичен. Обладает высокой химической совместимостью и относительно высокой теплопроводностью. Недостатки соединения: низкая ударная вязкость, низкая пластичность при низких температурах. При высоких температурах не имеет высокой долговременной прочности.

Алюминид железа имеет низкую стойкость и высокую коррозионную устойчивость, устойчивость к коксованию, науглероживанию и износу. Может использоваться в агрессивных и коррозионных средах. Чистые сплавы имеют высокую прочность и пластичность, а также электрическое сопротивление, немагнитны.

1.1.2 Матричные материалы на основе нитридов

Топливом для реакторов на быстрых нейтронах служат твердые растворы на основе нитридов плутония и урана. При переработке данного топлива рекомендовано использовать в качестве материала матрицы нитриды.

В основном используются нитриды металлов, которые и в чистом виде можно использовать для матрицы. Однако исключаются нитрид титана из-за ограниченной растворимости, нитрид хрома из-за высокого парциального давления азота, а также нитрид магния из-за ограниченной термостабильности.

В таблице 1.8 приведены основные свойства нитридов.

Таблица 1.8 – Основные физико-механические свойства нитридов

Свойства	Нитриды					
	AlN	Si ₃ N ₄	Mg ₃ N ₂	CeN	YN	ZrN
Температура плавления, °С	Инконгруэнтное	Инконгруэнтное	Инконгруэнтное	2480	2670	2960
Давление азота, мм рт. ст.	10 ⁻³ (2000 °С)	5 · 10 ⁻³ (1500 °С)	10 ⁻⁸ (1000 °С)	4 · 10 ⁻⁸ (1500 °С) 4 · 10 ⁻⁴ (2000 °С)	≈ 10 ⁻⁷ (1500 °С) ≈ 10 ⁻³ (2000 °С)	≈ 10 ⁻¹² (1500 °С) ≈ 10 ⁻⁷ (2000 °С)
Температура разложения при давлении N ₂ 1 атм., °С	2417	1878	< 1500 °С	–	–	–
Теплопроводность, Вт/(м·К)	62 (500 °С) 36 (1000 °С) 27 (1500 °С)	12 (500 °С) 9 (1000 °С) 10 (1500 °С) 12 (2000 °С)		5 (800–2000 °С)	–	17 (500 °С) 23 (1000 °С) 26 (1500 °С) 24 (2000 °С)
Модуль нормальной упругости E, ГПа	370	320	–	–	300	328

1.1.3 Матричные материалы на основе карбидов

Также в качестве матрицы для дисперсионного ядерного топлива рассматриваются и карбиды, два наиболее актуальных карбида это карбиды кремния и бора. Для их спекания применяются некие добавки в виде оксидов металлов.

Карбид кремния обладает высокой жаростойкостью, высокой твердостью, устойчив к кислотам, но неустойчив к щелочам.

Таблица 1.9 – Свойства карбидов кремния и бора

Свойства	B ₄ C	SiC
Область гомогенности, % ат. С	9–19	Стабильная фаза – α-SiC
Температура плавления, °С	2450 (≈ 18% ат. С)	2830
Общее давление пара, мм рт. ст.	≈ 0,5 (2000 °С)	1,41 · 10 ⁻⁴ (2000 °С) Давление Si, 1 · 10 ⁻⁴ (2000 °С) мм рт. ст.
Теплопроводность, Вт/(м·К)	25 (20 °С) 15 (1000 °С) ≈ 15 (1500 °С)	α-SiC 47 (1000 °С) 31 (1500 °С) β-SiC 40 (1000 °С) 30 (1500 °С)
Модуль упругости, ГПа	480 (горячепрессованный, пористость 4%)	α-SiC 438,0 β-SiC 432,4

Недостатками карбидов являются их нестабильность с некоторыми видами сталей [1, 2].

1.1.4 Матричные материалы на основе оксидов

Наибольшее количество исследований посвящено оксидным матрицам. Прежде всего это обусловлено тем, что наибольшее применение нашли оксиды урана и плутония в качестве топлива.

В качестве в основном рассматривают оксиды циркония, магния, алюминия, иттрия и цезия.

При использовании оксидной матрицы в плутониевом топливе, предназначенном для сжигания необходимо учитывать также и совместимость оксидов матрицы и топлива.

Недостатками являются: низкая теплопроводность матрицы, необходимость использования большого количества плутония и вводить выгорающий поглотитель. Так же технология формирования композиционного материала не идеальна.

При этом их использование наиболее эффективно с точки зрения реализации замкнутого топливного цикла, так как нет большого выхода газообразных продуктов деления.

1.1.4.1 Матричные материалы на основе простых оксидов металлов

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

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.

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.

В таблицах 1.10, 1.11 приведены свойства оксидов металлов.

Таблица 1.10 – Изменение длины простых оксидов при радиационном воздействии

Материал образца	Длина образца L_0 , мм до облучения	Длина образца L , мм после облучения	Удлинение $(L - L_0)/L_0$, %
MgO	251,6	252,7	0,4
Al ₂ O ₃	248,0	251,3	1,3

Таблица 1.11 – Основные физико-механические свойства простых оксидов

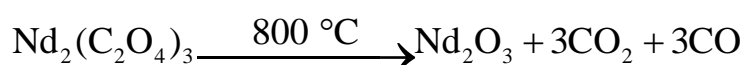
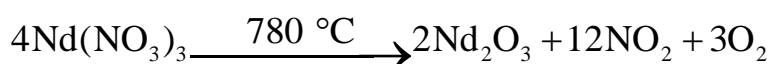
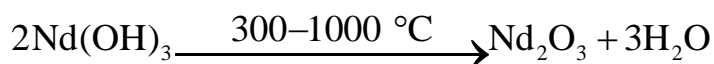
Свойства	Соединение оксидов				
	Al ₂ O ₃	MgO	CeO ₂	Y ₂ O ₃	ZrO ₂
Температура плавления, °С	2054	2827	~2400	2430	2710
Давление пара, мм рт. ст.	~10 ⁻⁹ (1950 °С)	~10 ⁻⁴ (1727 °С)	2 · 10 ⁻⁷ (1500 °С) 6 · 10 ⁻⁵ (2000 °С)	2 · 10 ⁻⁷ (2000 °С)	2 · 10 ⁻⁸ (2000 °С)
Теплопроводность, Вт/(м·К)	13,3 (500 °С) 8,2 (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 (298–1373К)	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.

1.1.4.1.1 Свойства и получение оксида неодима

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

Химические реакции, проходящие при получении оксида неодима методами разложения гидроксида, нитрата, оксалата неодима:



Нитрат неодима $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ является неорганическим соединением соли неодима и азотной кислоты. Представляет собой фиолетовые кристаллы. Образует кристаллогидраты состава $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n = 4$ и 6 .

Кристаллогидрат состава $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ образует красно-фиолетовые кристаллы триклинной сингонии, пространственная группа $P1$, параметры ячейки $a = 0,9307$ нм, $b = 1,1747$ нм, $c = 0,6776$ нм, $\alpha = 91,11^\circ$, $\beta = 112,24^\circ$, $\gamma = 109,15^\circ$, $Z = 2$. Растворяется в воде, этаноле, ацетоне. Растворимость нитрата неодима 6-водного в воде приведена в таблице 1.1 [8, 10].

Таблица 1.12 – Растворимость нитрата неодима 6-водного в воде

Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O		
t, °C	S, г/100 г воды	Тв. ф.
0	127	αβ
15	136	αβ
25	153	αβ
50	185	β6
67,5	305	β6

1.1.4.2 Матричные материалы на основе сложных оксидов металлов

Прежде всего необходимо ознакомиться с основными характеристиками сложных оксидов, для этого обратимся к таблицам 1.13 и 1.14.

Таблица 1.13 – Основные физико-механические свойства сложных оксидов

Свойства	Соединение оксидов	
	MgAl ₂ O ₄	ZrSiO ₄
Температура плавления, °С	2105	1676 °С формирование эвтектики
Давление пара, мм рт. ст.		
Теплопроводность, Вт/(м·К)	9,0 (500 °С) 7,7 (1100 °С) ~8,0 (1500 °С)	5,4 (500 °С) 4,5 (1000 °С) 4,2 (1500 °С)
Модуль нормальной упругости E, ГПа	274,0 (293 К)	154,0 (293 К)
Модуль сдвига G, ГПа	–	64,4
Коэффициент Пуассона	–	0,19

Таблица 1.14 – Изменение длины сложных оксидов при радиационном воздействии

Материал образца	Длина образца L ₀ , мм до облучения	Длина образца L, мм после облучения	Удлинение (L – L ₀)/L ₀ , %
Y ₃ Al ₅ O ₁₂	250,0	249,6	–0,2
MgAl ₂ O ₄	251,5	251,9	0,2

В качестве сложных оксидов рассматривали шпинель (MgAl₂O₄), алюмо-иттриевый гранат (Y₃Al₅O₁₂), и ортосиликат циркония (ZrSiO₄).

Ортосиликат циркония образует эвтектику при 1667 °С и распадается на ZrO₂ и SiO₂.

Шпинель имеет большую теплопроводность, более пластична, чем алюмо-иттриевый гранат (АИГ). При радиационном воздействии оба сложного оксида изменяют свою длину на 0,2% но АИГ, в отличие от шпинели уменьшается. Также при облучении оба оксида уменьшают свою вязкость, однако шпинель сохраняет прочность, а у АИГа она уменьшается.

При больших нейтронных потоках в ряде зерен шпинель образуются дислокационные петли, однако при плотности потока нейтронов соответствующей потоку нейтронов в реакторе данные петли не обнаруживаются.

Поэтому в качестве матрицы дисперсионного ядерного топлива лучше всего подойдет шпинель ($MgAl_2O_4$).

1.1.4.3 Выбор оксидов металлов в качестве матрицы

Как ни странно, но в качестве простого и сложного оксидов выбирают оксиды магния, прежде всего это связано с хорошими физико-механическими и радиационными свойствами самого металла. Определенно синтез оксида магния проще чем синтез шпинели.

К преимуществам шпинели можно отнести более высокую теплопроводность при температурах порядка $1500^{\circ}C$, совместимость с материалом ТВЭЛа при любых температурах, меньшее изменение линейных размеров при облучении.

К преимуществам простого оксида магния можно отнести более высокую температуру плавления, лучшую теплопроводность при $500^{\circ}C$.

Оба оксида обладают приблизительно равными характеристиками упругости, однако простой оксид повышает прочность при облучении, но имеет совместимость с материалами ТВЭЛа лишь до $1100^{\circ}C$.

Простой оксид магния несомненно имеет немного лучшие физико-механические показатели, чем шпинель, однако снижение его теплопроводности с увеличением температуры и несовместимость с материалами ТВЭЛа при температурах выше $1100^{\circ}C$, позволяют сказать, что более перспективным материалом является сложный оксид магния, позволяющий более эффективно передавать тепло от топлива к теплоносителю увеличивая тем самым КПД реактора, а также эффективно снижать тепловые нагрузки внутри реактора, что обеспечивает безопасность и долгосрочность его работы [11].

2. Расчетная часть

2.1 Расчет показателей горючести и состава водно-органических нитратных растворов

По формуле 2.1 проведен расчет значения низшей теплотворной способности водно-органического нитратного раствора:

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

где

Q_H^C – низшая теплотворная способность горючего компонента, МДж/кг;

W – содержание воды;

A – негорючих минеральных веществ в композиции, %.

Низшая теплотворная способность порядка 8,4 МДж/кг является основной характеристикой жидкой горючей композиции.

При 273 К необходимо учитывать скрытую теплоту испарения воды, для этого вводится поправочный коэффициент равный 2,5.

Жидкая композиция может стать горючей при достижении значения низшей теплотворной способности от 8,4 МДж/кг и выше.

В таблице 2.1 приведены значения низшей теплотворной способности Q_H^C различных органических веществ.

Таблица 2.1 – Показатели горючести органических веществ

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

В качестве горючего компонента был использован ацетон (C_3H_6O), так как он обладает высокой теплотворной способностью, высокой взаимной растворимостью с водными растворами, а также легкой доступностью. Проведено сравнение с метанолом в качестве горючего компонента.

Результаты проведенных расчетов низшей теплотворной способности ВОНР неодима и иттрия, включающих органический компонент, представлены в приложении А.

2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР

Расчеты равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР проведены с использованием лицензионной программы термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA». Расчеты проведены при следующих условиях: атмосферное давление (0,1 МПа), диапазон температур синтеза от 300 до 4000 К, массовая доля воздушного плазменного теплоносителя от 10 до 90%.

2.2.1 Плазмохимический синтез оксидных композиций на основе ацетона из растворов ВОНР

На рисунках 2.1-2.3 представлены характерные равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия на основе ацетона.

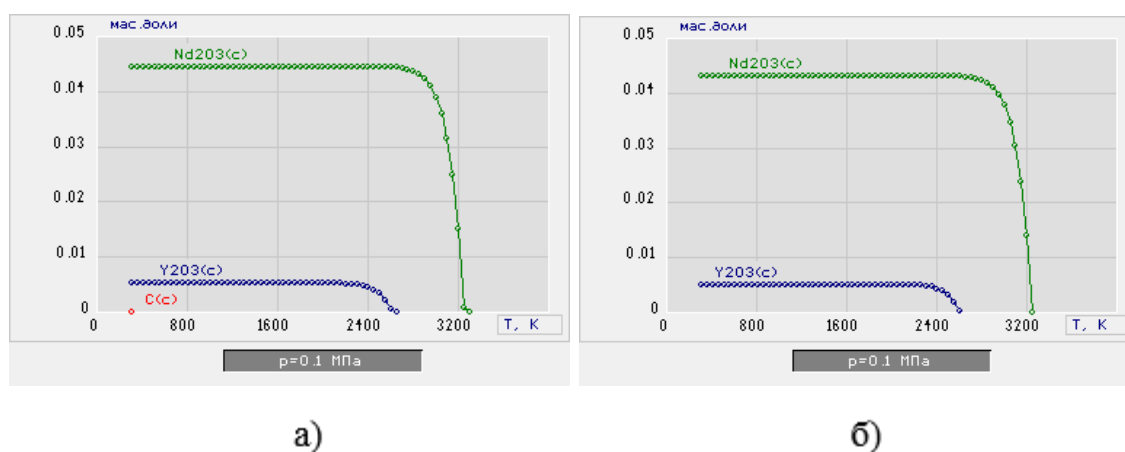


Рисунок 2.1 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона при массовой доле воздуха 68% (а) и 69% (б): (Y_2O_3 – 10%)

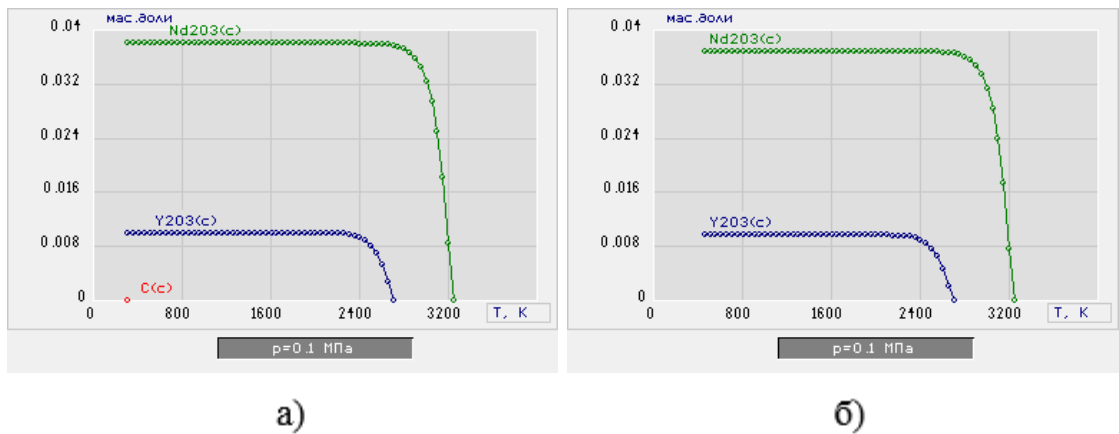


Рисунок 2.2 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона при массовой доле воздуха 68% (а) и 69% (б): (Y_2O_3 – 20%)

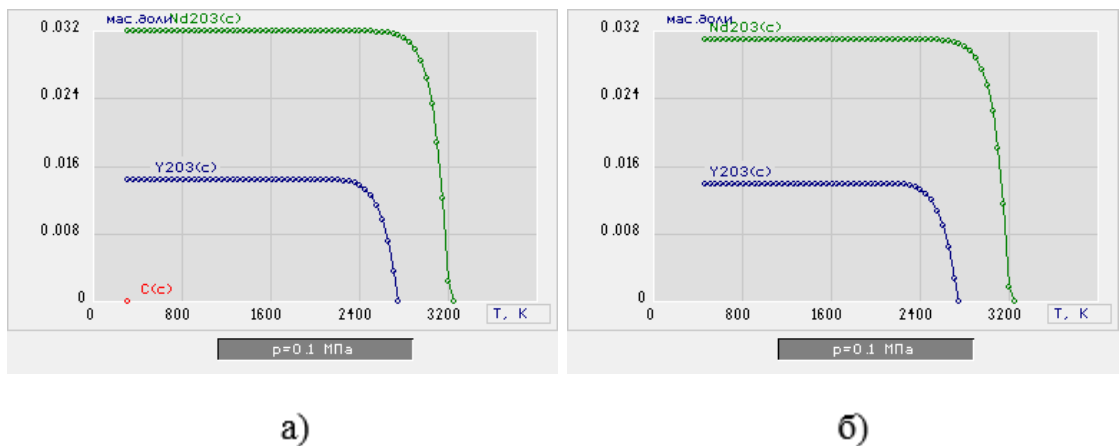


Рисунок 2.3 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона при массовой доле воздуха 68% (а) и 69% (б): (Y_2O_3 – 30%)

При анализе равновесных составов продуктов плазменной переработки ВОНР на основе ацетона (рисунок 2.1-2.3) установлено, что при массовой доле воздуха 69% основными продуктами в конденсированных фазах являются оксиды $Nd_2O_3(c)$ и $Y_2O_3(c)$, которые образуют требуемые оксидные композиции при концентрации Y_2O_3 от 10 до 30%. При этом также образуется углерод $C(c)$. При массовой доле воздуха менее 69 % содержание углерода резко возрастает. Увеличение массовой доли воздуха выше 69 % не приводит к образованию

C(c), но приводит к уменьшению содержания целевых продуктов и снижению производительности данного процесса.

Результаты расчетов удельных энергозатрат на процесс плазмохимического синтеза 1 кг оксидных композиций «Nd₂O₃–Y₂O₃» на основе ацетона в воздушной плазме представлены на рисунке 2.4.

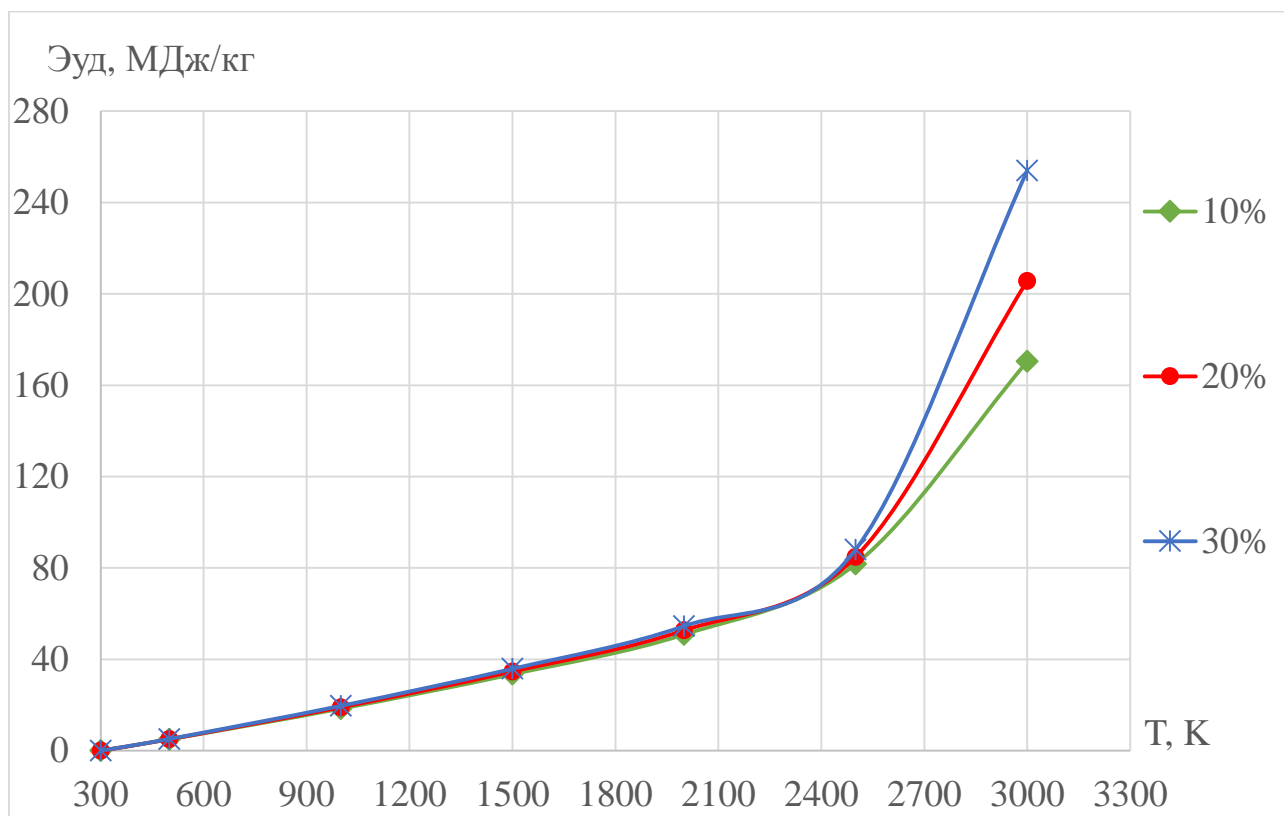


Рисунок 2.4 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций «Nd₂O₃–Y₂O₃» на основе ацетона из растворов ВОНР при различном содержании матрицы (Y₂O₃)

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

2.2.2 Плазмохимический синтез оксидных композиций на основе метанола из растворов ВОНР

На рисунках 2.5-2.7 представлены характерные равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза ОК из растворов ВОНР на основе метанола.

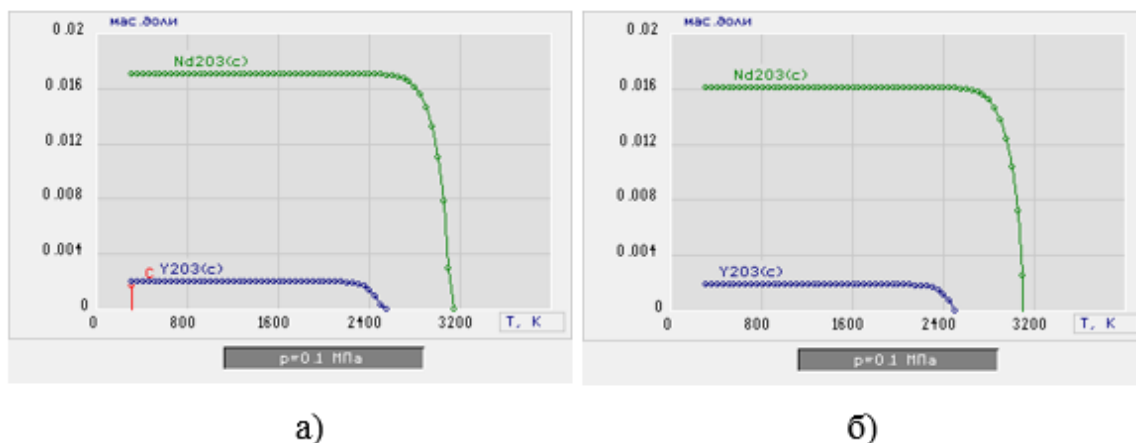


Рисунок 2.5 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе метанола при массовой доле воздуха 83% (а) и 84% (б): (Y₂O₃ – 10%)

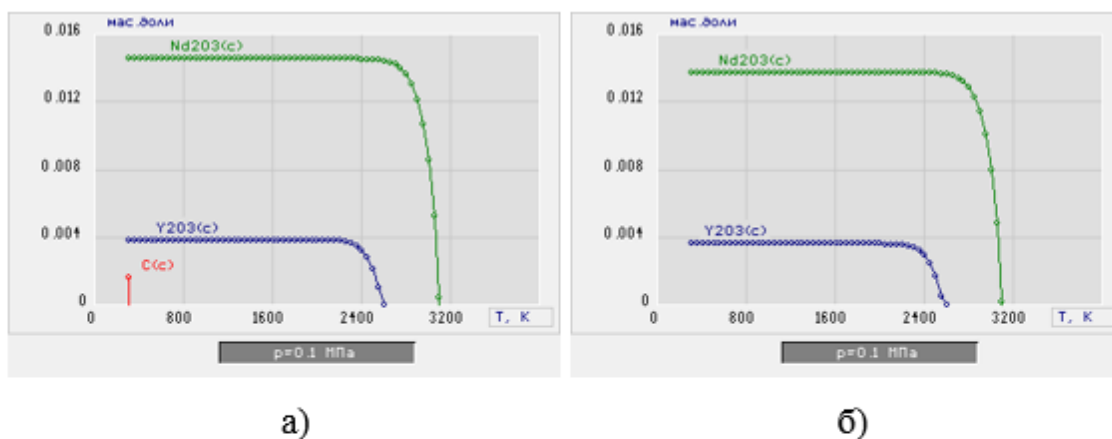
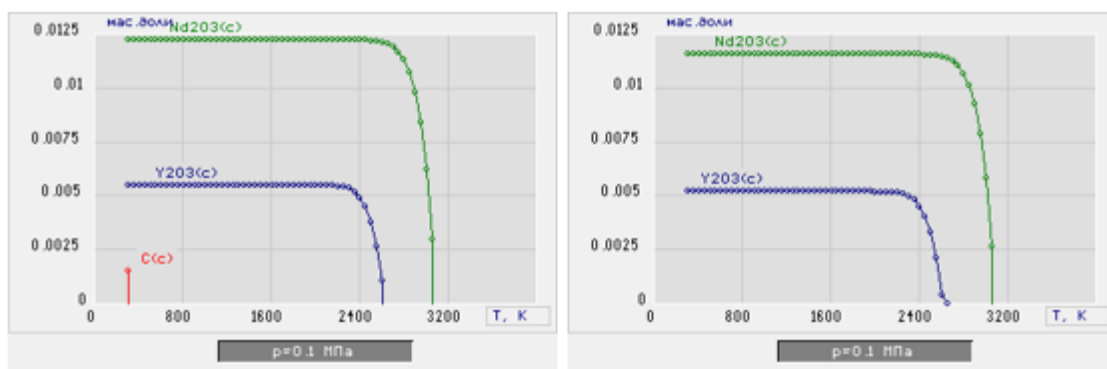


Рисунок 2.6 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе метанола при массовой доле воздуха 83% (а) и 84% (б): (Y₂O₃ – 20%)



а)

б)

Рисунок 2.7 – Влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе метанола при массовой доле воздуха 83% (а) и 84% (б): (Y_2O_3 – 30%)

Из анализа равновесных составов продуктов плазменной переработки растворов ВОНР на основе ацетона (рисунок 2.5-3.7) следует, что при массовой доле воздуха 84% основными продуктами в конденсированных фазах являются оксиды $Nd_2O_3(c)$ и $Y_2O_3(c)$, которые образуют требуемые оксидные композиции при концентрации Y_2O_3 от 10 до 30%. При этом также образуется углерод $C(c)$, содержание которого резко возрастает при снижении массовой доли воздуха менее 84%. Повышение массовой доли воздуха с 84% и более не приводит к образованию углерода $C(c)$ и не изменяет состав целевых продуктов. Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 84% приведет лишь к уменьшению содержания целевых продуктов и снижению производительности данного процесса.

Результаты расчетов удельных энергозатрат на процесс плазмохимического синтеза 1 кг оксидных композиций « Nd_2O_3 – Y_2O_3 » на основе метанола в воздушной плазме представлены на рисунке 2.8.

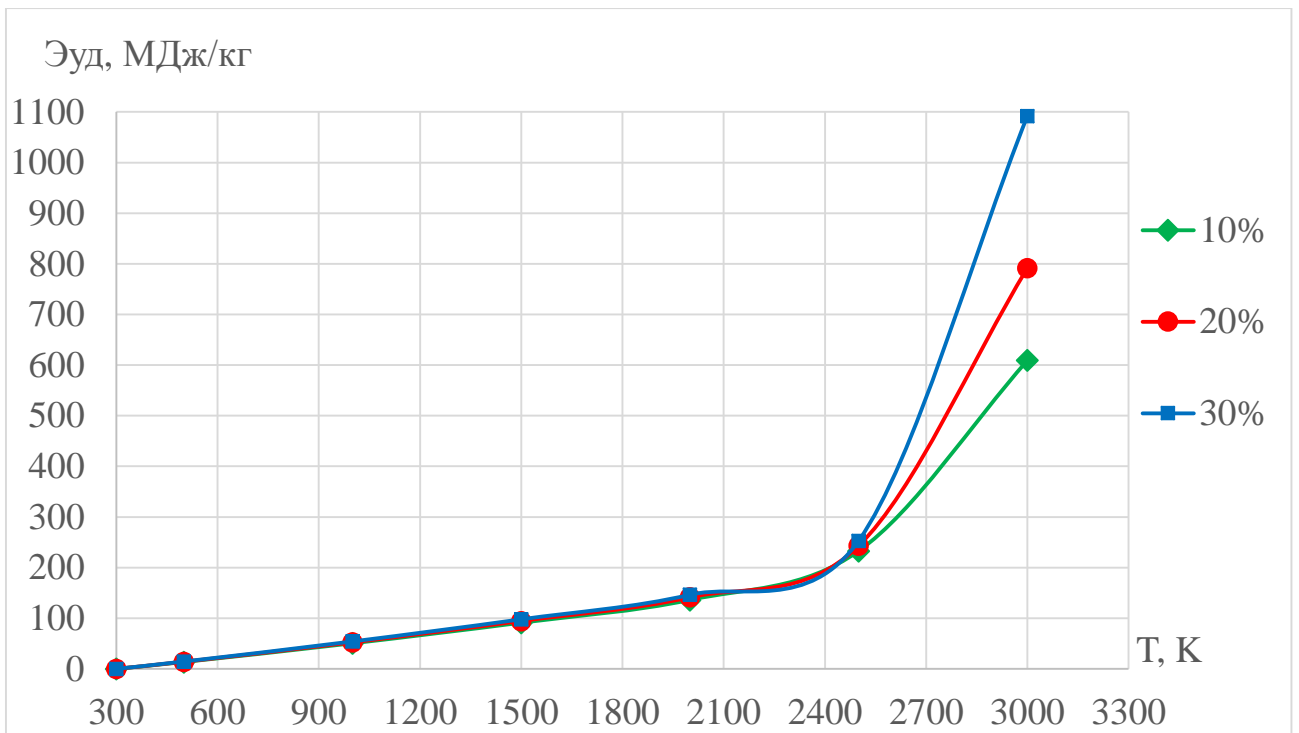


Рисунок 2.8 – Удельные энергозатраты на процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций на основе метанола из растворов ВОНР при различных концентрациях Y_2O_3

3. Экспериментальная часть

3.1 Описание установки

Рассмотрим плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона. Данная установка предназначена для исследования процесса плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов металлов в воздушно-плазменном потоке. Данная схема изображена на рисунке 3.1.

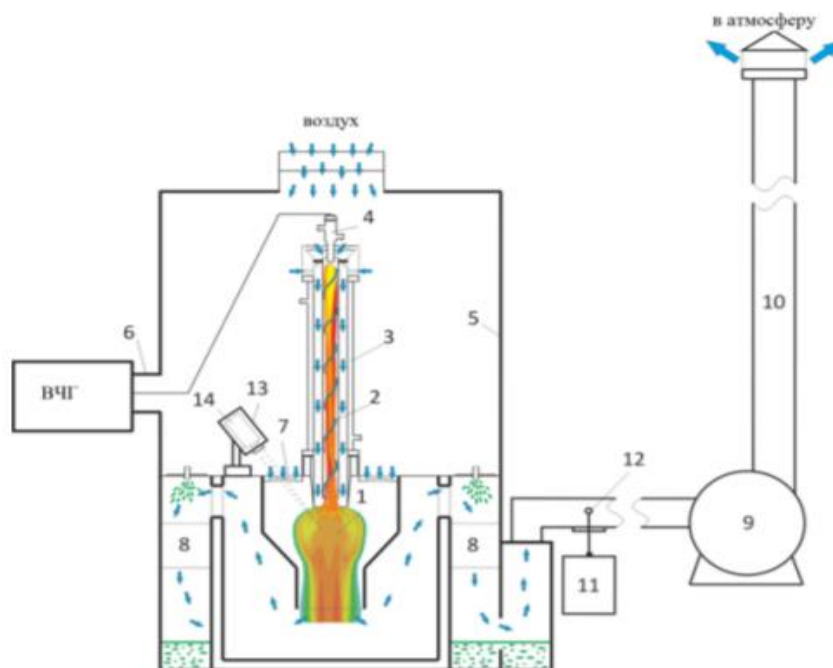


Рисунок 3.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

Стенд состоит из следующих частей, пронумерованных на рисунке 4.1:

- 1 – диспергатор,
- 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон,
- 4 – медный электрод,
- 5 – корпус,
- 6 – коаксиальный вывод,
- 7 – импеллер реактора,
- 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов,
- 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4),

- 10 – воздуховод,
- 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106,
- 12 – пробоотборник,
- 13 – защитный кожух пирометра,
- 14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01.

Высокочастотный ток подается от высокочастотного генератора через коаксиальный вывод 6 к электроду 4, электрод выполнен из меди, его охлаждение производится водой. Электрод конструкционно располагается в ВЧФ-плазмотроне 3, который непосредственно генерирует плазменную струю. Плазменная струя горит внутри разрядной камеры плазмотрона, которая изготовлена из кварцевого стекла. Откачка воздуха производится через газоход из следующих узлов плазмохимической установки: ВЧФ-плазмотрона 3 и плазмохимического реактора по средствам вентилятора высокой мощности 9.

Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь $S_{\text{ип}} = 25 \text{ см}^2$. Конструкционно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Контроль над расходом прокачиваемого воздуха осуществляется посредством шиберов 7, находящегося над импеллером. Входная площадь реакторного шиберов $S_{\text{шиб}}$ регулируется в интервале 0–1650 см^2 . Газоанализатор 11 с пробоотборником 12 необходим для контроля концентраций вредных газообразных веществ, таких как CO, NO, NO₂, и других [15]. Помимо описанных выше функций, при помощи газоанализатора и трубки Пито возможно определять следующие параметры воздушного потока: напор, скорость и расход. Для контроля температуры воздушно-плазменного потока в плазмохимическом реакторе используется бесконтактный пирометр 14.

3.2 Исследование режимов работы установки

Для проведения экспериментов на установке, необходимо рассчитать следующие параметры на теплонапряженных элементах высокочастотного генератора с водяным охлаждением (анод генераторной лампы, сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазматроне (электрод, корпус): потери тепловой мощности [5, 6].

Необходимо определить теплофизические параметры плазменного стенда: КПД, энтальпия, температура воздушной плазменной струи.

По формуле 3.1 проведен расчет значения потерь тепловой мощности:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \quad (3.1)$$

где

I_a – анодный ток, А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ

По формуле 3.2 проведен расчет значения тепловой мощности, рассеиваемой на аноде генераторной лампы:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186 \text{ кВт}, \quad (3.2)$$

где

m_a – массовый расход воды, кг/с;

C_p – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

Δt_a – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

По формуле 3.2 также рассчитывается тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности, электроде, корпусе плазматрона.

По формуле 3.3 проведен расчет значения мощности ВЧФ-разряда:

$$P_{\text{разр}} = P_o - (P_a + P_c + P_{\text{эл}}), \text{ кВт} \quad (3.3)$$

По формуле 3.4 проведен расчет значения мощности плазменной струи:

$$P_{\text{стр}} = P_{\text{разр}} - P_{\text{кл}}, \text{ кВт} \quad (3.4)$$

По формуле 3.5 проведен расчет значения энтальпии плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{\text{разр}}}{Q_{\text{ПГ}}}, \text{ кДж/кг}, \quad (3.5)$$

где

H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

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

По формуле 3.6 проведен расчет значения коэффициента полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta_{\text{ПД}} = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_{\text{разр}}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.6)$$

По формуле 3.7 проведен расчет значения установочного коэффициента полезного действия плазменного стенда:

$$\eta_{\text{ПД}} = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (3.7)$$

Все расчеты предоставлены в приложении Б.

3.3 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 иттрия $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ для образования матрицы в виде оксида иттрия 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 ($P_{стр}=15,0$ кВт);
- плазмохимический реактор ($S_{имп}=1320$ см², $Q_{возд}=0,95$ кг/с).

Предварительно готовился водный нитратный раствор неодима и иттрия (ВНР) с использованием дистиллированной воды, который смешивался с горючим органическим компонентом (ацетон) с получением раствора ВОНР заданного состава. Готовые растворы ВОНР подавались с постоянным расходом 300 л/ч на диспергатор 1 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 ИРЕ 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.

3.3.1 Исследование 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 50 Гц роторной форсунки диспергатора, увеличение содержания матрицы (Y_2O_3) с 10 до 30% и концентрации солей иттрия с 42,4 г/л до 127,2 г/л в ВОНР приводит при плазменной переработке к уменьшению размеров образующихся частиц ОК с 12,1 до 11,2 мкм соответственно (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК и размер частиц лежат в пределах 5,5-7,8 м²/г и 115-147 нм (БЭТ) соответственно.

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

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

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

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной научно-исследовательской работе изучаются особенности плазмохимического синтеза оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия.

К целевым сегментам рынка данных исследований можно отнести государственную корпорацию по атомной энергии «Росатом», исследовательский реактор ТПУ, исследовательские институты (ТПУ, МГУ).

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

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

- время наработки данных – технические характеристики вычислительных технологий;
- помехоустойчивость – способность устройства выполнять свои функции при наличии помех;
- мобильность – возможность передвижения установок для работы в различных местах;
- потребность в ресурсах памяти – технические характеристики вычислительных технологий;
- наличие отходов – чистота производства;
- простота в эксплуатации – удобство в использовании;
- наличие дорогостоящего оборудования – возможность использования современного оборудования;

Помимо технических критериев оценки ресурсоэффективности определены также и экономические критерии оценки:

- конкурентоспособность продукта – соотношение достоинств и недостатков различных способов обеспечения, с помощью полученных материалов и объектов, точной диагностики в лучевой терапии;
- стоимость реализации проекта – оценка финансовых затрат на реализацию проекта;
- трудоемкость – количество времени, затрачиваемого на производство единицы продукции;
- финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами.

В таблице 4.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений. Произведено сравнение ДЯТ из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия с керамическим и металлическим топливом. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. 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;

B_{ϕ} – ДЯТ из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия;

$B_{к1}$ – керамическое топливо;

$B_{к2}$ – металлическое топливо.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Время наработки данных	0,05	3	1	5	0,15	0,05	0,25
Помехоустойчивость	0,01	3	3	1	0,03	0,03	0,01
Мобильность	0,02	5	4	3	0,1	0,08	0,06
Уровень шума	0,21	4	5	1	0,84	1,05	0,21
Потребность в ресурсах памяти	0,04	5	2	3	0,2	0,08	0,12
Наличие отходов	0,02	5	4	2	0,1	0,08	0,04
Простота в эксплуатации	0,11	3	1	5	0,33	0,11	0,55
Наличие дорогостоящего оборудования	0,2	4	3	2	0,8	0,6	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность	0,08	3	1	4	0,24	0,08	0,32
Цена	0,13	3	4	4	0,39	0,52	0,52
Финансовая эффективность научной разработки	0,09	2	4	5	0,18	0,36	0,45
Трудоемкость	0,04	2	5	3	0,08	0,2	0,12
Итого	1	42	37	38	3,44	3,24	3,05

Полученные данные в таблице 4.1 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

4.1.3 SWOT-анализ

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

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

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

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Одностадийность. С2. Низкая стоимость переработки сырья. С3. Гомогенное распределение фаз в продукте с заданным стехиометрическим составом. С4. Возможность активно влиять на морфологию частиц. С5. Наличие оборудования. С6. Компактность оборудования. С7. Маленький срок получения результатов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов. Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ. Сл4. Работа с модельными композициями. Сл5. Большое количество возможных вариантов композиций.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Уменьшение количества урана-235. В2. Дополнительный спрос на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. В4. Использование научно-исследовательских</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. ДЯТ, полученное плазмохимическим синтезом, совершеннее используемого сейчас ЯТ. 2. Замена/усовершенствование</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Повышение спроса на данную продукцию 2. Приток кадров. 3. Использование научно-исследовательского потенциала</p>

достижений ТПУ.	используемой технологии производства ядерного топлива. 3. Переработка части захороненного топлива. 4. Строительство ядерных энергоустановок четвертого поколения.	ТПУ позволит подобрать необходимую композицию.
<p style="text-align: center;">Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологии производства. У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У3. Неудача эксперимента. У4. Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p style="text-align: center;">Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Конкуренция с используемыми методами производства ЯТ. 2. Нехватка урана-235 и необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на новые технологии производства ЯТ. 3. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных композиций обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной композицией или в случае прекращения финансирования.</p>	<p style="text-align: center;">Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Разработка может обернуться провалом без должного финансирования.</p>

Интерактивная матрица данного научно-исследовательского проекта представлена в таблице 4.3.

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

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
B1	+	+	0	0	0	0	0
B2	+	+	+	+	+	+	+
B3	+	0	+	+	+	+	+
B4	+	0	+	+	0	0	+
Возможности проекта	Слабые стороны						
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5		
B1	0	0	0	0	0		
B2	-	-	-	0	+		
B3	-	0	0	0	0		
B4	+	0	0	+	+		
Угрозы проекта	Сильные стороны проекта						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
У1	+	+	0	+	+	+	+
У2	-	-	0	-	0	-	0
У3	-	-	-	-	-	-	-
У4	0	-	0	0	-	0	0
Угрозы проекта	Слабые стороны						
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5		
У1	-	-	-	0	0		
У2	-	-	-	-	-		
У3	-	0	-	0	0		
У4	-	0	-	-	-		

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

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

В данном разделе составляется полный перечень проводимых работ, в рамках проведения научного исследования, определяются их исполнители и рациональная продолжительность.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Исполнители
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель, исполнитель
	2	Анализ актуальности темы	Руководитель, исполнитель
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Исполнитель
	4	Выбор направления исследования	Руководитель, исполнитель
	5	Календарное планирование работ	Руководитель, исполнитель
	6	Подбор нормативных документов	Руководитель, исполнитель
	7	Изучение экспериментальной методики	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Исследование наноразмерных сложных оксидных композиций, моделирующих дисперсионное уран-плутониевое дисперсионное ядерное топливо	Руководитель, исполнитель
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, исполнитель
	10	Заключение	Исполнитель
	11	Оформление пояснительной записки к ВКР	Исполнитель
	12	Подготовка к защите ВКР	Исполнитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

где

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

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

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

где

T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (4.4)$$

где

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4.5)$$

где

$T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

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

Все рассчитанные значения представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И
Составление и утверждение темы дипломной работы	2	2	4	5	2,8	3,2	1,4	1,6	3	3
Анализ актуальности темы	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	-	5	-	10	-	7	-	7	-	11
Выбор направления исследования	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3
Календарное планирование работ	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	2	2
Подбор нормативных документов	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
Изучение экспериментальной методики	-	5	-	10	-	7	-	7	-	11
Исследование наноразмерных сложных оксидных композиций, моделирующих дисперсионное уран-плутониевое дисперсионное ядерное топливо	15	20	20	25	17	22	8,5	11	13	17
Анализ результатов	5	10	10	20	7	14	3,5	7	6	11
Заключение	0	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	9
Оформление пояснительной записки к ВКР	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Подготовка к защите ВКР	-	15	-	20	-	17	-	17	-	26
Общее количество дней	32	82	49	127	38,8	100	19,4	74,4	32	116

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы построена диаграмма Ганта, представленная в приложении Г.

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы

4.3.1 Расчет материальных затрат

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$C_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (5.6)$$

где

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -ого вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -ого вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Примем k_T равным 0,2.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 4.6

Таблица 4.6 – Расчёт материальных затрат

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Ацетон	70	2,5 л.	175
Нитрат ниодима $Nd(NO_3)_3$	6500	2,5 кг.	16250
Нитрат итрия $Y(NO_3)_3$	8500	2,5 кг	21250
Итого:	37675 руб.		

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

На статью "Спецоборудование" для разработки и экспериментальных работ относятся затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по следующим формулам:

$$A_n = \frac{1}{N} \quad (4.7)$$

$$A_r = C_{осн} \cdot A_n \quad (4.8)$$

$$A_m = \frac{A_r}{12} \quad (4.9)$$

$$A = A_m \cdot n \quad (4.10)$$

где

A_n - норма амортизации;

N – срок полезного использования;

A_r – годовые амортизационные отчисления;

$C_{осн}$ – стоимость основного средства;

Ам – ежемесячные амортизационные отчисления;

А – затраты на амортизацию в проекте;

n – количество месяцев использования основного средства или нематериального актива;

Используемое оборудование, его стоимость и амортизация приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.	Затраты на амортизацию, руб
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	15	10000000	10000000	55556
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000	5000
Итого:					10045000 руб.	60556

4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.11)$$

где

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.12)$$

где

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником 20 и 75 для руководителя и исполнителя соответственно, раб.дн.

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 выполнение темы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.13)$$

где

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 12,5%.

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.14)$$

где

$Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года 10,1 и 10,4 для руководителя и исполнителя соответственно, мес.

$F_{\text{д}}$ – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала в рабочих днях представлен в таблице 5.8.

Таблица 4.8– Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66	118
Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Потери рабочего времени (отпуск/ невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	244	272

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} + K_{IP} \cdot K_P \quad (4.15)$$

где

Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке 35000 и 14000 для руководителя и исполнителя соответственно, руб.;

K_{IP} – премиальный коэффициент (индивидуально стимулирующая добавка(ИСН), равный 20% от Z_{TC} ;

K_P – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Результаты расчета заработной платы представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты расчета заработной платы

Работники	$Z_{ТС}$, руб.	$K_{ПП}$	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$C_{зп}$, руб.
Руководитель	35000	7000	1,3	44100	1825	20	36509	4564	41073
Исполнитель	14000	2800		17640	674	75	50585	6323	56908
Итого	49000	9800		61740	2499	95	87094	10887	97981

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot C_{зп} \quad (4.16)$$

где $k_{внеб} = 30,2\%$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 97981 = 29590,262 \text{ руб.}$$

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (A + C_{зп} + C_{внеб}) \quad (4.17)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов равный 16 %;

$$C_{накл} = 0,16 \cdot (60556 + 97981 + 29590,262) = 30100,36 \text{ руб.}$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	37675	пункт 5.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60556	пункт 5.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	97981	пункт 5.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	29590,262	пункт 5.3.4
5. Накладные расходы	30100,36	пункт 5.3.5
6. Бюджет затрат НИИ	255903	Сумма статей 1-5

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

4.4.1 Определение финансовой и ресурсной эффективности

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{инс.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.18)$$

где

$I_{финр}^{инс.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп.п} = \frac{255903}{300000} = 0,85$$

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{270000}{300000} = 0,9$$

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{300000}{300000} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.19)$$

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^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исн.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} \quad (4.20)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}. \quad (4.21)$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исполнение 1	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,65	3,15
3	Интегральный показатель эффективности	5	4,06	3,15
4	Сравнительная эффективность текущего проекта		1,23	1,59

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

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 [18].

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

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

- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

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

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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

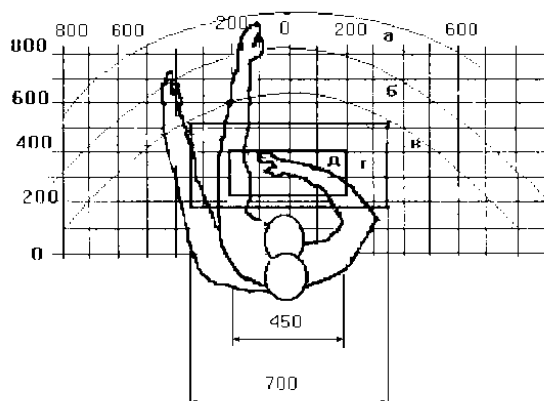


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

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

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

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

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

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [13].

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 [9].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

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

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

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

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

Таблица 5.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Эксперимент	Расчеты на ПК	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
4. Превышение уровня шума	+	-	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

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

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

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

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

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 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 [4].

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 [19].

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 [17].

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

Таблица 5.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

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

5.3.5 Психофизиологические факторы

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

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развитию 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 [16].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.
- Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:
 - рода и величины напряжения и тока;
 - частоты электрического тока;
 - пути прохождения тока через тело человека;
 - продолжительности воздействия на организм человека;
 - условий внешней среды.

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

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

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

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

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

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

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

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

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год.

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

5.4 Экологическая безопасность

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

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

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте:

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

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

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

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования

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

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

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

К причинам электрического характера относятся:

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

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

Причины возникновения короткого замыкания:

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

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

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

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

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации [12].

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. По результатам проведенных расчетов установлены закономерности влияния органического компонента (ацетона, метанола) на показатели горючести водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия и определены составы растворов ВОНР, имеющие низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную переработку.

2. В результате термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР установлены закономерности влияния массовой доли воздушного теплоносителя на состав образующихся продуктов и определены условия, обеспечивающие в воздушной плазме синтез оксидных композиций «Nd₂O₃-Y₂O₃» на основе ацетона: массовая доля воздуха не менее 69 %, температура 1500±200 К; удельные энергозатраты на получение 1 кг ОК «Nd₂O₃- Y₂O₃»: 33-36 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; расход воздуха – 1,2 кг/с; 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 (оксид иттрия) на площадь удельной поверхности и размер получаемых ОК.

5. Показано, что при постоянном расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с), частоте диспергатора (50 Гц) и изменении массовой доли матрицы (Y_2O_3) с 10 до 30% в составе ОК, полученных из ВОНР, приводит к уменьшению размеров образующихся частиц ОК с 12,1 до 11,2 мкм соответственно (метод ЛД). При этом удельная поверхность ОК и размер частиц лежат в пределах 5,5-7,8 м²/г и 115-147 нм (БЭТ) соответственно.

Заключение

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

Список использованных источников

1. Алексеев С. В. Дисперсионное ядерное топливо / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев, С. С. Толстоухов. – М.: Техносфера–, 2015. –248 с. – ISBN 978-5-94836-428-5.
2. Алексеев С. В. Торий в ядерной энергетике / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. – М.: Техносфера–, 2014. –394 с. – ISBN 978-5-94836-394-3.
3. Головачев А. С. 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.
4. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.
5. Каренгин А. Г. Плазменные 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.
6. Каренгин А. Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ–, 2008. –160 с. – ISBN 5-98298-334-9.
7. Марихин Н. Ю. Исследование характеристик активной зоны реактора см с дисперсионным топливом и матрицей на основе алюминиевого сплава // Сборник трудов АО ГНЦ НИИАР / Н. Ю. Марихин, В. В. Пименов, В. А. Старков. – 2014. –№1.
8. Никольский Б.П. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы» / Справочник химика. Т 3, 1965.
9. Пашуто В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие. – М: КНОРУС–, 2005. –320 с. / Глава 7. – ISBN 978-5-406-05319-5.
10. Писаренко В. В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. – М.: Высшая школа–, 1970. –192 с.

11. Пиунова К. Г. Плазменное получение тепловой энергии из сульфатного лигнина // Перспективы развития фундаментальных наук. / К. Г. Пиунова, А. Г. Каренгин –2015.
12. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004 – 85 ССБТ Пожарная безопасность.
13. Расторгуев В. И. Плазмохимический синтез и исследование наноразмерных оксидных композиций, моделирующих дисперсионное уран-плутониевое ядерное топливо // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (26-29 октября 2020 г.) / В. И. Расторгуев, А. А. Каренгин, Д. В. Ельмиров. – Томский политехнический университет. Томск: Томский политехнический университет–, 2020. –С. 49.
14. Семеновская И. В. Повышение эффективности использования исследовательских реакторов в мире // Атомная техника за рубежом. – 2014. –№ 1. –С. 19. – ISBN 978-5-0403-1281-8.
15. Сергеев Г.Б. Нанохимия. – М.: Изд-во МГУ–, 2003. –288 с.
16. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Directmedia, –2014. – ISBN 978-5-4468-1394-0.
17. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
18. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
19. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Расчет состава растворов ВОНР, имеющих $Q_{нр}^p, \approx 8,4$ МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Nd₂O₃ - Y₂O₃» с использованием ацетона

Состав оксидной композиции	Состав ВОНР						Q _{нр}	Доля ВОНР
	Соль, %		H ₂ O, %	Ацетон, %	А	W		
	Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	Y(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O						
10% - Y ₂ O ₃ ; 90% - Nd ₂ O ₃	36,249	5,503	29,248	29	41,752	29,248	8,415	0,71
20% - Y ₂ O ₃ ; 80% - Nd ₂ O ₃	30,935	10,567	29,499	29	41,501	29,499	8,409	0,71
30% - Y ₂ O ₃ ; 70% - Nd ₂ O ₃	26,027	15,241	29,732	29	41,268	29,732	8,403	0,71

Таблица А2 – Расчет состава растворов ВОНР, имеющих $Q_{нр}^p, \approx 8,4$ МДж/кг, для плазмохимического синтеза требуемых оксидных композиций «Nd₂O₃ - Y₂O₃» с использованием метанола

Состав оксидной композиции	Состав ВОНР						Q _{нр}	Доля ВОНР
	Соль, %		H ₂ O, %	Метанол, %	А	W		
	Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	Y(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O						
10% - Y ₂ O ₃ ; 90% - Nd ₂ O ₃	28,080	4,263	22,657	90	32,343	22,657	8,411	0,55
20% - Y ₂ O ₃ ; 80% - Nd ₂ O ₃	23,964	8,185	22,851	90	32,149	22,851	8,406	0,55
30% - Y ₂ O ₃ ; 70% - Nd ₂ O ₃	20,162	11,806	23,032	90	31,968	23,032	8,402	0,55

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 _{дг} , °С	S, см ²	ВЧФП					
						P _{стр} , кВт	Q _{пр} , кг/с	H _T , кДж/кг	T _{стр} , °С	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 – Расчет состава ВОНР на основе ацетона

Состав оксидной композиции	Состав ВОНР			Режимы переработки ВОНР		Лазерная дифракция ОК	БЭТ-анализ ОК		По данным прессования ОК	
	Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O, г/л	Y(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O, г/л	Ацетон, %	$f\phi$, Гц	$Q_{отв}$, кг/с	D_{50} , мкм	S , м ² /Г	D_{bet} , нм	$\rho_{нас}$, г/см ³	$\rho_{нас}$, %
10% - Y ₂ O ₃ ; 90% - Nd ₂ O ₃	264,0	42,4	64,3	50	2,8	12,1	5,5	147	0,484	6,5
20% - Y ₂ O ₃ ; 80% - Nd ₂ O ₃	234,7	84,8	64,1	50	2,8	11,4	5,5	148	0,441	5,9
30% - Y ₂ O ₃ ; 70% - Nd ₂ O ₃	205,4	127,2	63,9	50	2,8	11,2	7,8	115	0,407	6,3

