TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Плазмохимический синтез оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла

УДК 621.039.543:66.011:533.9.091:546-31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Расторгуев Вячеслав Игоревич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
	Профессиональные компетенции
Р1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
Р2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
Р3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
Р4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
Р5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
Р6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
	Общекультурные компетенции
Р7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
Р9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки: 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП.
_____ П.Н. Бычков
«___» _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	**ФИО**
0А5Д	Расторгуев Вячеслав Игоревич

Тема работы:

Плазмохимический синтез оксидных композиций для ядерного топлива уран-плутониевого цикла	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	21.02.2019 №1383/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксидных композиций для ядерного топлива плутоний-ториевого цикла. Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Определение и анализ способов получения оксидных композиций для ДЯТ. 2. Определение составов ВОНР, включающих плутоний, торий и металлы матрицы. 3. Термодинамический расчет процесса получения в плазме оксидных композиций пригодных для применения в плутоний-ториевом цикле и определение режимов, обеспечивающих плазмохимический синтез в воздушной плазме композиций требуемого состава. 4. Подготовка плазменного стенда для проведения экспериментальных исследований, получение опытных

	партий образцов. 5. Исследование основных физико-химических свойств полученных порошков (размер, дисперсность, элементный состав). 6. Выводы по работе. Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	**Консультант**
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.04.2019

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	**ФИО**	**Подпись**	**Дата**
0А5Д	Расторгуев В.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Расторгуев Вячеслав Игоревич

Школа		**Отделение школы (НОЦ)**	
Уровень образования	бакалавр	**Направление/специальность**	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость расходных материалов 2.Тариф на электроэнергию 3.Должностные оклады исполнителей
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Ставки НДС и социального налога
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Выполнить
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Структура работ в рамках научного исследования; 2.Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3.Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1.Выполнить
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений *2.* Матрица SWOT *3.* Альтернативы проведения НИ *4.* График проведения и бюджет НИ *5.* Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Расторгуев В.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Расторгуев В.И.

Школа		Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. *Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:*	– вредных проявлений факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасных проявлений факторов: вероятность поражения электрическим током, пожарная и взрывоопасность.
2. *Перечень законодательных и нормативных документов по теме*	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – химическая безопасность;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности*	– электробезопасность (причины, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Расторгуев В.И.		

Оглавление

РЕФЕРАТ 10
Введение 11
1. Обзор литературы 14
1.1. ПОЛУЧЕНИЕ ДВУОКИСИ ПЛУТОНИЯ И СМЕШАННОГО ОКСИДНОГО ТОПЛИВА 14
1.2. ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДОВ 14
1.3 Золь гель-процесс 15
1.4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА PuO_2 И $PuO_2 – UO_2$ 17
1.5. ХИМИЧЕСКИЕ СВОИСТВА PuO_2 И PuO_2—UO_2 18
2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ 20
2.1 Моделирование процесса плазмохимического синтеза уран-плутониевых оксидных композиций 21
2.2 Расчёт показателей горения ВОНР на основе урана и плутония 21
2.3 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной переработки ВОНР. . 23
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 29
3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона 29
3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон и газоход 30
3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор 32
3.4 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР 33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 36
4.1 Организация и планирование работ 36
4.2 Продолжительность этапов работ 37
4.3 Расчет накопления готовности проекта 42
4.4 Расчет сметы на выполнение проекта 43
4.5 Расчет затрат на материалы 43
4.6 Расчет заработной платы 45
4.7 Расчет затрат на социальный налог 45
4.8 Расчет затрат на электроэнергию 46
4.9 Расчет амортизационных расходов 47

4.10 Расчет прочих расходов 48
4.11 Расчет общей себестоимости разработки 48
4.12 Расчет прибыли 49
4.13 Расчет НДС 49
4.14 Цена разработки 49
4.15 Оценка экономической эффективности проекта 49
5 Социальная ответственность 50
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов 51
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ЭВМ 53
5.2.1 Организационные мероприятия 53
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ 53
5.2.3 Условия безопасности работы 55
5.3 Химическая безопасность 58
5.4 Электробезопасность 59
5.5 Пожарная и взрывная безопасность 62
ВЫВОДЫ 65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 67

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 68 страниц, 13 рисунков, 18 таблиц, 15 источников.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, высокочастотный факельный плазмотрон, плазмохимический синтез, оксид урана, оксид плутония, дисперсионное ядерное топливо.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и пултония для ядерного топлива.

Цель работы – исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и плутония из смесевых нитратных растворов (СНР) в воздушной плазме в виде диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР)

В процессе исследований проводились: расчет показателей горения различных по составу ВОНР на основе СНР; термодинамические расчеты процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и плутония из ВОНР в воздушной плазме; измерение теплофизических и газодинамических параметров воздушно-плазменного потока при работе плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

В работе были определены составы смешанных водно-органических нитратных растворов, включающие уран, плутоний и различные металлы матрицы, а также режимы их переработки, обеспечивающие прямой синтез в воздушной плазме топливных композиций для уран-плутониевого дисперсионного топлива.

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

Введение

Значительную часть атомной энергетики в двадцать первом веке еще будут составлять АЭС, использующие керамическое ядерное топливо (ЯТ) из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого наряду с несомненными достоинствами есть и существенные недостатки: низкая теплопроводность, которая ограничивает удельную мощность реактора по температуре плавления, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (до 3-5 лет), невозможность создания энергетических установок сверхмалой (до 10 МВт) и малой (10-100 МВт) мощности, большие расходы на утилизацию отработавшего ЯТ, ограниченный ресурс изотопа уран-235.

При использовании изотопов уран-238 и плутоний-239 отпадает необходимость в дорогостоящем изотопном обогащении а цикл использования такого ЯТ может быть доведен до 10-15 лет. При этом прогнозных запасов тория в земной коре в 3-5 раз больше, чем урана, а использование керамического ЯТ из оксидных композиций на основе плутония даст возможность создания сверхмалых и малых энергетических установок для использования в удаленных и труднодоступных регионах, на рудниках и карьерах. Однако у керамического ЯТ остается существенный недостаток – низкая теплопроводность.

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития атомной энергетики является использование дисперсионного ЯТ, в котором включения из делящихся материалов (уран, торий, плутоний) в виде гранулированных оксидных композиций (микросфер) размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности. Однако применение матрицы из порошков металлов (алюминия, молибдена, вольфрама, нержавеющей стали и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к ухудшению нейтронного баланса из-за высокого резонансного поглощения нейтронов. К тому же применение внешнего гелеобразования (золь-гель процесса) для получения микросфер из смесевых водных нитратных растворов сопряжено со

следующими недостатками: многостадийность; продолжительность; низкая производительность; необходимость использования химических реагентов; дополнительное водородное восстановление; высокая себестоимость. Кроме того, раздельное получение и механическое смешение микросфер и матрицы не обеспечивают гомогенное распределение фаз в таком ЯТ [1].

К несомненным преимуществам применения плазмы для плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных смесевых водных нитратных растворов по сравнению с золь-гель процессом и технологией, основанной на раздельном получении и механическом смешении оксидов металлов, следует отнести: одностадийность; высокую скорость; возможность активно влиять на размер и морфологию частиц; компактность технологического оборудования. Однако плазменная обработка только смесевых водных нитратных растворов требует значительных энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать в одну стадию оксидные композиции требуемого стехиометрического состава без дополнительного водородного восстановления.

Впервые предлагается прямой плазмохимический синтез в воздушно-плазменном потоке сложных оксидных композиций (включающих оксиды делящихся материалов и матрицу из тугоплавких оксидов металлов, имеющих высокий коэффициент теплопроводности и низкое резонансное поглощение нейтронов) из диспергированных горючих водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.) и имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и адиабатическую. температуру горения не менее 1200 °С.

Плазменная обработка таких растворов ВОНР приведет к существенному снижению удельных энергозатрат на их переработку (до 0,1 МВт·ч/т), позволит значительно увеличить производительность плазменных установок, а также обеспечит условия в плазмохимическом реакторе установки для прямого синтеза в воздушной плазме наноразмерных сложных оксидных композиций, имеющих гомогенное распределение фаз, высокую

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

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Получение двуокиси плутония и смешанного оксидного топлива

PuO_2 является конечным продуктом прокаливания на воздухе различных соединений плутония: перекиси Pu (IV) и оксалатов Pu (III) и Pu (IV). Сухие осадки медленно нагревают до 700 0С. До постоянной массы PuO_2 доводят выдержкой при 1000—12000С.

Характеристики порошков PuO_2, как и UO_2, зависят от технологии их изготовления и в большей степени от температуры прокаливания: ее повышение приводит к огрублению порошка: увеличиваются размер его частиц и насыпной вес, а также снижается химическая активность.

Плутоний образует несколько оксидов от PuO до PuO_2. Диаграмма состояния системы Pu–O отличается значительной сложностью, в связи с тем что плутоний, как и уран, образует нестехиометрические оксиды, но если для UO_2 характерно сверхстехиометрическое состояние с внедренным в междоузлия кислородом, то PuO_2 легче переходит в достехиометрическое состояние. PuO_2 легко теряет кислород при повышенной температуре в инертной и восстановительной средах, что сопровождается расширением элементарной ячейки в результате образования иона Pu3+. Этот эффект заметно проявляется при температурах выше 100—12000 С.

1.2. Плазменная технология получения оксидов

После того как ввели сорбционный и экстракционный аффинаж в гидрометаллургию плутония, урана и других элементов, растворы стали исходным материалом для изготовления ядерно-чистых веществ [2].

Оксиды урана и плутония, получаемые из растворов, применяются для изготовления керамического ядерного топлива или являются промежуточным сырьем для получения ядерных материалов.

При традиционном методе изготовления керамических материалов из растворов процедуру осуществляют с использованием операций: осаждение

нерастворимой соли, фильтрация, сушка, прокалка, переработка маточного раствора, абсорбция оксидов азота.

Для изготовления ядерно-чистых элементов прежде большинство операции являлись аффинажными и были необходимы для производства ядерно-чистых элементов, таких как уран и плутоний. Плазменная техника позволяет «замкнуть» технологическую цепочку «растворы-оксиды» из-за разложения растворов напрямую.

В технико-экономическом плане такое изменение структуры ядерно-топливного цикла позволит существенно снизить затраты определенных этапов за счет уменьшения максимального количества этапов, объема емкостного оборудования, затрат химических реагентов, энергозатрат и трудозатрат[3].

1.3 Золь гель-процесс

Получение UO_2–PuO_2 золь-гель процессом включает три основные стадии: приготовление золей, удаление воды с образованием твердых частиц геля, прокаливание.

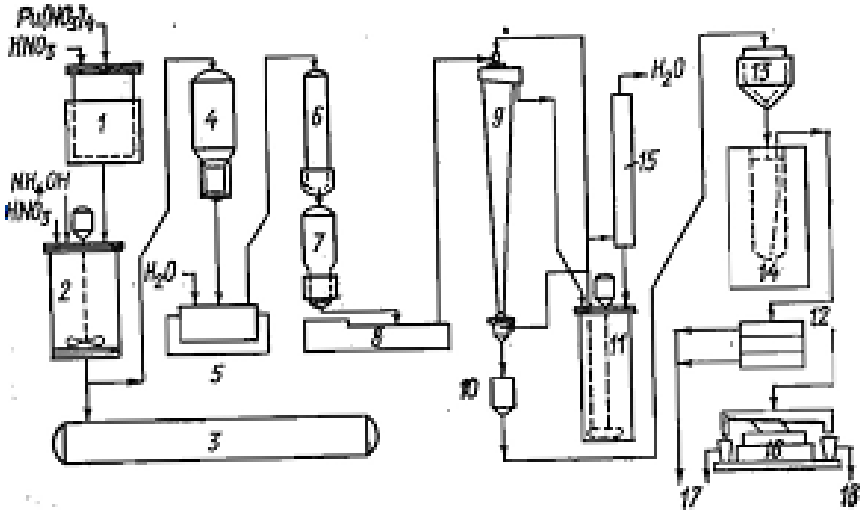


Рис. 1.1. Технологическая схема приготовления золя и формирования микросфер двуокиси плутония• 1 — приготовление исходного раствора; 2— осаждение, фильтрация и пептизация; 3— промывка; 4 — выпаривание

высоконитратного золя; 5 термическая денитрация; золя; 9— 6— формирование выпаривание 12 — просеивание; микросфер; золя; 7— накоп-10 —— ление золя; 8— 11 перекачка — отделение растворителя; 13 отделение сфер; спекание; 15 — отстаивание; 16 — измерение; 17 — высушка; 14 — дача отходов; 18 — выдача готового продукта

Смешанное оксидное топливо с любым отношением U/Pu получают путем перемешивания золей. Приготовление золей из UO_2 описано выше; золь двуокиси плутония получают по схеме, приведенной на рис. 3.6. Золи, полученные по этой схеме, имеют концентрацию 1–3 М по плутонию и NO-3/Pu=(0,1–0,15). Они устойчивы в течение нескольких месяцев и совместимы с золями урана.

Особенности процесса образования золей PuO_2 обусловлены гидролитическими реакциями Pu(IV) и нестабильного нитрата Pu(IV) в разбавленной HNO_3. Минимальная концентрация свободной HN03 в исходном растворе полимеризации Pu(NO3)4 поддерживается не менее 1 М для предотвращения полимирезации плутония; при этом концентрация свободной азотной кислоты может быть до 3 М [4].

Для обеспечения быстрой нейтрализации и осаждения Pu(OH) к исходному раствору добавляют аммиак со скоростью 30 мл/мин. Избыток аммиака удаляют из конечного раствора при фильтрации через фильтр из нержавеющей стали.

Внедрение в промышленность золь-гель процессов приготовления смешанного оксидного топлива будет зависеть от возможности реализации их преимуществ по сравнению с существующим производством подготовки ядерного топлива. Ожидаемые преимущества могут иметь существенное значение для экономики заводских процессов, входящих в состав топливного цикла энергетических реакторов на быстрых нейтронах:

1) микросферы могут быть изготовлены размером 20–1000 мкм с тщательным контролем их на стадии получения геля; дефектные микросферы

могут быть возвращены в начало процесса до операции спекания;

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

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

отсутствие пылевидного продукта в процессе приготовления микросфер позволяет легко локализовать α-активность в пределах рабочих объемов технологического оборудования; .

процесс приготовления микросфер легко осуществить дистанционно в автоматическом цикле.

1.4. Физические свойства pUo_2 и $pUo_2 – uo_2$

Коэффициент термического расширения. Зависимость параметра кристаллической решетки PuO_2 от температуры в интервале 14—1137^{0}C, определенная на сформированных в плазме микросферах $^{238}PuO_2$ диаметром 50 и 250 мкм, имеет следующий вид:

$\alpha_t = 5{,}4153 + 4{,}10066*10^{-5}T - 2{,}4149*10^{-8}T^2 + 1{,}5254*10^{-11}*T^2 + 7{,}4714*10^{-15}*T^4$, где T— температура, ^{o}c.

Вычисленная по этим данным зависимость коэффициента термического расширения от температуры имеет вид

$$\alpha = 5{,}17*10^{-6} + 1{,}35 * 10^{-8}T - 5{,}28 * 10^{-11}T^2 + 7*10^{-14}T^3 – 2{,}44*10^{-17}T^4$$

Средний коэффициент термического расширения в пределах 500^{0}C равен $6{,}8*10^{-6}$ 1/^{0}C.

Теплопроводность смешанного оксидного топлива $(U;Pu)O_2$ незначительно отличается от теплопроводности UO_2. Она уменьшается с увеличением концентрации плутония для композиций, содержащих более 30% PuO_2. Рассчитанные значения для высоких концентраций двуокиси плутония

показали, что минимум теплопроводности в системе UO_2-PuO_2 наблюдается при содержании PuO_2 приблизительно 70%.

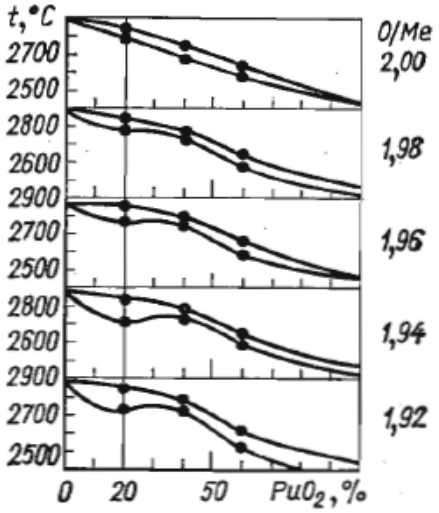


Рис. 1.2. Фазовые диаграммы температуры UO–PuO_2

На теплопроводность смесевого оксида также влияет отношение 0/Me. В интервале 100–1200 ^{0}C отношение 0/Me имеет намного большее влияние на теплопроводность, чем концентрация PuO_2.

Теплопроводность сверхстехиометрического и достехиометрического материалов ниже, чем стехиометрического. Эта разница уменьшается с увеличением температуры.

1.5. Химические своиства pUo$_2$ и pUo$_2$—uo$_2$

Диоксид плутония почти абсолютно химически инертна к окружающей среде обычного состава. С подавляющим большинством металлов взаимодействие начинается лишь при 100 ^{O}C и выше.

Изучалась адсорбция паров воды на PuO_2—x, полученной путем окисления металла на воздухе. Этот оксид с удельной поверхностью 17 м^2/г оказался чрезвычайно гигроскопичным при 27—75 ^{0}C и относительной влажностью 8–100 %. При 27 $^\circ$C адсорбция была полностью необратимой, а при 50 и 75 $^\circ$C после завершения хемисорбции наблюдалась только обратимая физическая адсорбция [5].

Гигроскопичность компактных образцов PuO_2 значительно зависит от

метода получения. Оксид, образованный в результате окисления металла при комнатной температуре, обладает очень высокой гигроскопичностью. После прокаливания этого оксида в кислороде при 800 ^{0}C его способность адсорбировать влагу резко уменьшается. Установлено, что такая способность сильно зависит от температуры прокаливания, полностью исчезая после прокаливания при 1200 ^{0}C. Это связано в основном с уменьшением удельной поверхности, но определенное влияние может оказывать и переход к более упорядоченной структуре [6].

В процессе десорбции сначала при комнатной температуре удаляется физически адсорбированная влага, составляющая примерно 67 % общего количества. Для удаления оставшейся 33% влаги необходимо нагревание до 1000 ^{0}C.

После адсорбции влаги следует адсорбция CO_2. В интервале 30—100 ^{0}C при давлении газа 0,1—600 мм.рт.ст. после очень быстрой адсорбции следует очень медленная стадия. Это позволяет предположить наличие хемисорбции и физической адсорбции CO_2. При увеличении температуры от 30 до 90 ^{0}C теплота адсорбции возрастала от 27 до 50,6 кДж/моль.

При хранении PuO_2 обнаружено ее загрязнение адсорбированными окислами азота — NO и NO_2. Эти газы, обычно не содержащиеся в атмосфере, образуются в результате радиолиза адсорбированного воздуха под действием излучения плутония.

Химическое взаимодействие оксидного топлива с нержавеющей сталью. Взаимодействие носит, как правило, межкристаллитный характер, иногда наблюдается, кроме этого, наличие светлого слоя. Уменьшение толщины оболочки в процессе общего (фронтального) окисления стали с образованием слоя не превышает 12% (50— 60 мкм), в то время как межкристаллитное взаимодействие распространяется на значительно большую глубину — до 25—50% (на 100—200 мкм) [7].

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

В ходе выполнения работы проведено моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций с использованием соли урана ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) и плутония ($Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$) в виде исходного сырья для U-Pu ядерного топлива.

Расчет пропорций солей плутония ($Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$) и урана ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) обеспечивающих требуемые соотношения U/(Pu+U), приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Таблица пропорций солей U и Pu

U/(U+Pu) в готовом топливе	Необходимое соотношение солей	
	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$
0,1	0,08	0,92
0,2	0,17	0,83
0,3	0,26	0,74

Значения растворимостей солей урана и плутония в воде представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Растворимость солей урана и тория в воде

Растворимость в воде, г/100мл	Соль	Соль/Вода
190,7	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0,65
190,9	$Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$	0,67

В работе проведены исследования различных водно-органических нитратных растворов композиций урана и плутония с органическим компонентом в виде ацетона и этанола. Выбранные вещества широко используются в промышленности, производятся в крупных объемах, имеют доступную цену и обладают хорошей теплотворной способностью.

С помощью моделирования на компьютере произведем отбор оптимальных по составу ВОНР и определим режим плазмохимического синтеза уран-плутониевых оксидных композиций в струе воздушной плазмы.

2.1 Моделирование процесса плазмохимического синтеза уран-плутониевых оксидных композиций

Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и плутония предполагает:

расчёт показателей горения водно-органических нитратных растворов на основе смесевых композиций урана и плутония. Определение химических составов горючих ВОНР с низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}} \geq 8{,}4$ МДж/кг;

термодинамический расчёт процесса плазмохимического синтеза уран-плутониевых оксидных композиций в струе воздушной плазмы из горючих ВОНР;

определение оптимального режима работы плазмотрона.

2.2 Расчёт показателей горения ВОНР на основе урана и плутония

Жидкая композиция является горючей, если низшая теплота сгорания превышает 8,4 МДж/кг. Теплота сгорания ВОНР рассчитывается аналогично теплоте сгорания влажного топлива $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ (МДж/кг):

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = \frac{(100-W-A)\cdot Q_{\text{н}}^{\text{с}}}{100} - \frac{2{,}5\cdot W}{100}, \qquad (2.1)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$ – низшая теплота сгорания горючих компонентов композиции, МДж/кг;

W – содержание воды, A – негорючих минеральных веществ в композиции, %;

коэффициент 2,5 учитывает скрытую теплоту испарения воды при 0 ºС, МДж/кг.

Более показательной характеристикой горючести жидких горючих смесей является адиабатическая температура горения:

$$T_{\text{а.д.}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} + c_{\text{отх}}\cdot t_{\text{отх}} + \alpha\cdot \vartheta_{\text{ок}}^{0}\cdot c_{\text{ок}}\cdot t_{\text{ок}}}{\vartheta\cdot \text{с} + \frac{W\cdot c_W}{100} + \frac{A\cdot c_A}{100}} \qquad (2.2)$$

где $c_{\text{отх}}$ – средняя массовая теплоемкость жидкой композиции, кДж/(кг·град);

$t_{отх}$ – температура жидкой композиции, ^{0}C;

α – коэффициент расхода окислителя;

$\vartheta_{ок}^0$ – теоретический расход окислителя, м^3/м^3;

$c_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя, (кДж/м^3/град);

$t_{ок}$ – температура окислителя, ^{0}C;

υ и c – выход и средняя объемная теплоемкость продуктов сгорания горючих компонентов композиции соответственно, м^3/кг и МДж/(м^3·град).

В наших расчетах будем использовать несколько видоизмененную формулу:

$$T_{а.д.} = \frac{Q_н^р + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \vartheta_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{\vartheta \cdot c}, \quad (2.3)$$

Опыты по сжиганию жидких горючих композиций некоторых органических веществ показали, что полное и достаточное их сгорание в камерах с незначительными потерями тепла в окружающую среду наблюдается при $T_{ад} \geq 1200$ °C, причем такая температура необходима и достаточна для самостоятельного горения таких композиций [23].

В таблице 2.3 приведены значения низшей теплотворной способности $Q_н^с$ выбранных нами горючих компонентов.

Таблица 2.3 – Физические параметры веществ

Параметр	Вещество	
	Этанол	Ацетон
Qнс, МДж/кг	26,800	31,54
Тс.в., К	619	738
Твспышки., К	285	254

Анализ расчетных данных показывает, что приготовление горючих ВОНР при использовании различных горючих компонентов приводит к изменению оптимального соотношения между горючими и негорючими компонентами. Оптимальные соотношения между компонентами ВОНР, полученные по результатам проведенных расчетов, представлены в таблицах 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4 – Оптимальные соотношения между компонентами на основе ацетона

Соль, % масс.			H_2O, % масс.	Спирт, % масс.
$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$	Mg(NO3)2*6H2O		
11,720	1,300	4,980	10,560	10
11,427	1,267	4,856	10,296	9,75
11,134	1,235	4,731	10,032	9,5
10,841	1,202	4,607	9,768	9,25
10,548	1,170	4,482	9,504	9
10,255	1,137	4,358	9,240	8,75
9,962	1,105	4,233	8,976	8,5
9,669	1,072	4,109	8,712	8,25
9,376	1,040	3,984	8,448	8
9,083	1,007	3,860	8,184	7,75
8,790	0,975	3,735	7,920	7,5

Таблица 2.5 – Оптимальные соотношения между компонентами на основе этанола

Соль, % масс.			H2O, % масс.	Спирт, % масс.
UO2(NO3)2·6H2O	Pu(NO3)4·6H2O	Mg(NO3)2*6H2O		
10,004	1,110	5,447	9,715	12,4
9,753	1,082	5,311	9,472	12,09
9,503	1,054	5,174	9,229	11,78
9,253	1,026	5,038	8,987	11,47
9,003	0,999	4,902	8,744	11,16
8,753	0,971	4,766	8,501	10,85
8,503	0,943	4,630	8,258	10,54
8,253	0,915	4,494	8,015	10,23
8,003	0,888	4,357	7,772	9,92
7,753	0,860	4,221	7,529	9,61
7,503	0,832	4,085	7,286	9,3

2.3 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной переработки ВОНР.

Равновесные составы определялись в программе TERRA для моделирования фазовых и химических равновесий в плазмохимических системах. При моделировании процесса синтеза задавались следующие

параметры: атмосферное давления (0,1 МПа), диапазон температур (300–4000 К) и массовая доля воздуха (50–80 %). Для каждой ВОНР подбиралась такая доля воздуха, которая обеспечивает наибольшее окисление органического компонента (ацетон, этанол) и выполнение условия $T_{ад} \geq 1200$ °С. В таблицах 2.6 и 2.7 представлены расчеты равновесных составов ВОНР на основе ацетона и этанола.

Таблица 2.6 Расчет равновесных составов

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР,%				
			$\cdot 6H_2O$	$_4\cdot 6H_2O$	$\cdot 6H_2O$
$PuO_2/(UO_2+PuO_2)=0,1$	ВОНР-1				
–9,9%PuO_2–1% MgO»	26,4		4,342	39,145	1,512
	ВОНР-2				
–9,75%PuO_2–2,5% MgO»	6,4	25	4,12	37,221	3,650
	ВОНР-3				
«85,5%UO2–9,5%PuO2–5% MgO»	26,4	25	3,803	34,292	6,903
	ВОНР-4				
«83,25%UO2–9,25%PuO2–7,5% MgO»	26,4	25	3,512	1,667	9,82
	ВОНР-5				
«81%UO2–9%PuO2–10% MgO»	26,4	25	3,249	29,299	12,451

Таблица 2.7 Расчет равновесных составов

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР,%				
			$\cdot 6H_2O$	$\cdot 6H_2O$	$\cdot 6H_2O$
$PuO_2/(UO_2+PuO_2)=0,1$	ВОНР-6				
–9,9%PuO_2–1% MgO»	24,3	31	3,994	36,013	1,391
	ВОНР-7				
–9,75%PuO_2–2,5% MgO»	24,3	31	3,798	34,243	3,358
	ВОНР-8				
«85,5%UO2–9,5%PuO2–5% MgO»	24,3	31	3,499	31,549	6,350
	ВОНР-9				
«83,25%UO2–9,25%PuO2–7,5% MgO»	24,3	31	3,231	29,133	9,034
	ВОНР-10				
«81%UO2–9%PuO2–10% MgO»	24,3	31	2,989	26,955	11,455

На рисунках 2.1 и 2.2 представлены характерные равновесные составы основных продуктов плазменной переработки ВОНР при массовой доле

воздуха 64 % для ацетона и 69 % для этанола.

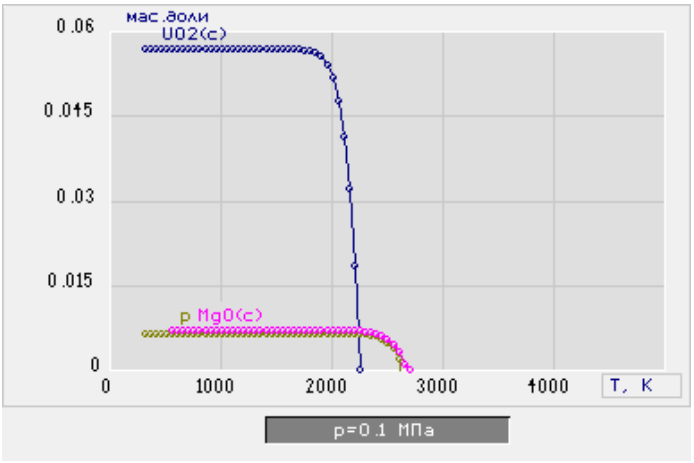


Рисунок 2.1 – Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-1 в воздушной плазме с ацетоном в качестве органического компонента: (64 % воздух : 36 % ВОНР)

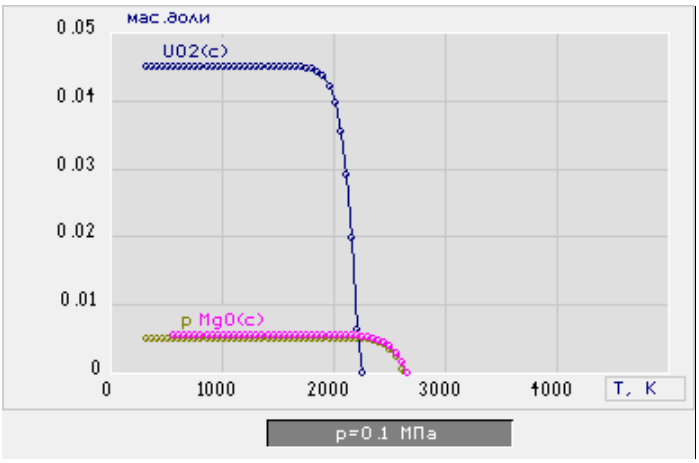


Рисунок 2.2 – Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-6 в воздушной плазме с этанолом в качестве органического компонента: (69 % воздух: 31 % ВОНР)

Из анализа представленных графиков следует, что при плазменной обработке ВОНР-1 и ВОНР-6 с массовой долей воздуха 64 % для ацетона и 69 % для этанола, основными продуктами в конденсированной фазе при температурах до 2000 K образуются требуемые целевые продукты в виде диокида урана и диоксида плутония. Отсутствие сажи C(c) и закиси-окиси урана подтверждает, что параметры процесса являются оптимальными.

На рисунках 2.3 и 2.4 представлены характерные равновесные составы продуктов плазменной переработки композиций ВОНР-1 и ВОНР-6 в воздушной плазме.

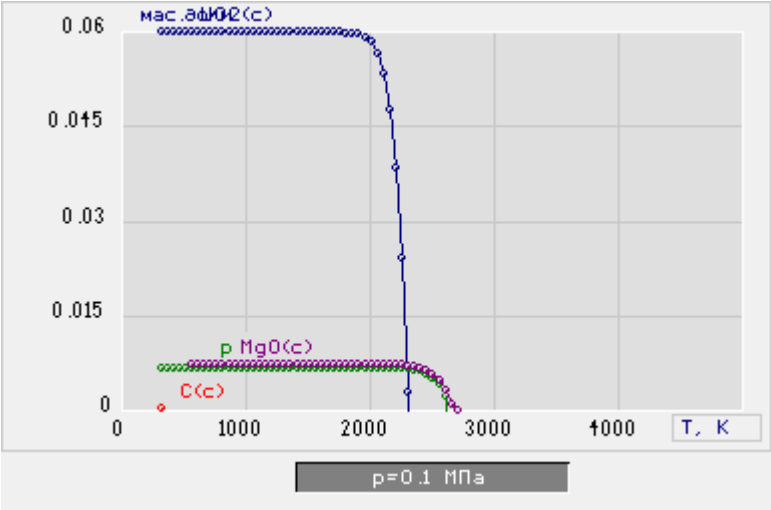


Рисунок 2.3 – Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-1 в воздушной плазме с ацетоном в качестве органического компонента: (62 % Воздух: 38 % ВОНР)

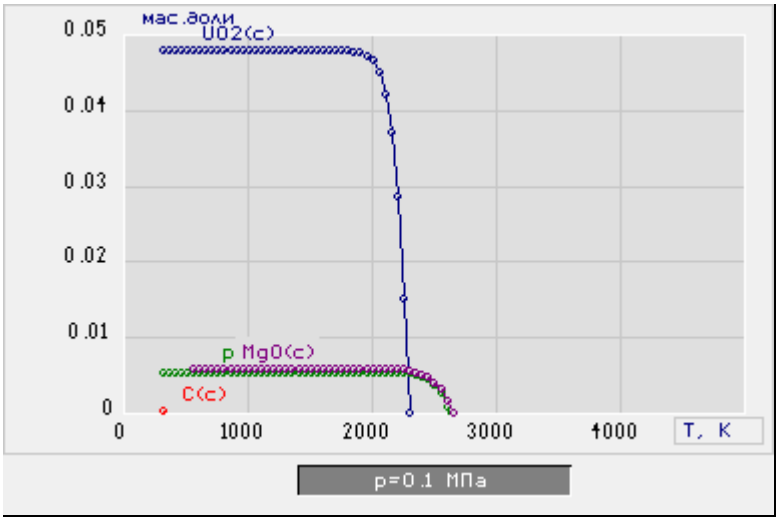


Рисунок 2.4 – Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-6 в воздушной плазме с этанолом в качестве органического компонента: (67 % Воздух : 33 % ВОНР)

Из анализа представленных графиков следует, что при плазменной обработке ВОНР-1 и ВОНР-6 с массовой долей воздуха 62 % для ацетона и 67 % для этанола при температурах до 2000 K в конденсированной фазе

образуется диоксид урана, диоксид тория и сажа. Образование сконденсированного углерода (сажи) является индикатором того, что параметры процесса являются не оптимальными.

На рисунках 2.5 и 2.6 представлены характерные равновесные составы основных продуктов плазменной переработки композиций ВОНР-1 и ВОНР-6.

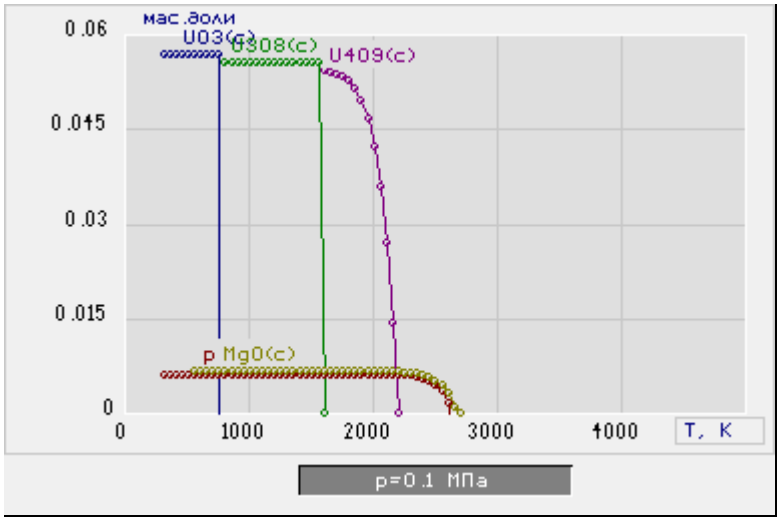
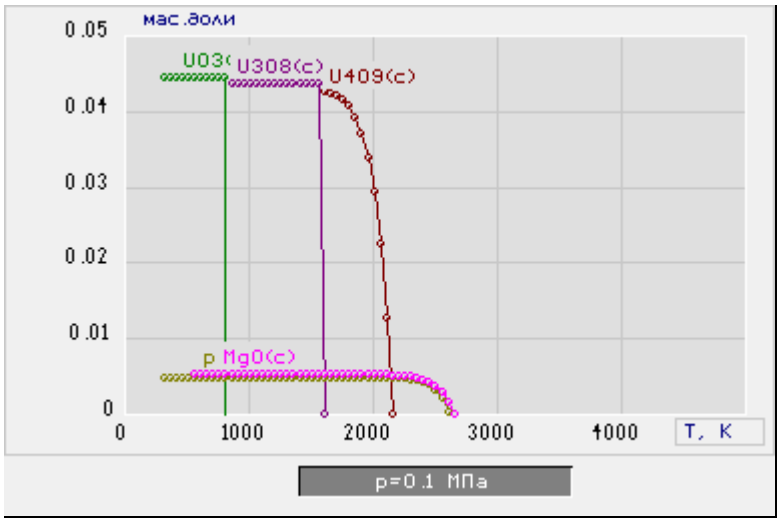


Рисунок 2.5 − Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-1 в воздушной плазме с ацетоном в качестве органического компонента:: (66 % Воздух : 34 % ВОНР)



а) б)

Рисунок 2.6 − Равновесный состав продуктов плазменной переработки ВОНР-6 в воздушной плазме с этанолом в качестве органического компонента: (71 % Воздух : 29 % ВОНР).

Из анализа представленных графиков следует, что при плазменной обработке ВОНР-1 и ВОНР-6 с массовой долей воздуха 66 % для ацетона и 71 % для этанола при температурах до 2000 K в конденсированной фазе образуются продукты в виде диоксида плутония и закись-окиси урана. Образование закись-окиси урана является индикатором того, что параметры процесса являются не оптимальными.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Описание плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

Экспериментальные исследования с целью наработки опытных партий оксидных порошков из модельных ВОНР осуществлялись с использованием плазмохимической установки (рисунок 3.1). Установка разработана для осуществления процессов плазменной обработки диспергированных водно-солевых растворов различного состава в плазме высокочастотного факельного разряда, где плазменным теплоносителем выступает воздух.

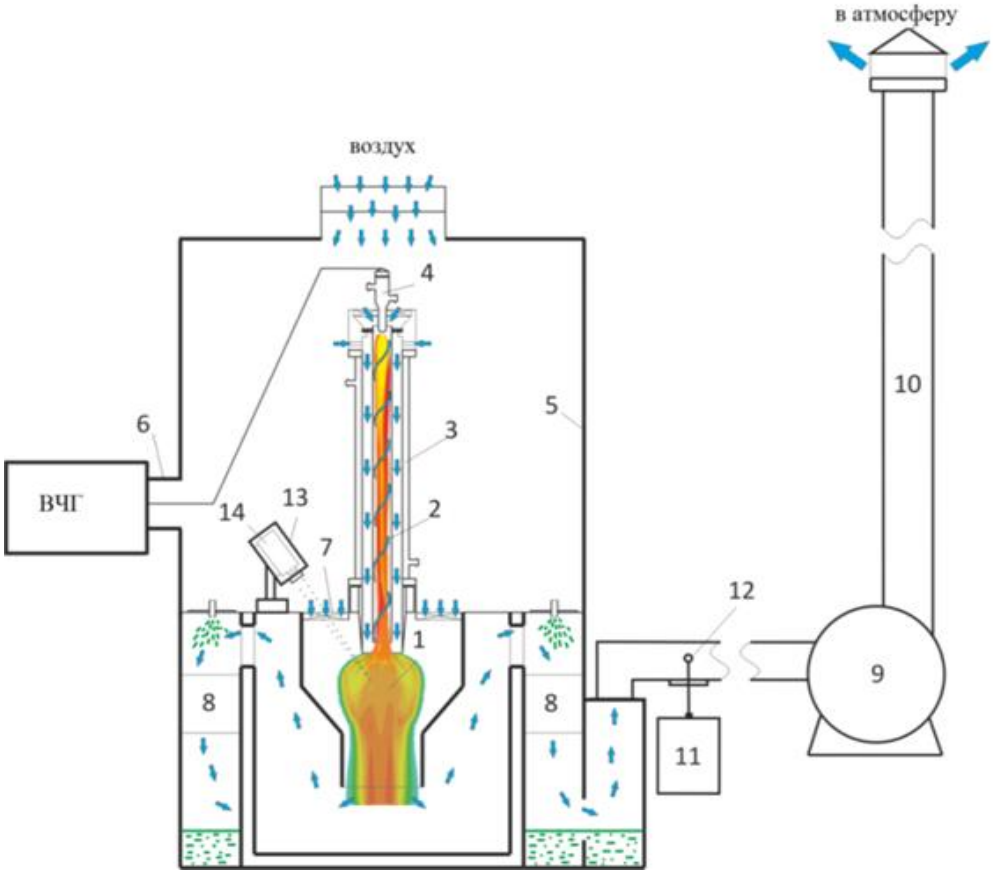


Рисунок 3.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

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

Высокочастотный ток подается от высокочастотного генератора через

коаксиальный вывод 6 к электроду 4, выполненному из меди и охлаждаемому водой. Электрод конструкционно располагается в ВЧФ-плазмотроне 3, который непосредственно генерирует плазменную струю (среднемассовая температура ≈ 4000 K). Плазменная струя горит внутри разрядной камеры плазмотрона, которая изготовлена из кварцевого стекла (d = 50 мм, l = 860 мм).

Мощный вентилятор 9 производит откачку воздуха через газоход из следующих узлов плазмохимической установки: ВЧФ-плазмотрон 3 и плазмохимический реактор.

Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь $S_{пг}$ = 25 см^2. Конструкционно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Над импеллером находится шибер 7, позволяющий контролировать расход прокачиваемого воздуха. Входная площадь реакторного шибера $S_{шиб}$ регулируется в интервале 0–1650 см^2.

Для контроля концентрации вредных газообразных веществ (например, CO, NO, NO_2) в отходящих газах используется газоанализатор 11, снабженный пробоотборником 12. Дополнительно при помощи газоанализатора и трубки Пито возможно определять такие параметры воздушного потока, как напор, скорость и расход. Для контроля температуры воздушно-плазменного потока в плазмохимической реакторе используется бесконтактный пирометр 14.

3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон и газоход

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

Трубка Пито измеряет напор f входящего потока по следующему выражению:

$$f = \frac{(\rho V^2)}{2} = P_П - P_{СТ} \qquad (3.1)$$

где $P_П$ – полное давление, Па;

$P_{СТ}$ – статическое давление, Па;

ρ – плотность воздуха при температуре Т, кг/м^3;

$f = \frac{(\rho V^2)}{2}$ – напор входящего потока.

Сделав необходимые математические преобразования, можно выразить скорость входящего потока V:

$$V = [\frac{2 \cdot (P_П - P_{СТ})}{\rho}]^{0,5} \qquad (3.2)$$

Величина объёмного расхода воздуха через воздуховод определяется выражением:

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

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

Полученные данные были обработаны и построены графики зависимостей расхода плазменного теплоносителя через плазмотрон ($Q_{ПТ}$), и газоход ($Q_{ГХД}$) от входной площади реакторного шибера. Влияние входной площади реакторного шибера на объемные расходы воздуха через плазмотрон и газоход представлено на рисунках 3.2 и 3.3.

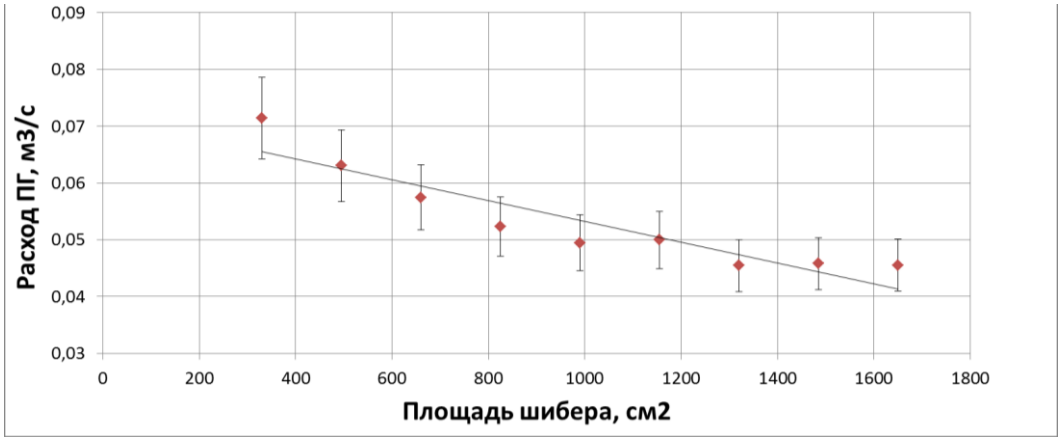


Рисунок 3.2 – Влияние входной площади реакторного шибера на объемный расход плазменного теплоносителя через плазмотрон

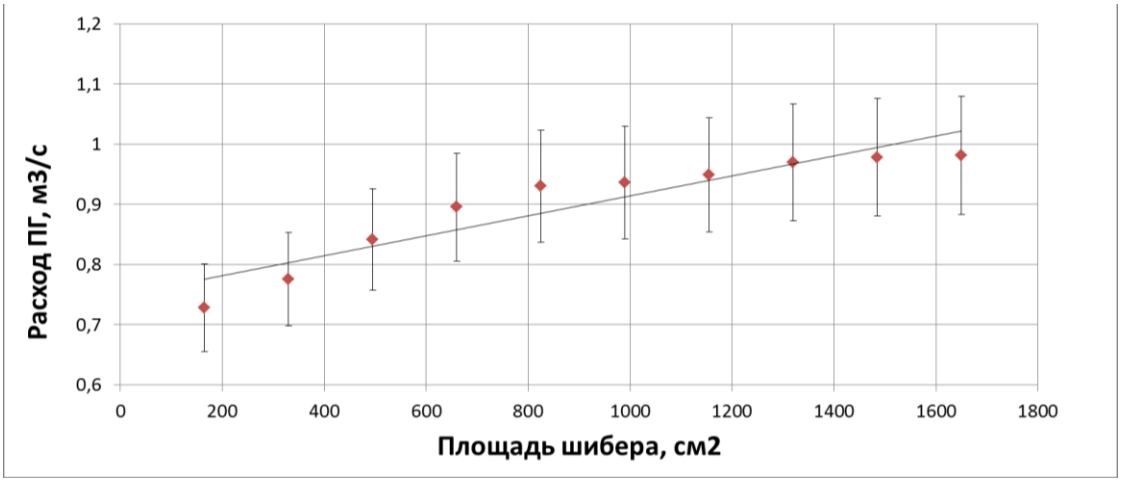


Рисунок 3.3 – Влияние входной площади реакторного шибера на объемный расход плазмообразующего газа через газоход

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

3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор

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

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

где Q_P – расход плазменного теплоносителя через реактор, м^3/с;

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

$Q_{ПТР}$ – расход плазменного теплоносителя через плазмотрон, м^3/с.

На основе расчетов построен график зависимости расхода плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор в зависимости от входной площади реакторного шибера. Полученная зависимость представлена на рисунке 3.4.

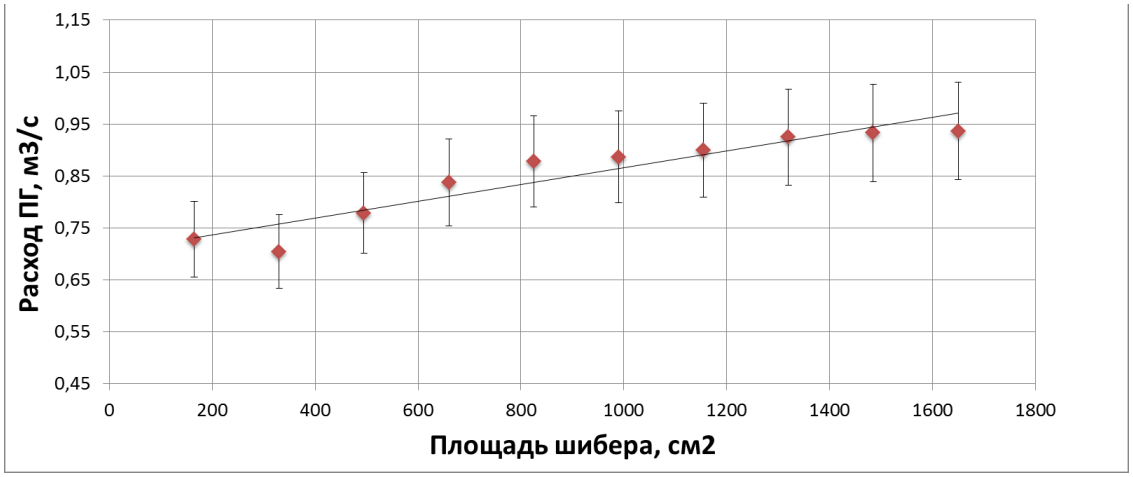


Рисунок 3.4 – Влияние входной реакторного шибера на объемный расход плазменного теплоносителя через реактор

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

3.4 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР

Для исследования возможности проведения процесса синтеза порошков высокой степени дисперсности в воздушной высокочастотной плазме в форме гомогенных по составу уран-ториевых оксидных композиций было проведено экспериментальное изучение процесса на модельных азотнокислых растворах с использованием имитаторов. Для подготовки модельных растворов использовались нитрат неодима Nd(NO3)3·2H2O (имитатор нитрата уранила) и нитрата плутония Sm(NO3)2·6H2O. Объем подготовленной модельной ВОНР составил 5 л.

Розжиг плазмохимического реактора осуществлялся воздушной плазменной струей ($T_{стр} \approx 565$ K), на чистом горючем компоненте – ацетоне при анодном токе I = 3,5 А и площади реакторного шибера $S_{шиб}$ = 1320 см^2. После того, как в плазмохимическом реакторе устанавливалась температура на уровне 1200 °С, подача ацетона прекращалась и одновременно начиналась подача подготовленной модельной ВОНР.

Композиция поступала на вращающуюся от двигателя форсунку,

которая конструкционно имела коническую форму. Форсунка диспергировала ВОНР в область горения плазменной струи, где капли подвергались обработке в условиях воздушной высокочастотной плазмы. На первом этапе происходил их нагрев до температуры испарения растворителя (воды), затем наступала стадия испарения растворителя с повышением концентрации соли (градиент – в сторону центра капли). Кристаллизованная соль, оставшаяся без растворителя, продолжала нагреваться в плазменной струе до температуры термолиза – процесса, при котором структура соли разрушается с высвобождением кислотного остатка в виде газа и образованием оксида.

Образовавшиеся в плазмохимическом реакторе дисперсные оксидные продукты плазменной переработки модельной ВОНР поступали в узел «мокрой» очистки (УМО) плазмохимического стенда. На данной стадии осуществлялась закалка продуктов реакции водой (объем 155 л). Осажденные водой порошки формировали водную суспензию.

После завершения эксперимента образовавшаяся суспензия перекачивалась насосом в осадительную емкость объемом 250 л. По прошествии некоторого времени порошок оседал на дно емкости. Осадок собирался, высушивался и отправлялся на анализ основных физико-химических свойств.

Гранулометрический анализ с измерением распределения размера частиц порошка определялся на приборе DeslaMax PRO. Результаты анализа представлены на рисунке 3.5. Диапазон изменения прибора 0,4-10000 нм.

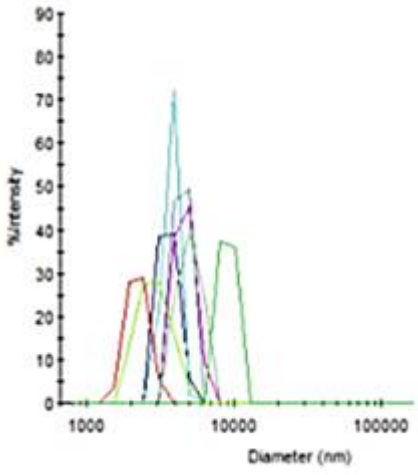


Рисунок 3.5. Результаты гранулометрического анализа

Из полученных графиков видно, что средний размер агломератов частиц 500 нм.

Для определения элементного состава использовался ретгенофлуоресцентный анализ. Использовался спектрометр QUANT’X EDXRF ANALYZER. Спектрограмма анализа приведена на рисунке 3.6.

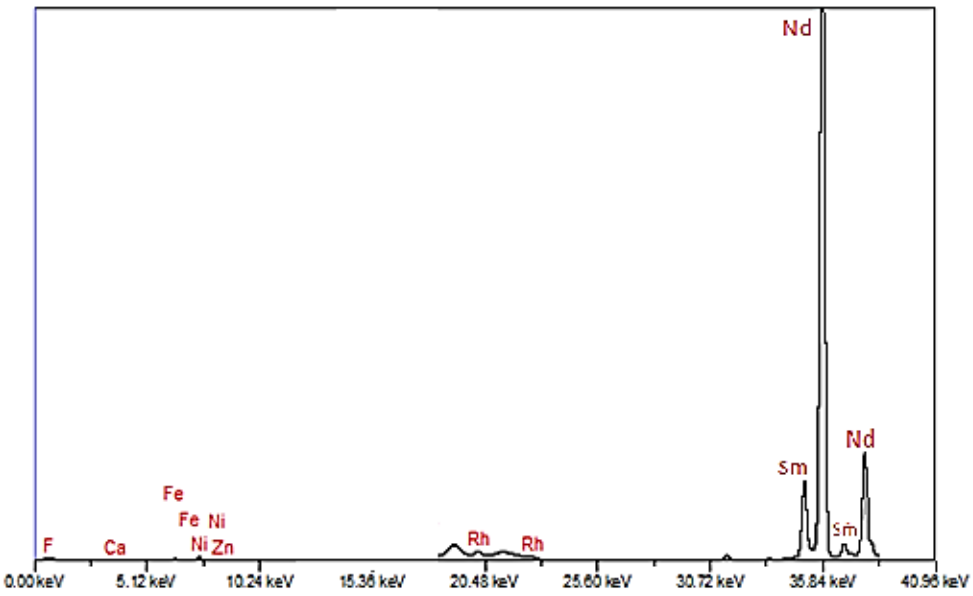


Рисунок 3.6. Результаты ренгенофлуорисцентного анализа

Идентифицированы элементы неодим и самарий. Массовое отношение металлов в полученных оксидных композициях соответствует их содержанию в растворах ВОНР.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

4.1 Организация и планирование работ

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

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 4.1 – Перечень работ

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка модели	НР, И	НР – 100% И – 70%
Определение адекватности модели	НР, И	НР – 100% И – 80%
Изучение результатов	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

– технико-экономическим;

– опытно-статистическим.

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

– аналоговый;

– экспертный.

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

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ tОЖ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (2)$$

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

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

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

– инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;

– научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{РД} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (3)$$

где $K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4)$$

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

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД}$ = 52);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД}$ = 15).

В таблице 2 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 1, при использовании формулы 2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob}. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_{Д}$ = 1,1.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_{Д}$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{К}$=1,225. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 3.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,54	–	1,89	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,64	0,26	3,23	0,32
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	5	4,40	1,45	4,84	1,78	5,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,54	0,15	1,89	0,19
Подготовка экспериментальной установки	НР, И	1	2	1,40	0,46	1,54	0,57	1,89
Проведение экспериментов	НР, И	5	6	5,40	5,94	4,16	7,28	5,09
Проведение расчетов	НР, И	7	8	7,40	8,14	6,51	9,97	7,98
Обработка результатов	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	–	1,54	–	1,89
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,92	1,54	1,13	1,89
Итого:				33,40	22,64	28,03	27,73	34,33

Таблица 4.3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
1	1,89	0,00												
2	3,23	0,32												
3	1,78	5,93												
4	1,89	0,19												
5	0,57	1,89												
6	7,28	5,09												
7	9,97	7,98												
8	0,00	4,58												
9	0,00	4,58												
10	0,00	1,89												
11	1,13	1,89												

НР – ; И –

4.3 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

– $ТР_{общ}$ – общая трудоемкость проекта;

– $ТР_i$ ($ТР_k$) − трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

– $ТР_i^{Н}$ − накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;

– $ТР_{ij}$ ($ТР_{kj}$) − трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ − индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5)

$$СГ_i = \frac{ТР_i^{Н}}{ТР_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^{i} ТР_k}{ТР_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^{i}\sum_{j=1}^{m} ТР_{km}}{\sum_{k=1}^{I}\sum_{j=1}^{m} ТР_{km}} \quad (5)$$

Применительно к таблице 2 величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, j = 1) и (7, j = 2). $ТР_{общ.}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Расчет $ТР_i$ (%) и $СГ_i$ (%) на основе этих данных приведен в таблице 4.

Таблице 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$ТР_i$, %	$СГ_i$, %
Постановка задачи	4,19	4,19
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,19	11,38
Подбор и изучение материалов по тематике	13,17	24,55
Разработка календарного плана	4,19	28,74
Подготовка экспериментальной установки	4,19	32,93
Проведение экспериментов	16,17	49,10
Проведение расчетов	22,16	71,26
Обработка результатов	10,18	81,44
Оформление расчетно-пояснительной записки	10,18	91,62

Этап	$ТР_i$, %	$СГ_i$, %
Оформление графического материала	4,19	95,81
Подведение итогов	4,19	100,00

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

– материалы и покупные изделия;

– заработная плата;

– социальный налог;

– расходы на электроэнергию (без освещения);

– амортизационные отчисления;

– командировочные расходы;

– оплата услуг связи;

– арендная плата за пользование имуществом;

– прочие услуги (сторонних организаций);

– прочие (накладные расходы) расходы.

4.5 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 5.

Таблица 4.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Нитрат самария $Sm(NO_3)_3$	8400	1 кг.	8400
Нитрат неодима $Nd(NO_3)_3$	18000	1 кг.	18000
Ацетон	82	10 л.	820
Нитрат магния $Mg(NO_3)_3$	500	1 кг.	500
Итого:			27720

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $С_{мат} = 27720 \cdot 1,05 = 29106$ руб.

4.6 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{ДН-Т} = \frac{МО}{25,083} \quad (6)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $К_{ПР}$ = 1,1; $К_{ДОП.ЗП}$ = 1,188; $К_Р$ = 1,3. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$К_И = К_{ПР} \cdot К_{ДОП.ЗП} \cdot К_Р; \quad (7)$$

$$К_И = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 4.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$К_И$	Фон з/п, руб.
НР	33664	1342,10	23	1,699	52445,41
И	15470	616,75	29	1,699	30388,01
Итого:					82833,41

4.7 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя

отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3; \quad (8)$$

$$C_{СОЦ} = 82833,41 \cdot 0,3 = 24850,02.$$

4.8 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{ЭЛ.ОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{Э}}$ = 5,748 руб./квт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (9)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{ОБ}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{С}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{НОМ.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_{\text{С}} \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_{\text{С}}$ = 1.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.

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

4.9 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{АМ} = \frac{H_А \cdot t_{ОБ} \cdot C_{ОБ} \cdot n}{F_Д}, \quad (11)$$

где $H_А$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_Д$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{ОБ}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_Д$ равен:

$$F_Д = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

$H_А$ определяется как величина обратная СА, в данном случае это:

$$H_А = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{0,4 \cdot 224 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 2255.$$

4.10 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = \left(C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}\right) \cdot 0,1. \quad (12)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (29106 + 82833,41 + 24850,02 + 732,33 + 2255) \cdot 0,1 = 13977,676$$

4.11 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 4.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	29106
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	82833,41
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	24850,02
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	415,01
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2255
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	13977,676
Итого:		139459,44

Таким образом, затраты на разработку составили C = 139459,44 руб.

4.12 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль *G* рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0{,}2; \quad (13)$$

$$G = 139459{,}44 \cdot 0{,}2 = 27891{,}888.$$

4.13 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$НДС = (G + C) \cdot 0{,}2; \quad (14)$$

$$НДС = (139459{,}44 + 27891{,}888) \cdot 0{,}2 = 33470{,}2656.$$

4.14 Цена разработки

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$Ц_{НИР} = C + G + НДС; \quad (15)$$

$$Ц_{НИР} = 139459{,}44 + 27891{,}888 + 33470{,}2656 = 200821{,}5936.$$

4.15 Оценка экономической эффективности проекта

Так как плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксидов самария и неодима в плазме ВЧФ–разряда носит исключительно исследовательский характер, в данном случае оценка экономической эффективности невозможна.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [1].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [1].

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы.

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин.

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства [2].

Рабочие, служащие, инженерно-технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно-исследовательская работа проводилась в отделе ядерно-топливного цикла ИШЯТ. Исследования и расчёты проводились с применением ЭВМ, также использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами	Химические вредные вещества	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества
Работа на плазменной установке.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность, СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность
Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты, освещенность, наличие излучения;

химические: вредные вещества (оксид самария, оксид неодима,

дикосид церия, ацетон, оксид углерода);

психофизиологические: физическая перегрузка (статическая динамическая), нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда эмоциональные перегрузки).

Анализ проводился на основе данных таблицы 5.1.

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [8].

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальной удостоверение.

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ

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 показано на рисунке 5.1.

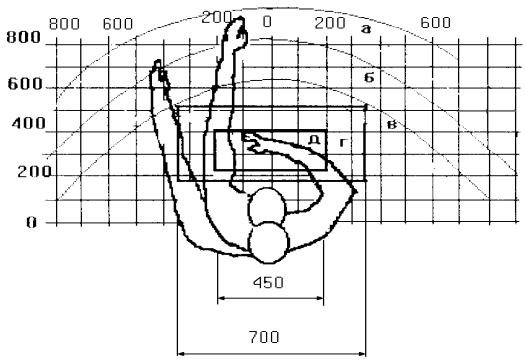


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно [9].

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола

420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

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.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

по высоте +3 см;

по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;

в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели [10].

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение,

освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 1.2.

Таблица 5.2 – 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
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 $м^3$ на человека – не менее 30 $м^3$ в час на человека; при объёме помещения более 40 $м^3$ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция [11].

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное

воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам . Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [12].

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. 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 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 быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находится на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

– применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Химическая безопасность

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

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

1 – вещества чрезвычайной опасности;

2 – вещества высоко опасные;

3 – вещества умеренно опасные;

4 – вещества мало опасные.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м^3	Класс опасности

1	Оксид самария	4,0	3
2	Оксид неодима	4,0	3
3	Диоксид церия	5,0	3
4	Ацетон	0,35	2
5	Оксид углерода	5	3

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

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

5.4 Электробезопасность

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

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности

одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях: при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов, при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции), при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением, при коротком замыкании [13].

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

– термическое действие тока выражается в появлении на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов, нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока;

– электролитическое действие проявляется расщеплением крови и иной органической жидкости в тканях организма;

– результатами биологического действия становятся нарушение нормальной работы мышечной системы, возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц, нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

– электрическими травмами называется местное повреждение тканей организма в результате действия электрического тока или электрической дуги, такие как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;

– электрические знаки, которые проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или

бледно желтого цвета, как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

– металлизация кожи возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги, кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;

– электроофтальмия наступает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги (для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами);

– механические повреждения – проявляются под действием тока, непроизвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

– отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

– вывешивание плакатов, указывающих место работы;

– заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

– покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

– недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);

– применение средств защиты.

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от

поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся: оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения, устройства дистанционного управления, предохранительные устройства и др [14].

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

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

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

– работа с открытой электроаппаратурой;

– короткие замыкания в блоке питания;

– несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов.

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

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

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [15].

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

– исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

– правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

– правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

– обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

– издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

– соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

– правильное размещение оборудования;

– своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

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

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

– сообщить руководству (дежурному);

– позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;

– принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ВЫВОДЫ

1. По результатам проведенных расчетов показателей горючести водно-органических нитратных растворов урана, плутония и магния, включающих органический компонент в виде ацетона, определены оптимальные по составу растворы ВОНР, обеспечивающие их энергоэффективную плазменную обработку;

2. На основе результатов термодинамических расчетов процесса плазменной обработки растворов ВОНР определены условия, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидной композиций «UO2-PuO2-MgO» различного состава;

3. На имеющемся плазменном стенде на базе ВЧФ-плазмотрона осуществлен плазмохимический синтез оксидных порошков в воздушной плазме из растворов ВОНР;

4. Проведены гранулометрический и рентгенофлуоресцентный анализ порошков, которые показали, что основными элементами пробы являются элементы неодима и самария, а средний размер частиц – 5000 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С учетом полученных результатов планируется продолжить теоретические и экспериментальные исследования процессов плазмохимического синтеза из растворов ВОНР сложных оксидных композиций типа «PuO2 –UO2 – MgO».

2. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания технологии прямого плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций для перспективных типов ядерного топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Максаковский В.П. Географическая картина мира. В 2 кн. Кн. I : Общая характеристика мира / В.П.Максаковский. – 4-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2008. — 55 с.
2. Алексеев С.В., Зайцев В.А. Торий в ядерной энергетике. — М.: Техносфера, 2014. — 288 с.
3. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 408 с.
4. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. — М.: Физматлит, 2003. — 760 с.
5. Волков, А.И., Жарский, И.М. Большой химический справочник / А.Й. Волков, И.М. Жарский. - Мн.: Современная школа, 2005. - 608 с.
6. Бойко В.И. Топливные материалы в ядерной энергетике: учебное пособие / В.И. Бойко, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиванникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с.
7. Андреев Г.Г. Введение в химическую технологию ядерного топлива: учебное пособие / Г.Г. Андреев, А.Н. Дьяченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 165 с.
8. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. — М.: Высшая школа, 1970. — 192 с.
9. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
10. ГОСТ12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
11. Конвенция Международной Организации Труда №170 о безопасности при использовании химических веществ на производстве.
12. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

13. СНиП 2.04.05. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

14. ПОТ РМ-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.

15. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности РФ.