

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
Синтез в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива плутоний-ториевого цикла

УДК 621.039.543.:66.011:533.9.091:546.79-39

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Иванов Кирилл		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Каренгин А.Г.	—		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Новосёлов И.Ю.	—		

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.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
P3	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок.
P4	Готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы 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.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность 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.

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
 « ____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Иванову Кириллу

Тема работы:

Плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксида иттрия в плазме ВЧФ-разряда	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	21.02.2019 №1383/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 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 порошков. 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	В.Ю. Конотопский
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	К.Иванов		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Иванов Кирилл

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	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. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. 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	Иванов К.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Иванов К.

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ПЭВМ, вредные вещества; – опасных проявлений факторов производственной среды :электрического тока, пожарная и взрывная безопасность;
<i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность; – химическая безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– 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).
<i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</i>	– 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 ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Иванов К.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 75 страниц, 8 рис., 16 табл., 18 источников, 36 формул, 3 приложения.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, дисперсионное ядерное топливо, реактор.

Объектом исследования является синтез оксидных композиций в воздушной плазме.

Цель работы – изучение процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций для ядерного топлива плутоний-ториевого цикла.

В процессе исследования проводились расчет и оптимизация показателей горения ВОНР на основе нитратов солей и ацетона и режимов их плазменной переработки в воздушной плазме.

В результате исследования определены оптимальные составы ВОНР на основе нитратов солей и ацетона и рекомендованы для практической реализации ресурсоэффективные режимы их плазменной переработки, которые подтверждены экспериментальным путем на модельных композициях.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной плазменной технологии для утилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов и других отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленной переработки ВОНР на основе нитратов солей и ацетона для создания оксидных композиций, входящих в состав ЯТ используемого в плутоний-ториевом цикле.

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов). Важнейшей особенностью плазмы является ее квазинейтральность, это означает, что объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых она образована, оказываются практически одинаковыми.

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков неравновесной плазмы.

Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Адиабатическая температура горения – это температура полного сгорания смесей любого состава при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду.

Низшая теплота сгорания – количество выделившейся теплоты при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) или объёмной (для газообразных) единицы вещества.

Обозначения и сокращения

АЗ – активная зона;

АЭС – атомная электростанция;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ВОНР – водно-органический нитратный раствор

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд;

ЗЯТЦ – закрытый ядерный топливный цикл;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

ОЯТЦ – открытый ядерный топливный цикл;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

BWR – Boiling Water Reactor (корпусный водо-водяной ядерный реактор, в котором пар генерируется непосредственно в активной зоне и направляется в турбину)

MOX – Mixed-Oxide fuel (ядерное топливо, содержащее несколько видов оксидов делящихся материалов)

PWR – Pressurized water reactor (реактор с водой под давлением).

Содержание

Реферат	8
Определения	9
Обозначения и сокращения	10
Введение	13
1 Обзор литературы	16
1.1 Дисперсионное ядерное топливо	16
1.2 Опыт использования плутония и тория	17
1.3 PWR западного типа	20
1.4 ВВЭР-1000	23
1.5 Продолжительность кампании и выгорание МОХ-тепловыделяющих сборок	24
1.6 Распределение энерговыделения в течение кампании	25
1.7 Коэффициенты реактивности и критическая концентрация бора	26
1.8 Эффективность управляющих стержней и доля запаздывающих нейтронов	26
1.9 Применение плутония в кипящих реакторах	27
1.10 Потребление плутония	29
1.11 Выводы	30
2 Экспериментально-расчетная часть	32
2.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФплазмотрона	32
2.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ – плазмотрон	33
2.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор	34
2.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ- плазмотрона	35
2.5 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР	38
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	42
3.1 Организация и планирование работ	43
3.2 Продолжительность этапов работ	44
3.3 Расчет накопления готовности проекта	46
3.4 Расчет сметы на выполнение проекта	47

3.4.1 Расчет затрат на материалы	48
3.4.2 Расчет заработной платы	49
3.4.3 Расчет затрат на социальный налог	50
3.4.3 Расчет затрат на электроэнергию	50
3.4.5 Расчет амортизационных расходов	52
3.4.6 Расчет прочих расходов	52
3.4.7 Расчет прибыли	53
3.4.8 Расчет НДС	54
3.4.9 Цена разработки	54
3.5 Оценка экономической эффективности проекта	54
4 Социальная ответственность	55
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	56
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ	58
4.2.1 Организационные мероприятия	58
4.2.2 Технические мероприятия	58
4.2.3 Условия безопасности работы	61
4.3 Химическая безопасность	63
4.5 Электробезопасность	65
4.6 Пожарная и взрывная безопасность	68
Выводы	70
Заключение	71
Список использованных источников	72
Приложение А	74
Приложение Б	75

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, торий-232 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 тория 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.

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. Тем не менее, если будет производится обработка исключительно смесевых водных нитратных растворов, на это потребуется большой объем 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. Одновременно с этим станет возможным использование реактора для синтеза

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).

В настоящей выпускной квалификационной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований синтеза оксидных композиций.

Целью данной работы является исследование возможности и эффективности совместной плазменной утилизации радиоактивных иловых отложений в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

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 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.

1 Обзор литературы

1.1 Дисперсионное ядерное топливо

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 [1].

При использовании изотопов уран-238, торий-232 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 тория 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 металлов (уран, торий, плутоний) в виде гранулированных оксидных композиций (микросфер) размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности [2–5].

1.2 Опыт использования плутония и тория

При сокращении ядерного вооружения большой объём оружейного плутония может быть направлен в сторону производства. По приблизительным расчетам эта цифра может составлять около 220 тонн [6]. Для того, чтобы не допустить распространения материалов, подверженных делению, этот объём оружейного плутония преобразуется в энергетический. При использовании смешанного оксидного топлива, также известного, как МОХ топливо, от 100 тонн плутония может быть достигнуто энерговыделение порядка 1 ПВт (в случае выгорания на уровне 45 МВт·сут/кг).

Имеющиеся на данный момент технологии конструирования, производства и эксплуатации топлива, позволят в кратчайшие сроки использовать плутоний, экстрагированный из боеголовок в реакторах на лёгкой воде, повсеместно использующиеся по России [7].

Рассмотрим аналогичные действия в Германии. Их опыт заключается в использовании 382 МОХ-ТВС в восьми водо-водяных реакторах и 294 МОХ-ТВС в шести кипящих реакторах и реакторах с тяжелой водой под давлением. Спектр испытанных в водо-водяных реакторах оказался достаточно широк и включал в себя кроме MAGNOX-плутония с содержанием плутония-239 менее 76 %, плутоний, полученный в результате переработки ОЯТ реакторов на легкой воде со следующим процентным содержанием:

$\text{Pu}^{238} - 2 \%$

$\text{Pu}^{239} - 58 \%$

$\text{Pu}^{240} - 25 \%$

$\text{Pu}^{241} - 9 \%$

$\text{Pu}^{242} - 6 \%$

В 1977 было решено провести первые испытания МОХ-топлива. Первой подверглась испытаниям композиция МОХ-топлива с максимально малым количеством изотопа, подвергающегося делению. Плутониевый состав

этой композиции от состава всей композиции в целом был равен 44 % Pu^{239} + 14 % Pu^{241} .

В результате проведенных экспериментов были получены данные касательно времени проведения кампании, энерговыделения, коэффициенты реактивности и том, как влияют управляющие стержни, спроектированные для активных зон реактора с меняющимся количеством тепловыделяющих сборок из МОХ-топлива в различных зонах. Иными словами, была получена информация по профилированию МОХ-топлива в активной зоне реактора [8]. Информация по тепловыделяющим элементам, состоящим из облученного МОХ-топлива с выгоранием, входящим в интервал от 6 до 47 МВт·сут/кг была получена путём тщательного осмотра бассейнов выдержки тепловыделяющих сборок и инспекции отдельных элементов [9]. Наиболее важные параметры равновесного цикла выгорания, содержащего в себе МОХ-топливо доказывают то, что реактор действующий по такой схеме – безопасен. Если же рассматривать реальные циклы применимые к реакторам на лёгкой воде, то можно прийти к выводу, что все существующие для расчётов программы - адекватны.

Общеизвестно, что плутоний, обогащённый для использования в ядерном оружии, содержит 95 % и более Pu^{239} , деление которого происходит с использованием тепловых нейтронов, энергия которых приближается к той энергии, что наблюдается при тепловом движении молекул газа при нормальной температуре. Этого эффекта добиваются путём уменьшения периодов облучения в промышленных реакторах, имеющих специально разработанную конструкцию. Максимальная выгода от применения плутония в энергетической сфере достигается при как можно большем значении выгорания. Из этого следует то, что после процесса переработки плутониевая композиция насчитывает большее количество изотопов, не подвергающихся делению тепловыми нейтронами. Состав некоторых типичных топливных композиций таблице 1.1.

Количество изотопов может разниться на один или два процента из-за того, что периоды и схемы облучения отличаются друг от друга. Также оно сопряжено с временем, прошедшим от цикла прошлого облучения и процесса переработки, что объясняется распадом Pu^{241} , период полураспада которого равен 14,9 лет. Так как энергетический плутоний содержит больше Pu^{240} в сравнении с плутонием, обогащенным до оружейного, то производство Pu^{241} , подвергающегося делению, снижается. Это объясняется меньшим поглощением в области резонанса Pu^{240} .

Таблица 1.1 – Примеры изотопных композиций плутония

Материал	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}
Оружейный Pu	0	94	5	1	0
Энергетический					
MAGNOX	0,3	76,1	18,4	4,4	0,8
PWR стандартный	1,8	59,0	23	12,2	4,0
PWR с низким выгоранием	1,5	60,1	24,5	8,8	5,0
PWR с высоким выгоранием	2,6	51,5	27,6	10,5	7,8
переработанное MOX-топливо (второе поколение)	1,4	43,5	34,3	14,3	6,5

Сопоставление выгорания для тепловыделяющих сборок, в состав которых входил как уран, так и плутоний для системы 16x16 в PWR реакторе «Сименс» с 0,05 % бора и коэффициента размножения дало информацию о том, что количество плутония, подвергающегося делению в двух типах MOX-топлива должно достигать значения, гарантирующего выгорание одинаковое с выгоранием, достигаемым в тепловыделяющих сборках, базирующихся на уране. Первоначально тепловыделяющая сборка на уране более реактивна, чем MOX-тепловыделяющая сборка со стандартным неоружейным плутонием (процентное соотношение в котором равно 2,6/54,0/24,2/11,8/7,4), что объясняется меньшим содержанием в первой изотопов, поглощающих

нейтроны. Однако из-за того, что коэффициент воспроизводства изотопов подверженных делению достаточно высок, то уменьшение реактивности в течение эксплуатации менее заметно в сравнении с тепловыделяющими сборками на уране. Этот эффект объясняется тем, что поглощение нейтронов уменьшается вместе с меньшим начальным количеством Pu^{240} . Таким образом в процессе эксплуатации нарабатывается меньшее количество Pu^{241} , что в свою очередь создаёт спад реактивности.

1.3 PWR западного типа

Проведённый анализ реакторов распространялся на реакторы:

- Унтервезер KКУ;
- Графенрайнфельд KКG;
- Филиппсбург KКР-2;
- Гронде KWG;
- Брокдорф KBR.

Обозначенные реакторы использовали при работе 228 МОХ-тепловыделяющих сборок, которые в большинстве своём состояли из неоружейного плутония из реакторов на лёгкой воде. Во время проведения лицензирования использование 50 % МОХ-тепловыделяющих сборок в активной зоне (АЗ) было полностью оправдано и утверждено, как безопасное. В этих реакторах были задействованы тепловыделяющие сборки обычной конструкции [10], где четыре водяных стержня располагались по центру сборки и тремя МОХ-стержнями. Выбор такого расположения был обусловлен тем, что оно гарантирует равномерное распределение энерговыделения.

В 1987 году был спроектирован и создан первый вариант сборки, имеющей в себе увеличенное количество плутония. Эта сборка предназначалась для использования реактором Обрихайд KWO (с решёткой размером 14x14 стержней), для увеличения содержания U^{235} в перегружаемом

топливе до 4 %. Тепловыделяющие сборки данной конструкции в количестве восьми штук были установлены для работы в реакторе в 1988 году. В качестве материала носителя был выбран уран с природным содержанием U^{235} . В получившейся системе наличествовали три зоны, разнящиеся по количеству плутония, подверженного делению. Среднее значение плутония было равно 3,8 %. После облучения в течение трёх циклов тепловыделяющие сборки давали значение выгорания порядка 35 МВт·сут/кг.

После этого для Графенрайнфельда KKG была осуществлена замена природного урана на уран из отвала. По активной лицензии, действовавшей на предприятии, было возможно понижение количества U^{235} за счёт увеличения Pu^{239} , однако концентрация обогащённого в материале носителя урана в тепловыделяющей сборке оставалось постоянным на уровне 0,25 %. Среднее значение Pu в сборке, сконструированной по этим параметрам и установилось на значении 3,48 %. Аналогично с предыдущим типом сборки, в её центре были установлены четыре водяных стержня и стержни с наибольшим количеством плутония. Как и в предыдущем случае это давало наиболее равномерное распределение энерговыделения. Отличие заключалось в том, что стандартный размер для таких сборок был 16x16. МОХ- тепловыделяющие сборки в количестве 16 штук на 12 цикле выгорания были установлены в Графенрайнфельде в 1993 г.

МОХ-тепловыделяющие сборки, отличающиеся от вышеназванных предназначались для того, чтобы на их примере рассмотреть топливную кампанию с тепловыделяющей сборкой, в основе которой лежит уран и уровнем обогащения по изотопу U^{235} достигающим 4 %. Также они могли найти применение для тепловыделяющих сборок другого типа, граничные условия которых отличаются от обычных, либо при работе с атомными электростанциями.

К окончанию 1997 года восемь штук МОХ-тепловыделяющих сборок , в которых в качестве материала-носителя использовался отвальный уран и плутоний в процентном соотношении 4,8 % от общего количества в сборке

благополучно завершили первый цикл выгорания на одной из станций в Швеции. В связи с таким результатом в этот реактор были установлены еще 20 штук таких сборок в 1998 году, а 16 аналогичных МОХ-ТВС были отправлены на установку в Германии.

Изучению подверглись нейтронно-физические параметры тепловыделяющих сборок, содержащих обогащенный плутоний, ранее использовавшийся в ядерном оружии, и схему сборки, насчитывающую три зоны. В данного топлива входит всего лишь 3 % тепловыделяющих сборок такого типа, а это говорит про утилизацию достаточно небольшого объема плутония: порядка 0,28 т на 10 ТВт электрической мощности.

Второй тип МОХ-тепловыделяющей сборки подразумевают использование в качестве питания оружейный плутоний взамен с тем плутонием, который высвободился в процессе переработки топлива PWR.

Конечный результат сборки включает в себя такое процентное соотношение изотопов плутония:

$\text{Pu}^{238} - 1 \%$

$\text{Pu}^{239} - 74 \%$

$\text{Pu}^{240} - 15 \%$

$\text{Pu}^{241} - 6 \%$

$\text{Pu}^{242} - 4 \%$

Таким образом, она становится близка к плутонию, полученному в MAGNOX-реакторе. Для урегулирования большого воздействия Pu^{238} , Pu^{240} , Pu^{242} , которые выступают в роли поглотителей было принято решение об увеличении количества изотопов плутония, подверженных процессу деления. Вновь была применена схема с тремя зонами и количеством в с 2,4 %; 3,4 % и 4,7 % в разных зонах соответственно.

Третий тип МОХ-тепловыделяющей сборки включает в себя урановые стержни с гадолиниевым внешним покрытием (2,5 % U^{235} и 2,5 % Gd_2O_3) в количестве 12 штук для уменьшения уровня начальной реактивности.

Сравнению между собой подверглись различные типы равновесных циклов с разными способами загрузки. Большой акцент делали на значении реактивности АЗ. Итоги анализа схем движения МОХ-тепловыделяющих сборок с процентом перегружаемого топлива достигающим значения от 30 % до 50 % можно сопоставить с результатами исследований о применении коммерческого плутония после того, как был завершен цикл с высоким выгоранием.

1.4 ВВЭР-1000

Под использование в ВВЭР–1000 были спроектированы МОХ-тепловыделяющие сборки двух типов: со средним значением изотопов плутония, подвергающегося делению в 3,7 % и 4,1 %. Такое количество делящегося плутония даст выгорание, соответствующее сборкам с ураном, обогащение которых по изотопу U^{235} составляет 3,6 % и 4,0 % соответственно. Для того, чтобы было достигнуто равномерное распределение энерговыделения, стержни, находящиеся на периферии сборки, нуждаются в уменьшении количества плутония, подвергающегося делению; также нужно создать 4 зоны, где будет реализовано разное процентное содержание плутония, подвергающегося делению. Последний пункт требуется для возможности загрузки, в которой не уделяется внимание отделению от стандартных ТВС на уране. Конструкции, в которой применяются 24 урановых стержня с гадолиниевым внешним покрытием характеризуется начальной реактивностью достигающей оптимального значения.

Сравнение главных характеристик для ВВЭР-1000 произведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Обзор исследования схем движения топлива для PWR1300

Схема	Содержание делящегося Pu, %			
	3,78*	4,08**	3,87**	4,42**
Свежие ТВС:				

Продолжение таблицы 1.2

урановые /начальное обогащение	—	—	4/4,0	4/4,0
U-Gd/начальное обогащение	28/3,95	28/3,95	24/3,95	20/3,96
MOX	20	20	16	20
TBC в АЗ:				
урановые	—	—	16	17
U-Gd	112	112	107	88
MOX	81	81	72	88
Эффективная продолжительность цикла выгорания, сут	328	310	304	315
Критическая концентрация бора, %	0,1940	0,1900	0,1530	0,1775
* Загрузочная схема PLL				
** Загрузочная схема FLL				

1.5 Продолжительность кампании и выгорание MOX-тепловыделяющих сборок

В случае если понадобится замена с изначально использующейся на реакторе неотравленной урановой сборки на MOX-тепловыделяющую сборку, то это процесс замены не окажет существенного влияния на длительность кампании. Уровень выгорания тепловыделяющих сборок на MOX топливе сопоставим с выгоранием урановых сборок. Вышесказанные факты дают понять, что количество плутония в MOX-тепловыделяющей сборке выбрано верно.

1.6 Распределение энерговыделения в течение кампании

При сопоставлении значений начальной реактивности и энерговыделения у МОХ-тепловыделяющей сборки с плутонием оружейным и плутонием из реакторов на лёгкой воде, можно сделать вывод о том, что большие значения начальной реактивности и энерговыделения присутствуют у сборки, в составе которой присутствует оружейный плутоний. Оптимальный уровень максимально возможной мощности тепловыделяющего элемента возможен при применении типа загрузки PLL, при которой происходит установка новых МОХ-тепловыделяющих сборок на периферии АЗ, около отражателя, в то время как загрузка типа FLL вызывает неостребованное увеличение энерговыделения.

Таблица 1.3 – Исследование схем движения топлива для ВВЭР-1000

Схема	Число схем с Pu, %		
	3,70	4,10	4,10
<i>Свежие ТВС</i>			
Урановое/начальное обогащение	24/3,6	24/4,0	18/4,0
МОХ	24	18	24
<i>ТВС в АЗ</i>			
Урановые	79	91	24
U-Gd	—	—	43
МОХ	84	72	96
Эффективная продолжительность равновесного цикла, сут	289	298	294
Максимальная мощность на ТВС, МВт	1,38	1,44	1,34
Критическая концентрация без ксенона, %	0,2105	0,2240	0,2157
Примечание. Изотопный состав делящегося Pu – 0/94/5/1/0, схема загрузки – PLL			

За счет высокой концентрации Pu^{238} , Pu^{240} и Pu^{242} проявляется оптимизация значения энерговыделения, что объясняется тем, что эти изотопы выступают в роли поглотителей нейтронов. За счёт этого осуществимо

применение FLL без использования изотопов-поглотителей в МОХ-тепловыделяющих сборках.

1.7 Коэффициенты реактивности и критическая концентрация бора

Применение МОХ-тепловыделяющих сборок, в составе которых присутствует оружейный плутоний, снижает важность регулирования процесса при помощи бора и одновременно с этим увеличивает его критическую концентрацию до 0,194 % у 40 % топлива в самом начале цикла. Это происходит за счет извлечения стержней СУЗ. МОХ-тепловыделяющие сборки, компонентом которых является плутоний, получаемый на реакторах на лёгкой воде, даёт сопоставимые с этим результаты в 0,19 % бора. За счёт того, что отравленные урановые стержни на ВВЭР-1000 не подвергались применению, следует увеличение концентрации бора до 0,22 %.

Если рассматривать температурный коэффициент реактивности замедлителя на момент начала кампании, то можно сказать, что его стандартные значения варьируется от $-3,4$ до $-4,0 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ для реактора PWR-1300 и в пределах от значения температурного коэффициента реактивности (ТКР) замедлителя В начале кампании для исследованных схем передвижения топлива от $-3,4$ до $-4,0 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ для PWR—1300 и равен $-30 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ для реактора ВВЭР-1000. После этого следует его увеличение и достижение максимума по завершению кампании в пределах от $-6,5$ до $-7,0 \cdot 10^{-5}/\text{K}$. Загрузка МОХ-тепловыделяющей сборки или её выгорание оказывает сильное влияние на Доплер-коэффициент.

1.8 Эффективность управляющих стержней и доля запаздывающих нейтронов

Все варианты, которые подверглись анализу показали, что они обладают нужной степенью эффективности стержней СУЗ. Оптимальное значение запаздывающих нейтронов, равное 0,5 % для смешанных загрузок в

реакторе типа PWR-1300 соотносится с особенностями, возникающими во время переходных процессов.

Анализ полностью загруженных MOX-тепловыделяющих сборок с равным количеством плутония, подвергающегося делению, по всей АЗ выявил более отчетливые эффекты, которые наблюдались во время исследования смешанных АЗ. Тем не менее, как было сказано выше, применение PLL загрузки, при которой свежие стержни располагаются у отражателя (на периферии), позволяет достичь такого максимально возможного энерговыделения, которое не будет выходить за рамки разумного. Так как борное регулирование будет оказывать меньший эффект, а его концентрация повысится до 0,25 % в реакторе типа PWR-1300 и 0,32 % для ВВЭР-1000. Таким образом возникает необходимость в модернизации системы регулирования бором, либо использование бора с большим обогащением по изотопу В¹⁰. Из-за этого произойдет понижение числа запаздывающих нейтронов, и их эффективная доля составит 0,35 %. Для того, чтобы произвести оценку показателей безопасности с такими условиями. Влияние этих факторов на работу АЭС должно быть исследовано дополнительно для оценки показателей безопасности.

Самые важные характеристики, такие как:

- Доплер-коэффициент;
- температурный коэффициент реактивности замедлителя;
- эффективность регулирующих стержней

фиксируются в том же промежутке, что и схемы со смешанной АЗ.

1.9 Применение плутония в кипящих реакторах

Первым случаем, в котором плутоний, прошедший процесс переработки, нашел применение в кипящем реакторе считается его использование на реакторе типа BWR «Сименс». В середине 1966 года была применена схема «островных» тепловыделяющих сборок вместе с MOX-

тепловыделяющими сборками. Принцип “островной” ТВС заключается в одновременном использовании как урановых, так и МОХ-стержней.

В 1995 году атомной электростанцией Гундремминген было получено разрешение на использование АЗ, на 30 % наполненной МОХ-тепловыделяющими сборками. После это собраны тепловыделяющие сборки объёмом 140 штук. Они были предназначены для поддержания уровня выгорания в интервале 35–40 МВт·сут/кг. На сегодняшний день в первом цикле выгорания находится 36 ТВС, во втором 32 ТВС и 48 перешли на третий цикл выгорания. По новой лицензии Гундремминген имеет право использовать МОХ-тепловыделяющую сборку типа ATRIUM с выгоранием 50 МВт·сут/кг.

Особенностями описываемой конструкции являются во-первых то, что плутоний применяется совместно с ураном природного обогащения или в матрице с ураном обедненным по изотопу U^{235} , во-вторых контроль значения реактивности в PWR при помощи использования стержней из U с гадолинием и в-третьих конструкция, которая повторяет строение тепловыделяющих сборок на уране.

То, что такие тепловыделяющие сборки уже применяются на реакторе «Сименс» является большим преимуществом, так как благодаря это мы избавляемся от нужды тестирования различных материалов, на которое может уйти не одно десятилетие.

Так как в процессе эксплуатации, поглотительная способность материалов, предназначенных для этого падает, то соответственно с этим снижается эффективность работы, выполняемой регулируемыми и гадолиНИЕвыми стержнями. За счёт это градиент потока тепловых нейтронов увеличивается, а вместе с ним растёт максимальное энерговыделение. С учетом этого была разработана МОХ-ТВС BWR. Исследования соответствующих схем перемещения топлива В немецких BWR показали осуществимость эксплуатации АЗ, полностью загруженных МОХ—ТВС, в годовых циклах при выгораниях ~ 50 МВт·сут/кг.

1.10 Потребление плутония

Одним из важнейших аспектов использования оружейного плутония В ядерных реакторах является его потребление, которое может быть рассчитано с помощью нульмерной программы расчета выгорания KORIGEN [7,11]. Сечения актинидов и спектральные характеристики (входные параметры) были рассчитаны по стандартному программному пакету «Сименс» SAV90 для PWR [12].

Анализ проведен для выгораний 40 И 50 МВт·сут/Кг. Результаты для PWR—1300, ВВЭР—1000 И ВWR (таблица 1.4) сравниваются с учетом выработанной электрической энергии. Различие значений воднотопливного отношения российского ВВЭР—1000 (1,8) И немецкого PWR—1300 (2,0) также принимались в расчет, изотопная композиция плутония представлена в таблице; материал–носитель МОХ—ТВС — обедненный уран (обогащение 0,25 96). При расчетных выгораниях отношение количества делящегося плутония К общему снижалось с 95 до 66 и 58 %, что очень близко к значениям для энергетического плутония.

Таблица 1.4 – Баланс масс плутония для легководных реакторов

Показатели	Реактор		
	PWR-1300	ВВЭР-1000	BWR-1300
Средняя энерговыработка АЭС на одну загрузку, ТВт	10	6,9 7,2	10
Свежие МОХ-ТВС с $Pu_{\text{дел}}/Pu_{\text{общ}}+U$, %	3,25 3,75	3,70 4,10	3,32
Масса плутония, кг	18,1 20,9	17,6 19,6	6,3
Расчетное выгорание, МВт·сут/кг	40 50	40 50	50
Выгрузка МОХ-ТВС с $Pu_{\text{дел}}/Pu_{\text{общ}}+U$, %	61 58	66 64	—
Масса плутония, кг	11,7 12,5	11,8 12,1	—

Продолжение таблицы 1.4

Масса оружейного плутония, загружаемая при перегрузке МОХ- ТВС, кг			
30%	305 276	254 246	—
50%	508 460	423 410	—
100%	1015 920	847 821	825
Примечание. $Pu_{\text{дел}}$ – делящийся плутоний: Pu^{239} , Pu^{241} ; $Pu_{\text{общ}}$ – все нуклиды плутония от Pu^{238} до Pu^{242} .			

Возрастание выгорания от 40 до 50 МВт·сут/кг вызывает уменьшение числа ТВС, которые нужно изготовить и загрузить. На заводе по производству МОХ-топлива производительностью 120 т/год около 5 т оружейного плутония ежегодно может быть переработано в МОХ—топливо с содержанием делящихся нуклидов 3,7—4,1 %. Годовое производство может обеспечить 12 АЭС PWR-1300 – 20 МОХ-ТВС на перегрузку (3,75 %). В случае ВВЭР-1000 за год может быть изготовлено ~260 МОХ-ТВС. При содержании МОХ-ТВС в АЗ 30 и 100 % могут быть обеспечены соответственно 20 и 6 АЭС.

За 10 лет работы завод может переработать 50 т оружейного плутония. При суммарном выгорании 45 МВт·сут/кг ИЗ этого плутония и материала—носителя может быть получено ~500 ТВт электроэнергии. Для производства такого количества энергии традиционными способами необходимо 125 млн т угля или 85 млн т нефти.

1.11 Выводы

С технической точки зрения использование оружейного плутония в действующих легководных реакторах осуществимо. При расчетных значениях выгорания отношение количеств делящихся и неделящихся изотопов плутония изменяется с 95 % до 66 % и 58 %.

Завод по производству МОХ–топлива мощностью 120 т/год может переработать ~ 5 Т оружейного плутония. Этого достаточно, чтобы обеспечить топливом 12 энергоблоков с реакторами PWR–1300 – 20 МОХ–ТВС на перегрузку. В случае ВВЭР-1000 и 30 % МОХ-топлива в АЗ ~ 20 энергоблоков могут быть обеспечены топливом.

Опыт повторного использования плутония в Германии позволяет создать МОХ-ТВС, характеристики которых гарантируют безопасность при нормальной эксплуатации реактора и в аварийных ситуациях. При использовании оружейного плутония в российских ВВЭР можно воспользоваться опытом европейских PWR. Опыт крупных немецких BWR может служить основой утилизации избыточного оружейного плутония в американских BWR.

2 Экспериментально-расчетная часть

2.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазмотрона

Экспериментальные исследования с целью наработки опытных партий оксидных порошков из модельных СНР осуществлялись с использованием плазмохимической установки. Установка разработана для осуществления процессов плазменной обработки диспергированных водно-солевых растворов различного состава в плазме высокочастотного факельного разряда, где плазменным теплоносителем выступает воздух. Схема установки приведена на рисунке А1 приложения А.

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 К). 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 [11].

Над плазмохимическим реактором располагается импеллер, который имеет пропускную площадь $S_{\text{ип}} = 25$ см². Конструкционно импеллер необходим для осуществления закрутки входного потока, который прокачивается через реактор. Над импеллером находится шибер, позволяющий контролировать расход прокачиваемого воздуха. Входная площадь реакторного шибера $S_{\text{шиб}}$ регулируется в интервале от 0 до 1650 см².

Для контроля концентрации вредных газообразных веществ (например, CO, NO, NO₂) 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.

2.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ – плазмотрон

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:

$$f = \frac{\rho V^2}{2} = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}} \quad (2.1)$$

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

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

ρ – плотность воздуха при температуре T , кг/м³;

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

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

$$V = [2 \cdot (P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}) / \rho]^{0,5}. \quad (2.2)$$

Величина объёмного расхода воздуха через воздуховод определяется выражением:

$$Q_{\text{пт}} = S \cdot V, \quad (2.3)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

Полученные данные были обработаны и построены графики зависимостей расхода плазменного теплоносителя через плазмотрон ($Q_{\text{пт}}$), и газоход ($Q_{\text{гхд}}$) от входной площади реакторного шибер. Влияние входной площади реакторного шибер на объёмные расходы воздуха через плазмотрон и газоход представлено на рисунках 2.1 и 2.2.

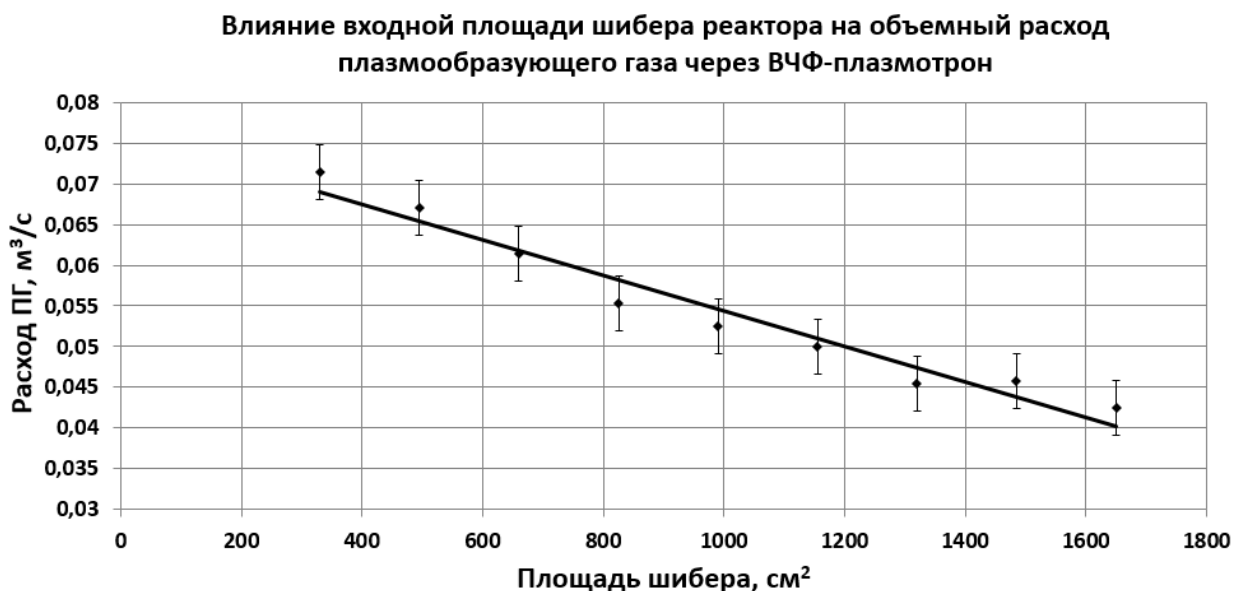


Рисунок 2.1 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

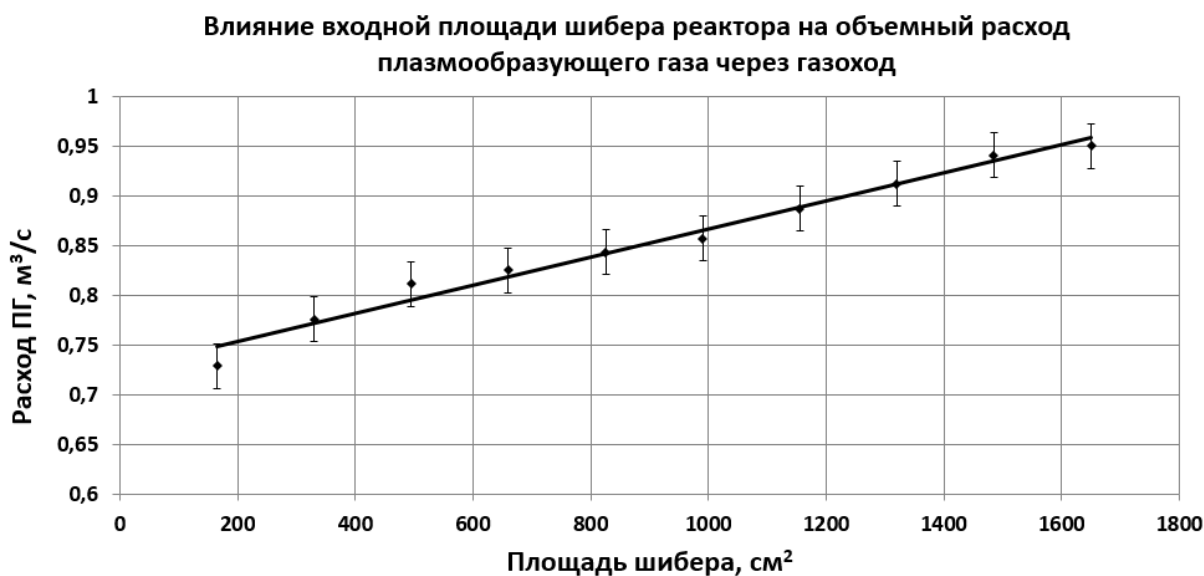


Рисунок 2.2 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через газоход

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

2.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор

Расход плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор

может быть вычислен косвенно. Для его расчета использовалась формула:

$$Q_p = Q_{гхд} - Q_{птр} \quad (2.4)$$

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

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

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

На основе расчетов построены графики зависимости расходов плазменного теплоносителя через плазмохимический реактор в зависимости от входной площади реакторного шибера. Полученные зависимости представлены на рисунке и 2.3.

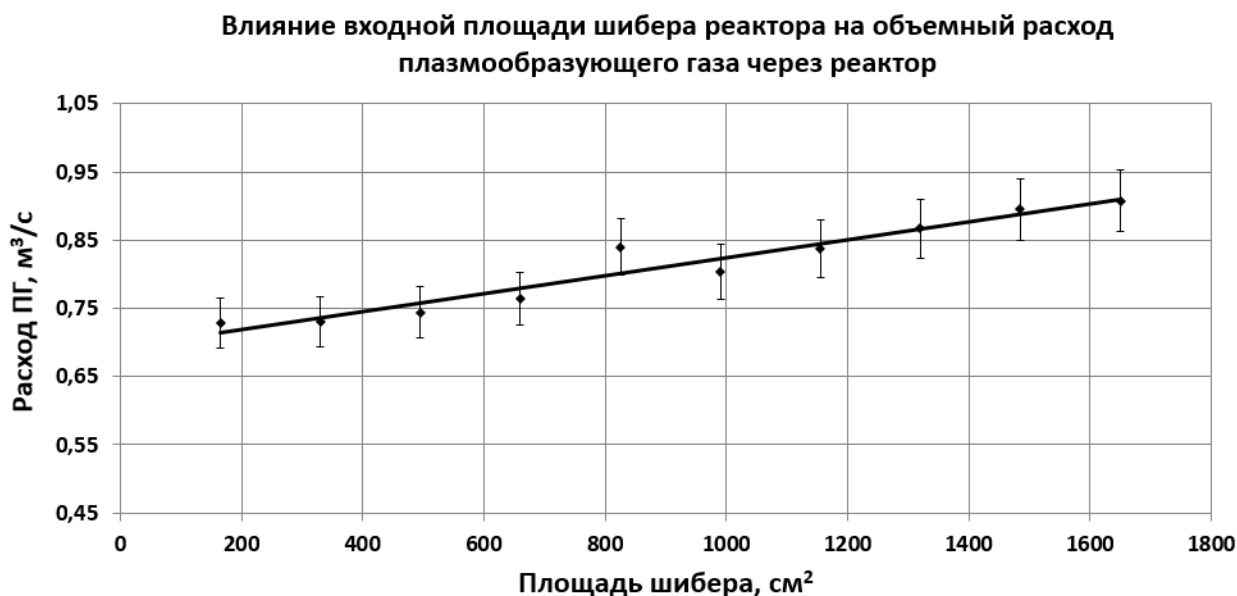


Рисунок 2.3 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход воздушного теплоносителя через реактор

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

2.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

Исследования заключались в измерении потерь тепловой мощности на водоохлаждаемых теплонапряженных элементах ВЧ генератора (анод

генераторной лампы, сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазмотрона (электрод, корпус) и определении теплофизических параметров плазменного стенда (КПД, энтальпия и температура воздушной плазменной струи и др.).

Расчетные соотношения представлены ниже.

Электрическая мощность, потребляемая ВЧ генератором от сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

где I_a – ток анода А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.6)$$

где m_a – массовый расход воды, кг/с;

Δt_a – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

где m_c – массовый расход воды, кг/с;

Δt_c – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

где $m_{эл}$ – массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{эл}$ – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{\text{кп}} = m_{\text{кп}} \cdot C_p \cdot \Delta t_{\text{кп}} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.9)$$

где $m_{\text{кп}}$ – массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{\text{кп}}$ – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{\text{разр}} = P_0 - (P_a + P_c + P_9), \text{ кВт} \quad (2.10)$$

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

$$P_{\text{стр}} = P_{\text{разр}} - P_{\text{кп}}, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{\text{разр}}}{Q_{\text{пг}}}, \text{ кДж/кг}, \quad (2.12)$$

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta_{\text{пд}} = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_{\text{разр}}} \right) \cdot 100, \% \quad (2.13)$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta_{\text{уст}} = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (2.14)$$

На рисунке 2.4 показано влияние входной площади импеллера реактора среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном (при анодных токах генератора $I_a=3,0 \text{ А}; 3,6 \text{ А}; 4,0 \text{ А}$).

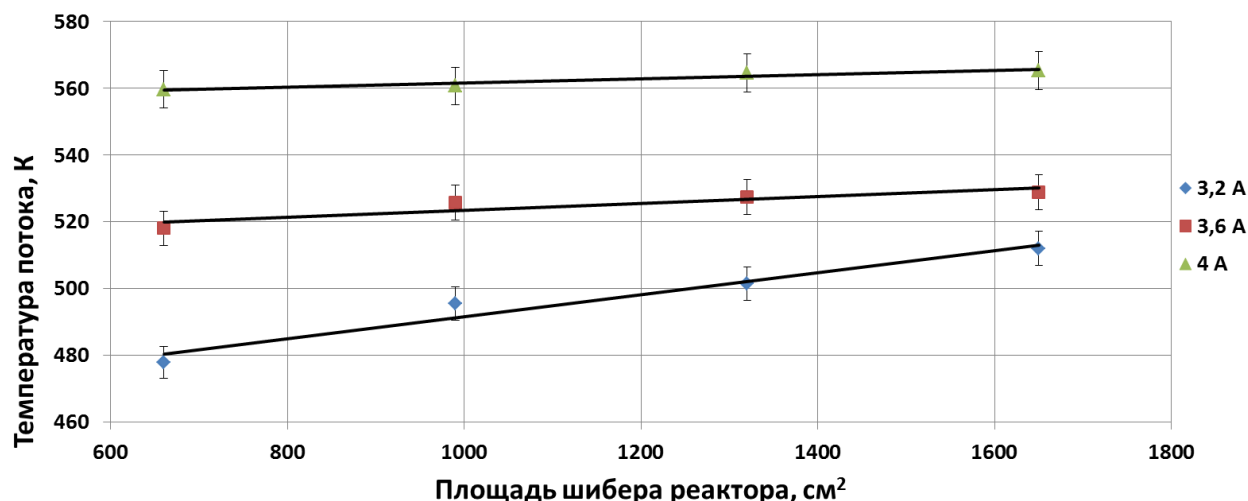


Рисунок 2.4 – Влияние входной площади импеллера реактора на среднемассовую температуру воздушного плазменного потока, генерируемого ВЧФ-плазмотроном: ($I_a=3,0$ А; 3,6 А; 4,0 А)

Режим работы плазмотрона выбирается с таким расчетом, чтобы температура пламенной струи была не меньше температуры воспламенения горючего компонента перерабатываемой ВСОК

2.5 Плазмохимическая переработка модельных ВОНР

Для исследования возможности проведения процесса синтеза порошков высокой степени дисперсности в воздушной высокочастотной плазме в форме гомогенных по составу плутоний-ториевых оксидных композиций было проведено экспериментальное изучение процесса на модельных азотнокислых растворах с использованием имитаторов. Для подготовки модельных растворов использовались нитрат самария $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (имитатор нитрата плутония) и $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (имитатор нитрата тория). Использование азотнокислого неодима объясняется тем, что он находится в одной группе периодической таблицы с ураном, а в растворах формирует сложные ионы, сходные по свойствам с делящимся элементом.

В качестве горючего (органического) компонента использовался ацетон. Это объясняется тремя факторами: высокой теплотворной

способностью, высокой взаимной растворимостью, а также доступностью.

В таблице 2.1 представлен состав модельной ВОНР.

Таблица 2.1 – Расчет состава растворов ВОНР на основе ацетона

Состав оксидной композиции				U O
	H ₂ O	C ₂ H ₆ O(ацетон)		
PuO ₂ /(ThO ₂ +PuO ₂)=0,1				
«89,1%ThO ₂ –9,9%PuO ₂ –1%BeO»	26,4	25		3,674
«87,75%ThO ₂ –9,75%PuO ₂ –2,5%BeO»	26,4	25		3,479
«85,5%ThO ₂ –9,5%PuO ₂ –5%BeO»	26,4	25		3,185
«83,25%ThO ₂ –9,25%PuO ₂ –7,5%BeO»	26,4	25		2,925
«81%ThO ₂ –9%PuO ₂ –10%BeO»	26,4	25		2,693

Общий объем модельной ВОНР составил 5л.

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 $S_{шиб} = 1320$ см².

Композиция поступала на вращающуюся от двигателя форсунку, которая конструкционно имела коническую форму. Форсунка диспергировала ВСОК 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 термолiza – 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 ВСОК 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.

Размер частиц порошков определялся на приборе DeslaMax PRO. Диапазон изменения прибора 0,4–10000 нм.

На рисунке 2.5 представлено распределение частиц по размерам в полученных порошках

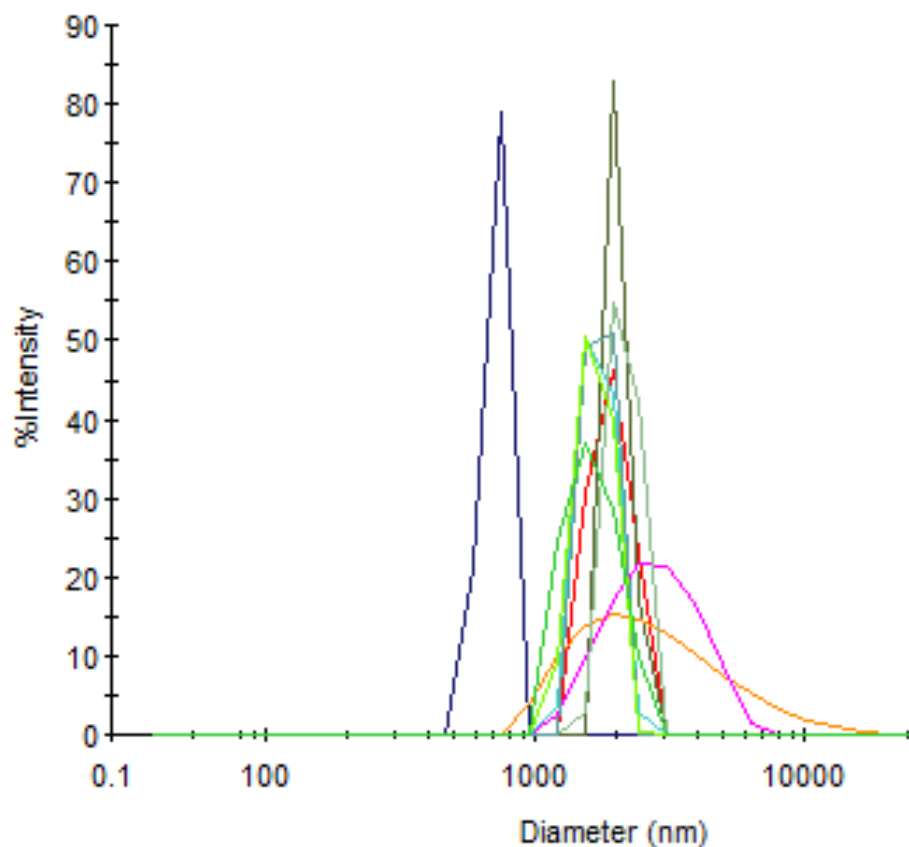


Рисунок 2.5 – Распределение частиц по размерам в полученных порошках

Из анализа данного рисунка и текстового выходного отчета прибора следует, что размер частиц в исследуемых порошках лежит строго в диапазоне 1–10 мкм. Размеры основной доли частиц в полученных порошках составляют (1,2–3) мкм.

Элементный анализ полученных порошков проводился на рентгенофлуоресцентном спектрометре марки QUANT'X EDXRF ANALYZER. Спектрограмма представлена на рисунке 2.6.

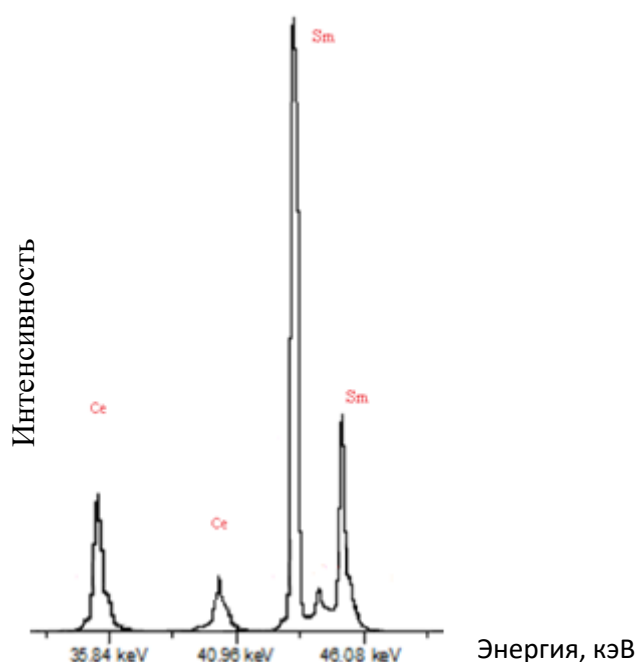


Рисунок 2.6 – Результат рентгенофлуоресцентного анализа

Идентифицированы элементы самарий (который в экспериментах использовался в качестве имитатора плутония) и тория. Массовое отношение металлов в полученных оксидных композициях соответствует их содержанию в растворах ВОНР.

Порошки, которые были получены в результате работы гомогенны. Таким образом, для того, чтобы оценить отношение $Sm/(Ce+Sm)$ в полученном порошке, можно соотнести между собой площади пиков соответствующих элементов. Из оценки отношения площадей пиков $Sm/(Ce+Sm) \approx 0,12$, можно сделать вывод о том, что массовое соотношение циркония и иттрия в полученных порошках и исходной модельной ВОНР (0,1) выдерживается.

3 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.

3.1 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 3.1 – 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%

Продолжение таблицы 3.1

Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
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%

3.2 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 $t_{\text{ОЖ}}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} \quad (3.1)$$

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{t_{\text{min}} + 4t_{\text{prob}} + t_{\text{max}}}{6} \quad (3.2)$$

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:

$$T_{\text{рД}} = \frac{t_{\text{ОЖ}}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (3.3)$$

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (3.4)$$

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

$T_{ВД}$ – 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 $K_d = 1,1$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_d$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_k = 1,225$. 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 Б2 осуществления проекта, представленного в таблице Б1 приложения Б.

3.3 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:

- $TP_{общ}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

– TP_{ij} (TP_{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)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (3.5)$$

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

Таблица 3.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_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
Оформление графического материала	4,19	95,81
Подведение итогов	4,19	100,00

3.4 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.

3.4.1 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). Приблизительно 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 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Ацетон	70	2,5 л.	175
Нитрат самария($\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$)	8400	2,5 кг.	21000
Итого:			22975

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 15225 \cdot 1,05 = 24123,75$ руб.

3.4.2 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 ($\text{ЗП}_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$\text{ЗП}_{\text{дн-т}} = \frac{\text{МО}}{25,083} \quad (3.6)$$

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: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной

суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}; \quad (3.7)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 3.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{И}}$	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

3.4.3 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:

$$C_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3; \quad (3.8)$$

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

3.4.3 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:

$$C_{\text{ЭЛ.ОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (3.9)$$

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.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (3.10)$$

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:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (3.11)$$

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

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – 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.
Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	60	344,88
Персональный компьютер	224	0,3	386,3

Продолжение таблицы 3.7

Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			732,33

3.4.5 Расчет амортизационных расходов

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

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_{\text{а}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{об}} \cdot n}{F_{\text{д}}}, \quad (3.12)$$

где $H_{\text{а}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;
 $C_{\text{об}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;
 $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;
 $t_{\text{об}}$ – 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, $F_{\text{д}}$ равен:

$$F_{\text{д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

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

$H_{\text{а}}$ определяется как величина обратная СА, в данном случае это:

$$H_{\text{а}} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

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

3.4.6 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:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (3.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (22975 + 82833,41 + 24850,02 + 732,33 + 2255) \cdot 0,1 = 13363,67.$$

Расчет общей себестоимости разработки

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

Таблица 3.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	22975
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	$C_{\text{ПРОЧ}}$	13363,67
Итого:		146692,11

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 146692,11$ руб.

3.4.7 Расчет прибыли

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

$$G = C \cdot 0,2; \quad (3.14)$$

$$G = 146692,11 \cdot 0,2 = 29338,422.$$

3.4.8 Расчет НДС

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

$$НДС = (G + C) \cdot 0,2; \quad (3.15)$$

$$НДС = (146692,11 + 29338,42) \cdot 0,2 = 35206,1.$$

3.4.9 Цена разработки

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$Ц_{НИР} = C + G + НДС; \quad (3.16)$$

$$Ц_{НИР} = 146692,11 + 29338,42 + 35206,1 = 211236,63.$$

3.5 Оценка экономической эффективности проекта

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

4 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 [13].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [13].

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 [13].

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

Поставленные задачи требуют 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 [14].

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 [14].

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

4.1 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 4.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 4.1 – 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, диоксид 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.

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

4.2.1 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.

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 специальная удостоверение.

4.2.2 Технические мероприятия

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 4.1.

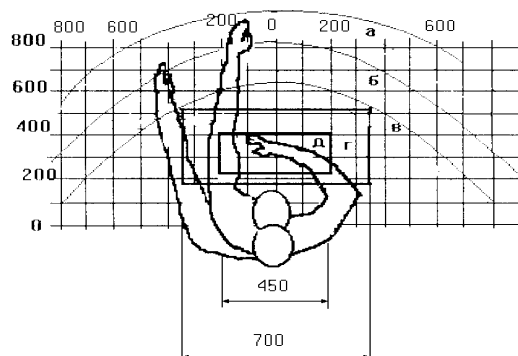


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- 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.

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.

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 [14].

4.2.3 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 устанавливаются в соответствии с [15] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – 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 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

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. Согласно [15] уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [16]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [16].

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [17], 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. Согласно [18] 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 находиться 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 [3] 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.

4.3 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 4.3 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 4.3 – 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».

4.5 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.

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 (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклучение 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 [7]: 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.

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.

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [8], 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.

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. Проанализированы способы получения оксидных композиций для ДЯТ, такие как: золь-процесс, спекание механических смесей соответствующих порошков, прокалка солей, плазмохимическая технология, которая выбрана в качестве оптимальной.

2. Определен состав ВОНР (26,4 % – воды, 25 % – ацетона, 2,693 % – $\text{PuO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 29,086 % – $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 13,22 % – $\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ включающих плутоний, торий и материалы матрицы « $\text{PuO}_2 - \text{ThO}_2 - \text{BeO}$ ».

3. Проведен термодинамический расчет процесса получения в плазме оксидных композиций, пригодных для применения в плутоний-ториевом цикле, и определены режимы, обеспечивающие плазмохимический синтез в воздушной плазме композиций требуемого состава: 61 % воздуха и 39 % ВОНР.

4. Выполнен анализ полученных порошков, который указывает, что размер агломератов частиц составляет 1200 нм.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза из растворов ВОНР оксидных композиций, применяемых в ядерном топливе плутоний-ториевого цикла.

Список использованных источников

- 1 Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., Дашковский А.М. Реакторное материаловедение. – М.: Атомиздат, 1979. – 344 с.
- 2 Самойлов А.Г., Каштанов А.И., Волков В.С. Дисперсионные тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1965. – 343с.
- 3 Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
- 4 Горский В.В. // Атомная техника за рубежом. – [Текст]: – 1999. – Т. 10. – С. 9–13.
- 5 Degueldre C. and Paratte J.M. // J. Nucl. Mater. – [Текст]: – 1999. – V. 274. – P. 1– 6.
- 6 Neff T.L. Disposition of HEU and Plutonium from Nuclear Weapons // Proc. 17 Intern. Symp. On Uranium and Nuclear Energy: The Uranium Institute. Sept. 1992. – London.
- 7 Sofer G.A., Nauman D.A., Bilmann J.K. Swords to plowshares: Recycling weapons-origin Uranium and Plutonium in Light Water Reactors // Proc. Intern. Conf. And Technology Exposition on Nuclear Fuel Systems. «Global-93». – Seattle. Sept 12–17. 1993.
- 8 Schlosser G.J., Krebs W.D., Urban P. // Nuclear Technology. 1993. Vol. 102. P. 54.
- 9 Goll W., Fuchs H.-P., Schlemmer F.U. // Ibid. P. 29.
- 10 Schlosser G.J., Bender D. Advances in MOX Fuel Design for BWRs and PWRs // Proc. Intern. KTG/EN3 Topical Meeting on Nuclear Fuel. «TOPFUEL-95» – Wurzburg (Germany). March 12–15. 1995.
- 11 Pekarek H., Krebs W.D. Reprocessing and Recycling – the Effect on the Plutonium Balance // ENC'94 : Intern. Nucl. Congress Atoms for Energy. – Lyon. Oct. 2–6. 1994.

12 Koebke K., Ambrosius G., Hetzelt L. et. al. // Kerntechnik. 1992. Bd. 57. N 1. P. 37.

13 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

14 Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7/

15 Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. – 216 с.

16 Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.

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 ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.

Приложение А

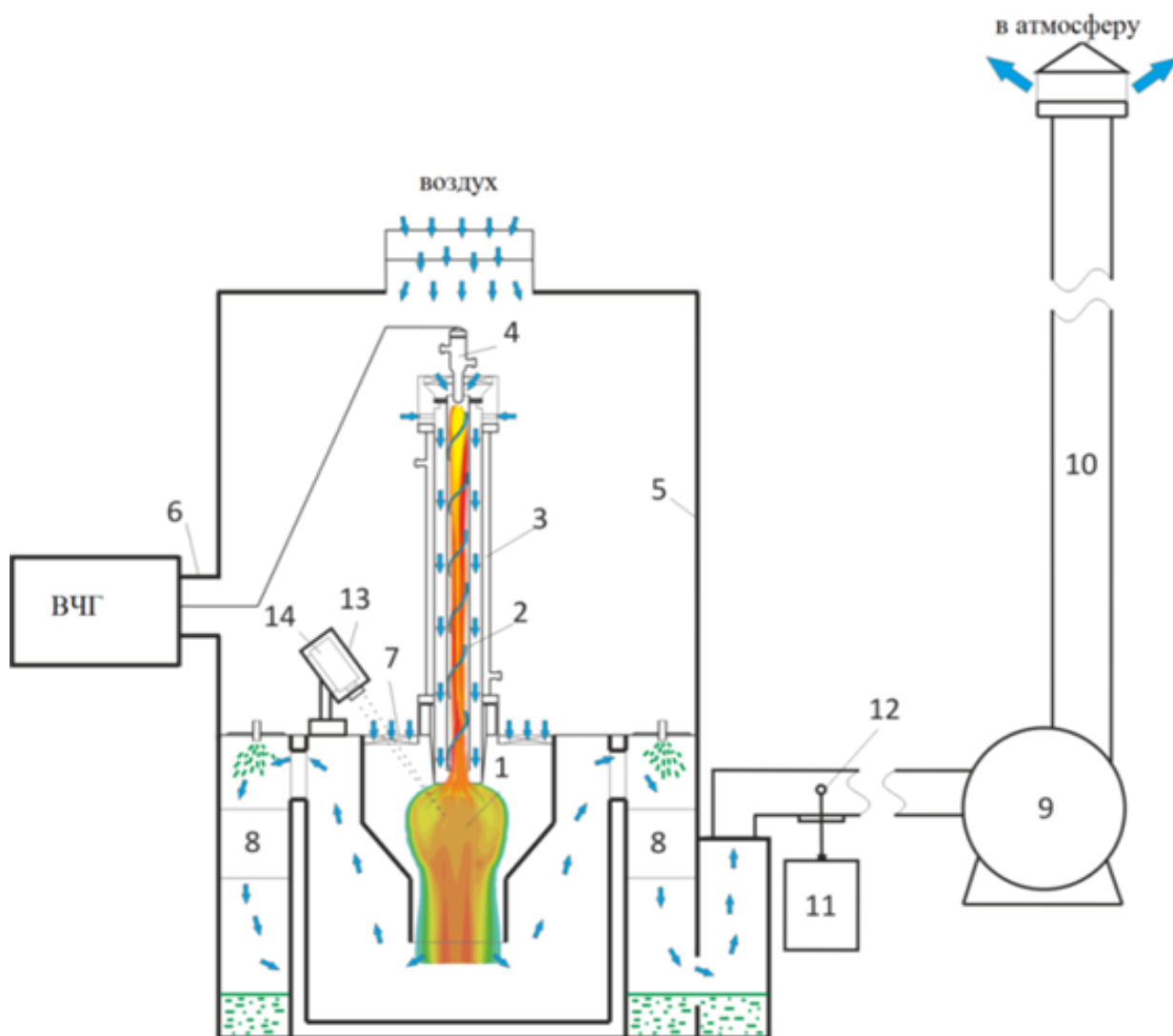


Рисунок А1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

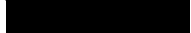
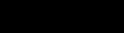
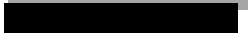
1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздуховод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный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

Приложение Б

Таблица Б1 – 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 Б2 – 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 – 