

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Плазмохимический синтез топливных композиций с матрицей в виде сложных оксидов металлов

УДК 621.039.534.6:66.091:533.9:661.811

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Хоцеловский Никита Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

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
Профессиональные компетенции	
P1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
P2	Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.
P3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области.
P4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
P5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
P6	Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных физических установок и приборов
P7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
P9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P10	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, официальной регистрации компьютерных программ и баз данных

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	Хоцеловскому Никите Сергеевичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез топливных композиций с матрицей в виде сложных оксидов металлов	
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 топливных композиций из нитратных растворов. 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. Обзор и анализ физических методов получения наноразмерных порошков 2. Подготовка экспериментального плазменного стенда 3. Подготовка прекурсоров и проведение экспериментов с получением опытных партий порошков оксида урана с матрицей в виде оксида магния 4. Исследование и анализ свойств порошков оксида урана с матрицей в виде оксида магния, синтезированного в плазме ВЧФ-разряда 5. Экономическое обоснование проведения НИР 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	к.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5Д	Н.С.Хоцеловский		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A5Д	Хоцеловский Никита Сергеевич

Инженерная школа	ИШЯТ	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	Выполнить
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Выполнить
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Выполнить

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5Д	Хоцеловский Н.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A5Д	Хоцеловский Н.С.

Школа	ИШЯТ	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
0A5Д	Хоцеловский Н.С.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 73 страницы, 14 рис., 11 табл., 13 источников, 31 формула.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, оксид урана, нанопорошок.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза нанодисперсного порошка оксида урана с матрицей в виде оксида магния в условиях воздушной плазмы высокочастотного разряда.

Цель работы – получение нанодисперсного порошка оксида урана методом плазмохимического синтеза и исследование физико-химических свойств полученного порошка.

В процессе исследования был получен нанодисперсный порошок оксида урана с матрицей в виде оксида магния в условиях воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда, были проведены, РФА и лазерные-анализы для изучения физико-химических свойств.

В результате исследования получен нанодисперсный порошок оксида урана. Принадлежность полученного порошка к классу нанодисперсных подтверждена результатами анализов.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы в отрасли создания дисперсионного ядерного топлива.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленного производства нанодисперсных порошков оксида урана и других редких и рассеянных металлов.

Определения

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

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы.

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

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

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

Обозначения и сокращения

ВЧФ–разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ–плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ВСК – водно-солевая композиция.

ВСОК – водно-солеорганическая композиция.

РФА – рентгенофазовый анализ.

СНР – смесевой нитратный раствор

Содержание

Реферат	7
Определения	8
Обозначения и сокращения	9
Введение.....	12
1 Обзор литературы	13
1.2 Дисперсионное ядерное топливо.....	13
1.2 Структура ядерного топлива исследовательских реакторов	14
1.3 Матричные материалы дисперсионного топлива	15
1.4 Матрица в виде оксида магния MgO	16
1.5 Матрица в виде оксида алюминия Al_2O_3	19
1.6 Диоксид урана.....	21
1.7 Золь-гель процесс	25
2 Расчетная часть	27
2.1 Расчет показателей горючести и состава водно – органических нитратных растворов	27
2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из растворов ВОНР	31
3 Экспериментальная часть	33
3.1 Описание плазменного стенда на основе ВЧФ – плазмотрона	33
3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ – плазмотрон и газоход.....	35
3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор	37
3.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона	38
3.5 Анализ размера частиц полученной композиции	41
3.6 Качественный анализ полученной композиции	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
4.1 Организация и планирование работ	43
4.2 Продолжительность этапов работ.....	44
4.3 Расчет накопления готовности проекта	47

4.4	Расчет сметы на выполнение проекта	48
4.5	Расчет затрат на материалы.....	49
4.6	Расчет заработной платы	50
4.7	Расчет затрат на социальный налог	51
4.8	Расчет затрат на электроэнергию.....	51
4.9	Расчет амортизационных расходов	53
4.10	Расчет прочих расходов	53
4.11	Расчет прибыли.....	54
4.12	Оценка экономической эффективности проекта.....	55
5	Социальная ответственность	55
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	56
5.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ – плазмотроне и ЭВМ	58
5.2.1	Организационные мероприятия.....	58
5.2.2	Организация рабочего места оператора ПЭВМ	59
5.2.3	Условия безопасности работы	61
5.3	Химическая безопасность.....	63
5.4	Электробезопасность.....	65
5.5	Пожарная и взрывная безопасность	68
	Выводы	70
	Заключение	71
	Список использованных источников	72

Введение

В современной ядерной энергетике все более остро ставятся вопросы касательно безопасности и активно ведутся разработки в области ядерных реакторов и тепловыделяющих сборок (ТВС) к ним. В связи с этим большое внимание уделяют дисперсионному ядерному топливу. Создание тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) на основе дисперсионного ядерного топлива особенно актуально в связи с необходимостью обеспечения высокого потока нейтронов и повышенной радиационной стойкости при длительной эксплуатации в реакторе.

Тепловыделяющие элементы с дисперсионным ядерным топливом нашли широкое применение в активных зонах реакторов различного назначения. Они успешно используются в исследовательских и материаловедческих реакторах и используются при разработке ядерно-энергетических корабельных установок. Данные тепловыделяющие элементы достойно показали свои преимущества в высокотемпературных газоохлаждающихся реакторах (HTGR).

Еще одним преимуществом ТВЭЛов с дисперсионным топливом является то, что они надежно удерживают продукты деления и, в частности, актиноиды. Также их можно эксплуатировать при значительных нагрузках, это обеспечивается высокой теплопроводностью дисперсионных ТВЭЛов.

В последнее десятилетие XX века появился еще один стимул для применения ядерного топлива дисперсного типа. Это связано с тем, что СССР и США накопили огромное количество оружейного плутония и заключили договор о полном прекращении его наработки и использования в энергетике[1].

Несмотря на то, что существует целое множество публикаций на тему дисперсного ядерного топлива, технологии получения дисперсного топлива являются все еще не до конца изученными.

1 Обзор литературы

1.2 Дисперсионное ядерное топливо

Дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) – однородное по составу топливо, состоящее из двух и более фаз: топливной (делящийся материал) и нетопливной (материал матрицы). Данный вид топлива изготавливается методами порошковой металлургии. Процессы деления в ДЯТ и сопутствующие им повреждения сосредоточены в областях, занятых топливной фазой, в то время как нетопливная должна оставаться неповрежденной. Таким образом, ДЯТ реализует идею создания ядерного топлива с заданными выгодными теплофизическими и другими свойствами.

Главное требование, предъявляемое к ДЯТ – сохранность матрицы от радиационных повреждений осколками деления. Топливные частицы должны иметь сферическую форму и размер от 50 до 800 мкм. В случае соблюдения этих требований будет сохраняться прочность матрицы, также будет возможно установить контроль над выходом осколков за пределы топливной частицы. Оптимальный размер частиц в первую очередь зависит от концентрации делящегося нуклида. Например, частицы слабообогащенного диоксида урана могут иметь диаметр до 800 мкм, а частицы высокообогащенного урана – 600 мкм.

Осколки деления, покидающие топливную частицу, проникают в матрицу на глубину порядка длины свободного пробега в ней. Таким образом, каждая частица, находящаяся в матрице, окружена поясом. Например, для композиции UO_2 матрицей может выступать нержавеющая сталь, толщиной порядка 4 – 10 мкм. Принято считать, что матрица состоит из поврежденной и неповрежденной частей.

Помимо вышесказанного, степень повреждения матричного материала зависит еще от способности топливных частиц удерживать в себе продукты

деления, в частности газообразные. Это решается при помощи нанесения на сферические частицы защитного многослойного покрытия[1].

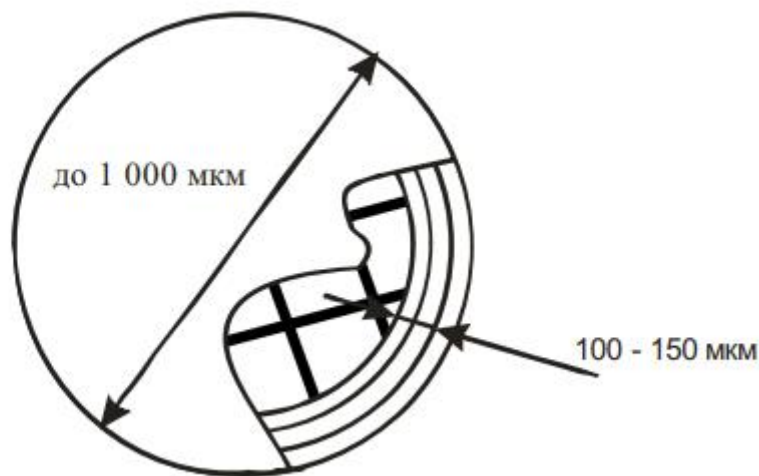


Рисунок 1.1 - Топливная частица с многослойным покрытием.

Порошки диоксида урана могут быть покрыты тонкой пленкой тугоплавких металлов, например, ниобием, вольфрамом или керамикой (окись алюминия, магнезия). Керамические покрытия менее пластичны и поэтому в некоторых случаях применяют комбинацию керамики и металла[1].

1.2 Структура ядерного топлива исследовательских реакторов

В качестве ядерного топлива в активных зонах исследовательских реакторов используется дисперсионное топливо, представляющее собой композицию ядерного топлива, в котором делящаяся фаза (U-233, U-235, Pu-239) находится в виде частиц (металл, соединение), равномерно распределенных в матрице из неделящегося материала (металл, сплав, керамика, графит, другие материалы), а также из U-238, Th-232, их сплавов и соединений.

Одно из главных преимуществ ядерного топлива дисперсионного типа, это его повышенная радиационная стойкость при длительной эксплуатации по сравнению с топливом с сердечниками из однородного ядерного топлива.

Радиационная стойкость дисперсионного топлива достигается его структурой, в которой продукты деления локализуются в топливных частицах или около них. Каждая частица ядерного топлива, диспергированная в топливной композиции, может быть представлена как микротвэл, в котором роль оболочки, сдерживающей объемные изменения сердечника, выполняет матрица. Разобщенность продуктов деления и непрерывность матрицы предотвращают повреждение сердечника ТВЭЛа.

Для наиболее полного сохранения свойств матрицы необходимо выполнить условие непрерывности ее неповрежденной части. Чтобы обеспечить устойчивость дисперсионной композиции необходимо, чтобы расстояние между частицами топливной фазы было таким, при котором не происходило бы касание или перекрывание повреждённых частей (поясов) матрицы[1].

1.3 Матричные материалы дисперсионного топлива

При разработке и эксплуатации дисперсионного ядерного топлива в исследовательских реакторах, корабельных ядерных энергетических установках, реакторах HTGR и энергетических реакторах был накоплен ценный опыт, который позволил сформировать требования к топливу IMF (Inert Matrix Fuel)[1].

Первое и основополагающее требование к материалу матрицы – это незначительное поглощение нейтронов. Также существуют некоторые требования, предъявляющиеся к матричному материалу:

- иметь высокую температуру плавления,
- его теплопроводность должна быть хорошей,
- быть совместимым с топливной композицией и материалом оболочки,
- не подвергаться фазовым превращениям в диапазоне рабочих температур,
- обладать высокими механическими свойствами,
- быть устойчивым в условиях реакторного облучения.

Помимо вышесказанного, материал матрицы должен сохранять свои свойства в условиях длительного захоронения при открытом топливном цикле и иметь хорошую растворимость в азотной кислоте при замкнутом топливном цикле.

1.4 Матрица в виде оксида магния MgO

В таблице 1.1 приведены поперечные сечения поглощения тепловых нейтронов, что обусловило использование матрицы из оксида магния для дисперсионного ядерного топлива. Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов у магния равно $7,0 \cdot 10^{-22} \text{ см}^{-2}$. Это значит, что данный материал не будет поглощать нейтроны в той степени, чтобы помешать требуемой эксплуатации дисперсионного ядерного топлива с матрицей в виде оксида магния.

Таблица 1.1 - Поперечные сечения поглощения тепловых нейтронов

Элемент	Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов, 10^{-24} см^{-2}
Углерод	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Азот	1,9
Кислород	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Магний	$7,0 \cdot 10^{-2}$
Алюминий	0,24
Цирконий	0,18
Кремний	0,16
Бериллий	$10 \cdot 10^{-2}$

Температура плавления оксида магния составляет 2852 °С, что является хорошим показателем, так как данный параметр очень близок к температуре плавления диоксида урана[2].

Производство оксида магния можно разделить на два способа: «сухой» и «мокрый». К первому относятся производства из магнезита, а ко второму производство оксида магния из хлорида магния (бишофита), которые реализованы в промышленном масштабе в Российской Федерации. Сырьевые материалы для «сухого» способа производства магнезии добывают в открытых карьерах или в подземных шахтах. После добычи куски магнезита измельчают и производят первичную обработку, для этого используют оборудование для дробления и фракционирования. Для подготовки магнезита используют тяжелый шлам. Так как в сырье могут быть различные примеси, его промывают. Также, дабы избавиться от соединений железа, применяют магнитную сепарацию.

В промышленности под магнезитом понимается также карбонатная горная порода кристаллического или аморфного строения, состоящая в основном из минерала магнезита с примесью гидромагнезита, доломита, кальцита, талька, хлорита, глинистого и углистого вещества.

Выделение соединений магния из гидроминерального сырья хорошо освоено и используется в промышленном масштабе. Впервые технология осаждения магния из морской воды была разработана в Англии, первое крупное предприятие по промышленному извлечению было построено в США в начале 40-х годов прошлого столетия. В настоящее время больше половины всего мирового производства магниевой продукции производится из гидроминерального сырья, главным образом, из морской воды. В частности, крупнейшие промышленные предприятия по производству оксида магния и других его соединений расположены в Калифорнии, Делавэре, Флориде и Техасе.

Некоторые известные промышленные методы получения оксида магния базируются на осаждении малорастворимого гидроксида с помощью щелочных реагентов и последующем обжигании до оксида магния. Основным и наиболее доступным реагентом является гидроксид кальция. Основная трудность осаждения гидроксида магния и отделение его от маточного раствора

заключается в том, что без соблюдения специальных условий осадок получается в коллоидно-дисперсной форме. Есть еще одна проблема, она заключается в том, что достаточно сложно получить чистый продукт, не содержащий примесей железа, марганца, цветных металлов, бора и других соединений.

Известен способ получения чистого оксида магния осаждением гидроксида магния из морской воды, в котором в качестве осадителя используется гидроксид натрия. Недостатком этого способа является высокая стоимость реагента, который, в соответствии с указанным способом, добавляется в исходный раствор в избыточном количестве.

Известен способ получения оксида магния из природных рассолов, включающий стадии разбавления указанных рассолов водой, аэрации рассолов с целью удаления железа, осаждения гидроксида магния известковым молоком, отделения осадка и промывки его водой, карбонизации полученной пульпы углекислым газом и обжига полученного основного карбоната магния с получением оксида магния. Указанный способ обладает рядом недостатков. Из-за разбавления рассолов в 2-3 раза возникают значительные объемы жидких отходов, которые необходимо закачивать в подземные пласты; разбавление кальций-содержащих подземных высокоминерализованных рассолов поверхностной водой, содержащей бикарбонат-ионы, приводит к постепенному образованию осадков, что выводит из строя системы обратной закачки отработанных рассолов, в то же время, использование специально подготовленной воды связано с большими затратами; используемая технология не позволяет проводить очистку от цветных и тяжелых металлов, а также бора; обжиг основного карбоната магния связан с большими затратами энергии по сравнению с обжигом гидроксида магния. Все это в совокупности приводит к низким экономическим показателям[2].

1.5 Матрица в виде оксида алюминия Al_2O_3

Еще одним соединением, используемым в качестве матрицы является оксид алюминия. Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов у магния равно $0,24 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$. Данный показатель говорит о том, что данный материал удовлетворяет одному из условий, предъявляемому к дисперсионному ядерному топливу.

Температура плавления оксида алюминия 2072°C , по этому показателю оксид алюминия уступает оксиду магния.

Величины теплоемкости, энтропии и энтальпии для чистого кристаллического алюминия представлены в таблице 2.

Таблица 1.2 - Теплоемкость, энтропия и энтальпия чистого кристаллического алюминия

Температура, К	Теплоемкость, ккал·моль ⁻¹	Энтропия, град ⁻¹	Энтальпия, ккал·моль ⁻¹
0	0,000	0,000	-1,094
100	3,116	1,650	-0,988
200	5,158	4,572	-0,546
298	5,806	6,769	0,000
300	5,814	6,805	0,011
400	6,163	8,528	0,610
500	6,450	9,934	1,241
600	6,717	11,134	1,900
700	6,999	12,190	2,585
800	7,370	13,147	3,302
900	7,910	14,044	4,064

Хотя алюминий является одним из наименее благородных промышленных металлов, он достаточно устойчив во многих окислительных реакциях. Причиной этому является наличие непрерывной оксидной пленки на поверхности алюминия, которая образуется вновь, несмотря на механическое воздействие на поверхность. Молекулярный объем окиси почти в 1,3 раза больше, чем объем алюминия, учувствовавшего в реакции окисления. Поэтому поверхностный слой постоянно находится под действием сжимающих напряжений и быстро восстанавливается при воздействии на него. В атмосфере сухого кислорода толщина оксидной пленки достигает предельной величины.

Толщина оксидной пленки увеличивается в присутствии паров воды. При комнатной температуре и 100 % относительной влажности толщина пленки вдвое больше, чем в сухом кислороде. При более высоких температурах на алюминии и алюминиевых сплавах, в особенности легированных магнием и медью, образуется пленка более сложной структуры. В этих случаях рост пленки уже не подчиняется простым временным зависимостям.

С помощью процесса Байера производится большая часть оксида алюминия. Схематически процесс заключается в следующем: бокситовую руду, или смешанные гидроксиды железа и алюминия, переводят в раствор с помощью щелочи. Твердые примеси удаляют, а глинозем выделяют кристаллизацией тригидроксида (гидрата Байера), который фактически является гиббситом. Щелочной раствор регенерирует, концентрируют и используют для следующего растворения. Для получения оксида алюминия этот тригидроксид подвергают прокаливанию[3].

Ввиду высокой стоимости гидрата Байера, в область рассмотрения попадают золь-гель технологии, к которым на данный момент повышенный интерес. Исходным материалом является соль алюминия, эту соль смешивают с гексаметилентетраамином, полученное соединение пропускают через фильтры, а затем направляют в колонну. После всего этого на выходе получают раствор сферической формы, который проходит этап желатинирования.

Почти прозрачные сферы подвергают кристаллизации. Режимы кристаллизации выбираются разные, что дает возможность выбирать определенные диаметры и объем пор, получаемых кристаллов.

В качестве побочных продуктов образуются спирт и гидроксид алюминия. Так как реакция обладает высокой селективностью остается нерастворимый шлам, который удаляют различными методами очистки (фильтрование, очистные центрифуги).

Следует также упомянуть процессы, связанные с получением двойных солей и их термическим разложением, приводящие к образованию продукта с высокоразвитой поверхностью[3].

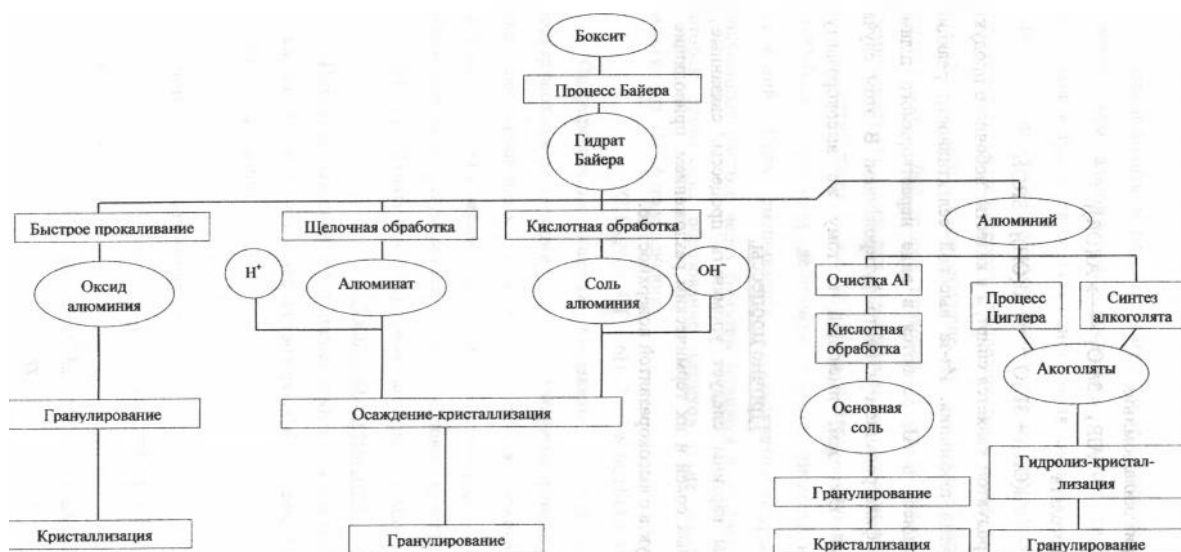


Рисунок 1.2 Схема процессов получения оксида алюминия

1.6 Диоксид урана

В настоящее время диоксид урана является весьма распространенным ядерным топливом для легководных и тяжеловодных реакторов. Твердый

раствор оксидов урана и плутония применяют в качестве топлива для быстрых реакторов[4].

Основным достоинством диоксида урана является его повышенная термическая и радиационная стабильность. Температура плавления данного оксида 2880 °С. Плотность диоксида имеет сравнительно небольшую величину 10,07 г/см³. Несмотря на это, в современных тяжеловодных реакторах CANDU диоксид урана используется в необогащенном состоянии.

Ввиду низкой теплопроводности диоксида урана, падающая с ростом температуры (таблица 1.3) , возникает высокий градиент температуры в топливе. В свою очередь высокие температуры в диоксиде урана способствуют изменению его структуры. Эти эффекты рассматриваются при конструировании ТВЭЛ[4].

Таблица 1.3 - Коэффициенты теплопроводности UO₂ при разных температурах.

$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$					
600K	800K	1000K	1200K	1400K	1600K
5,38	4,10	3,65	3,00	2,15	1,77

Уран в качестве топлива используют в различном виде:

- в виде таблеток;
- порошка частиц произвольной формы, используемого как при изготовлении таблеток, так и ТВЭЛ;
- порошка частиц сферической формы с размерами варьируемыми от 50 до 500 мкм

При изготовлении ТВЭЛ таблетки и порошки размещают в тонкостенных трубках из подходящего материала и герметизируют. Помимо этого, порошки смешивают с тонкодисперсным металлическим порошком и спекают, получая дисперсионное топливо, к таблеткам которого предъявляются следующие требования:

1. Форма должна быть цилиндрической. Отношение высоты к диаметру 2:1.
2. Допускаемый размер 0,025 мм.
3. Таблетка должна иметь закрытую пористость, плотность при этом должна соответствовать 85 % – 95 % от теоретической. Размер пор 0,1 мкм – 10 мкм.
4. Поры в таблетке могут быть заполнены каким-либо тепловыделяющим газом.

Основные требования, предъявляемые к порошку:

1. Порошок должен состоять из мелких частиц правильной формы, не имеющих на поверхности адсорбированных газов.
2. Идеальная поверхность частиц порошка должна быть по возможности высокой. Однако существует ограничение на размер во избежание пирофорности.
3. Для лучшей текучести при заполнении в оболочку применяют 1 % – 2 % связки (полиэтиленгликоль, парафин, метакрилат полиметила в сухом виде или растворе).
4. Для удаления связки изделие прокаливают до температуры 800 °С в инертной атмосфере.

Известные методы получения двуокиси урана делят на две группы: – водные и сухие.

К водным относятся методы, при которых данное соединение получают термическим разложением осажденных из водных растворов солей урана с последующим восстановлением водородом высших оксидов до двуокиси.

К сухим методам относится прямое восстановление газообразного UF_6 до двуокиси.

Существует способ получения диоксида урана, который предполагает:

- обработка концентрата кислотой,
- получение уранилтрикарбоната,

- очистка кетоном,
- фильтрация аммония уранилтрикарбоната.

В конечном итоге получается продукт с большим количеством примесей, что, очевидно, является ярким недостатком данного способа.

Следующий способ включает в себя стадии получения:

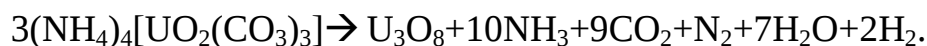
- получение уранилтрикарбоната из гексафторида урана или водных растворов нитрата уранила,
- восстановление аммония уранилтрикарбоната в печи до диоксида урана. Данный метод расходует большое количество водорода, что приводит к высокому содержанию примесей, например, железа или никеля, в конечном продукте.

Главным фаворитом среди методов получения UO_2 по праву можно считать метод осаждения урана из азотнокислых растворов аммиака.

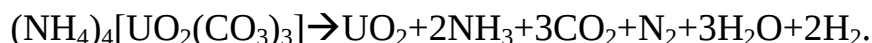
Обработка азотнокислых растворов урана аммиаком сопровождается осаждением металла в виде смеси аквагидрооксокомплексов, состав которой изменяется в зависимости от условий осаждения. Кроме урана, аммония и воды эти осадки содержат цитрат-ион. Промывка осадка способствует удалению нитрат-иона, однако полного освобождения осадка от NO_3^- добиться практически невозможно.

При отсутствии комплексообразователей нейтрализация раствора аммиаком до pH больше 6,5 сопровождается количественным осаждением урана. В присутствии комплексообразователей, например, таких как фтор, содержание урана в маточном растворе резко увеличивается, и использование избытка осадителя в данном случае не имеет никакого смысла, в некоторых случаях даже весьма вредно, в виду того, что аммиак, повышая pH среды, будет провоцировать поглощение углекислоты из воздуха, что, в свою очередь, может привести к дополнительному растворению урана[4].

Для получения UO_2 используют и осаждение аммонийуранилтрикарбонат, термическое разложение которого на воздухе при 700–900 °C приводит к образованию U_3O_8 :



В инертной атмосфере или в вакууме:



1.7 Золь-гель процесс

Получение диоксида урана золь-гель процесс проходит в три стадии:

1. Приготовление золь;
2. Удаление воды с образованием твердых частиц;
3. Прокаливание.

Смешанное окисное топливо с любым отношением U/Pu получают путем перемешивания золь[5].

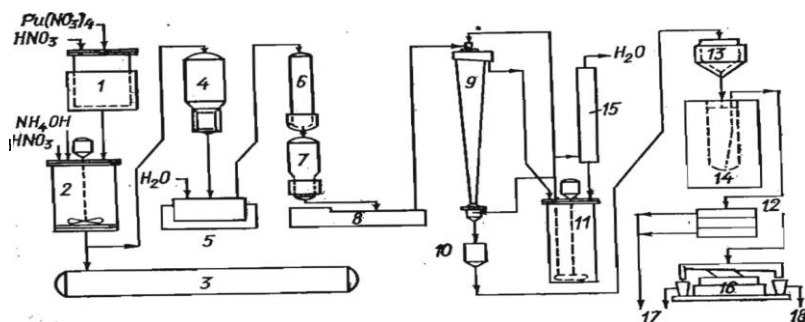


Рисунок 1.3 - Технологическая схема приготовления золя и формирования макросфер двуокиси плутония: 1 – приготовление исходного раствора; 2 - осаждение, фильтрация и пептизация; 3 – промывка; 4 – выпаривание высоконитратного золя; 5 – термическая денитрация золя; 6 – выпаривание; 7 – накопление золя; 8 – перекачка золя; 9 – формирование микросфер; 10 – отделение сфер; 11 – отделение растворителя; 12 – просеивание; 13 – сушка; 14 – спекание; 15 – отстаивание; 16 – измерение; 17 – выдача отходов; 18 - -выдача готового продукта.

Высокотитратный золь получают двухстадийной пептизацией промытого фильтр-кека в разбавленной азотной кислоте при молярном

отношении $\text{NO}_3^-/\text{Pu} = 2$. Отношение NO_3^-/Pu в золе снижается до 0,1 – 0,2 термической денитрацией (или обжигом). После денитрации кристаллиты имеют размеры около 80 ангстрем. Они образуют агломераты 1000 ангстрем. Их величина должна быть ограничена для получения стабильного золя. Готовый золь плутония перемешивают с золом урана[5].

После прокаливания в инертной атмосфере при 1150 °С гель представляет собой микросферы диаметром 50 – 600 мкм с высокой плотностью и высоким сопротивлением к разрушению.

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

- 1 микросферы могут быть изготовлены размером 20–1000 мкм с тщательным контролем их на стадии получения геля; дефектные микросферы могут быть возвращены в начало процесса до операции спекания;

- 2 микросферы смешанных окислов могут быть спечены до: высокой плотности (более 95 % – 96 % теоретической плотности);

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

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

- 5 процесс приготовления микросфер легко осуществить дистанционно в автоматическом цикле[5].

2 Расчетная часть

2.1 Расчет показателей горючести и состава водно – органических нитратных растворов

Низшая теплотворная способность водно-органических нитратных растворов определялась по уравнению:

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_n^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100},$$

где Q_n^c – низшая теплотворная способность горючего компонента в составе водно-органического нитратного раствора, МДж/кг; W и A – содержание воды и негорючих компонентов, %; 2,5 – значение скрытой теплоты испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Показано, что водно-органические нитратные растворы (ВОНР), имеющие $Q_n^p \geq 8,4$ МДж/кг, могут обеспечить существенное снижение энергозатрат на плазмохимический синтез сложных оксидных композиций.

Для образования сложных оксидных композиций различного состава определены следующие оптимальные по составу растворы ВОНР, имеющие $Q_n^p \geq 8,4$ МДж/кг.

Таблица 2.1 Оптимальные составы ВОНР на основе ацетона

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР, % масс.			
	H ₂ O	C ₂ H ₆ O(ацетон)	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
ВОНР-1				
«95 % UO ₂ – 5% MgO»	28,4	30	35,9	9,6
ВОНР-2				
«90 % UO ₂ – 10% MgO»	28,4	30	21,6	11,9
ВОНР-3				
«92,5 % UO ₂ – 7,5% MgO»	28,4	30	27,2	12,2

Продолжение таблицы 2.1

ВОНР-4				
«85 % UO ₂ – 15% MgO»	28,4	30	27,5	16,1
ВОНР-5				
«97,5 % UO ₂ – 2,5% MgO»	28,4	30	44,9	8,1

Таблица 2.2 Оптимальные составы ВОНР на основе этанола

Состав оксидной композиции	Состав раствора ВОНР, % масс.			
	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH(этанол)	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
ВОНР-1				
«95 % UO ₂ – 5% MgO»	28,4	30	34,9	10,6
ВОНР-2				
«90 % UO ₂ – 10% MgO»	28,4	30	22,5	10,9
ВОНР-3				
«92,5 % UO ₂ – 7,5% MgO»	28,4	30	28,2	11,2
ВОНР-4				
«85 % UO ₂ – 15% MgO»	28,4	30	26,5	15,9
ВОНР-5				
«97,5 % UO ₂ – 2,5% MgO»	28,4	30	40,9	10,1

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

$$T_{\text{а.д.}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{p}} + c_{\text{отх}} \cdot t_{\text{отх}} + \alpha \cdot \vartheta_{\text{ок}}^0 \cdot c_{\text{ок}} \cdot t_{\text{ок}}}{\vartheta \cdot c},$$

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

$t_{\text{отх}}$ – температура жидкой композиции, °С;

α – коэффициент расхода окислителя;

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

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

$t_{\text{ок}}$ – температура окислителя, $^{\circ}\text{C}$;

v и c – выход и средняя объемная теплоемкость продуктов сгорания горючих компонентов композиции соответственно, $\text{м}^3/\text{кг}$ и $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$;

При адиабатической температуре свыше 1200°C жидкие горючие композиции сгорают с незначительными потерями в окружающую среду.

В таблице 2.3 приведены значения низшей теплотворной способности $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$ выбранных нами горючих компонентов.

Таблица 2.3 – Теплофизические параметры веществ

Параметр	Вещество	
	Этанол	Ацетон
$Q_{\text{НС}}$, МДж/кг	26,800	31,54
$T_{\text{св.}}$, К	619	738
$T_{\text{вспышки}}$, К	285	254

Оптимальные соотношения между компонентами в водно-солеорганической композиции, полученные по результатам проведенных расчетов, представлены в таблицах 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4 Оптимальные соотношения между компонентами ВСОК на основе ацетона

Состав ВСОК						Q _{нр.}
Соль, %		H ₂ O, %	Спирт, %	A	W	
UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O					Ацетон
42,498	11,941	35,560	10,000	54,44	35,56	2,265
37,776	10,615	31,609	20,000	48,39	31,61	5,518
37,304	10,482	31,214	21,000	47,79	31,21	5,843
36,832	10,349	30,819	22,000	47,18	30,82	6,168
36,360	10,217	30,424	23,000	46,58	30,42	6,494
35,887	10,084	30,029	24,000	45,97	30,03	6,819

Продолжение таблицы 2.4

35,415	9,951	29,634	25,000	45,37	29,63	7,144
34,943	9,819	29,238	26,000	44,76	29,24	7,469
34,471	9,686	28,843	27,000	44,16	28,84	7,795
33,999	9,553	28,448	28,000	43,55	28,45	8,120
33,526	9,420	28,053	29,000	42,95	28,05	8,445
33,054	9,288	27,658	30,000	42,34	27,66	8,771
32,582	9,155	27,263	31,000	41,74	27,26	9,096
32,110	9,022	26,868	32,000	41,13	26,87	9,421
31,638	8,890	26,473	33,000	40,53	26,47	9,746
31,165	8,757	26,078	34,000	39,92	26,08	10,072
30,693	8,624	25,682	35,000	39,32	25,68	10,397
30,221	8,492	25,287	36,000	38,71	25,29	10,722

Таблица 2.5 Оптимальные соотношения между компонентами ВСОК на основе этанола

Состав ВСОК						Qнр.
Соль, %		H ₂ O, %	Спирт, %	А	W	
UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O					Этанол
42,498	11,941	35,560	10,000	54,44	35,56	1,79
37,776	10,615	31,609	20,000	48,39	31,61	4,57
37,304	10,482	31,214	21,000	47,79	31,21	4,85
36,832	10,349	30,819	22,000	47,18	30,82	5,13
36,360	10,217	30,424	23,000	46,58	30,42	5,40
35,887	10,084	30,029	24,000	45,97	30,03	5,68
35,415	9,951	29,634	25,000	45,37	29,63	5,96
34,943	9,819	29,238	26,000	44,76	29,24	6,24
34,471	9,686	28,843	27,000	44,16	28,84	6,51
33,999	9,553	28,448	28,000	43,55	28,45	6,79
33,526	9,420	28,053	29,000	42,95	28,05	7,07
33,054	9,288	27,658	30,000	42,34	27,66	7,35

Продолжение таблицы 2.5

32,582	9,155	27,263	31,000	41,74	27,26	7,626
32,110	9,022	26,868	32,000	41,13	26,87	7,904
31,638	8,890	26,473	33,000	40,53	26,47	8,182
31,165	8,757	26,078	34,000	39,92	26,08	8,460
30,693	8,624	25,682	35,000	39,32	25,68	8,738
30,221	8,492	25,287	36,000	38,71	25,29	9,016

2.2 Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из растворов ВОНР

Термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в воздушной плазме из растворов ВОНР проведено с использованием лицензионной программы термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA». Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–5000 К) и изменении значений исходной массовой доли плазменного теплоносителя (воздуха) в интервале (0,1–0,9).

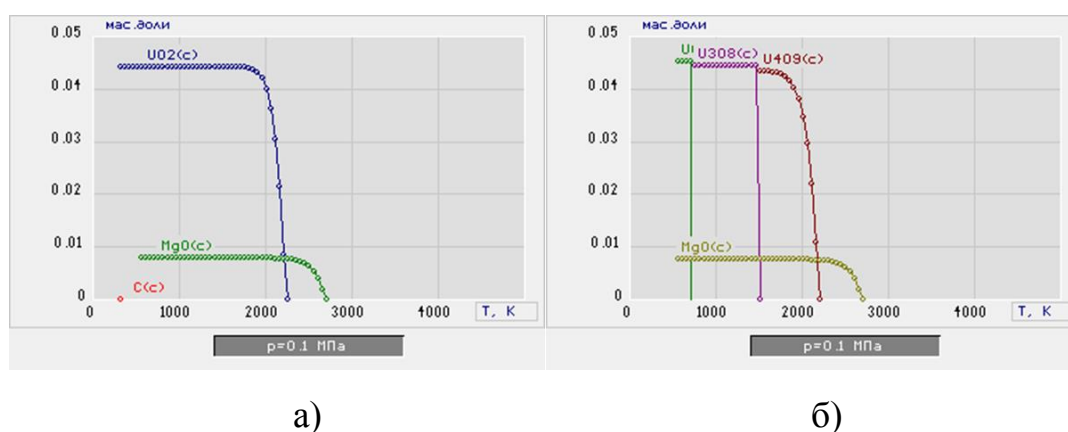
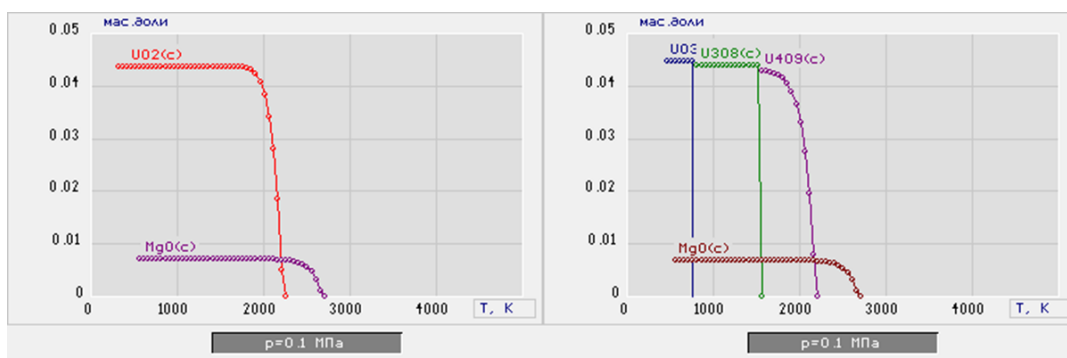


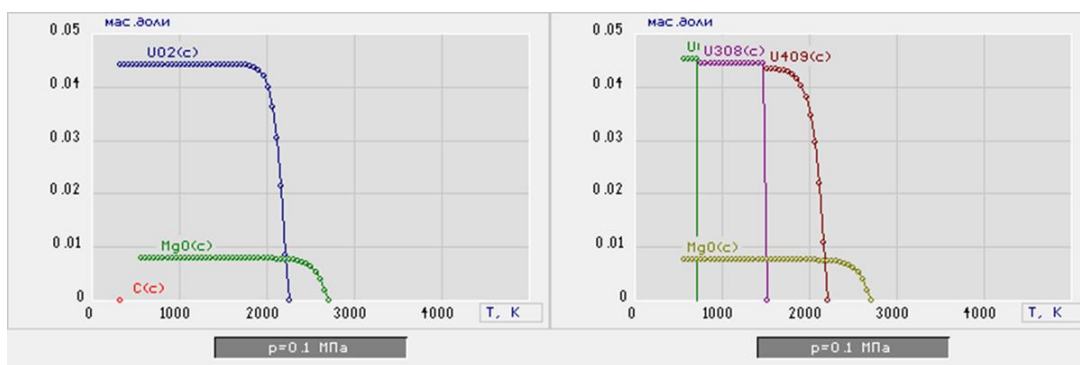
Рисунок 2.1 Равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза композиции «85 % UO_2 – 15 % MgO » на основе ацетона, доля воздуха 69 % (а), 70%(б)



а)

б)

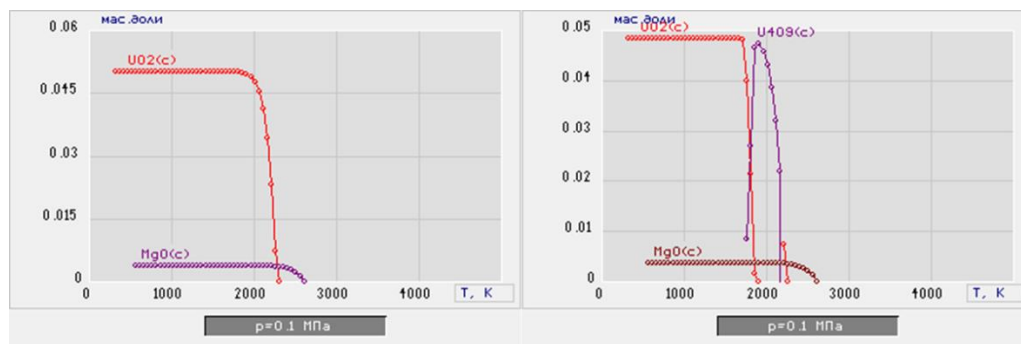
Рисунок 2.2 Равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза композиции «90 % UO_2 – 10 % MgO » на основе ацетона, доля воздуха 70%(а), 71%(б)



а)

б)

Рисунок 2.3 Равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза композиции «95 % UO_2 – 5 % MgO » на основе ацетона, доля воздуха 69%(а), 71%(б)



а)

б)

Рисунок 2.4 Равновесные составы продуктов плазмохимического синтеза композиции «95 % UO_2 – 5 % MgO » на основе этанола, доля воздуха 72%(а), 73%(б)

Проанализировав графические зависимости можно сказать, что существует оптимальная процентная составляющая воздуха, при которой получаются компоненты, которые необходимы в рамках заданной модели. Например, на рисунке 2.1 видно, что при увеличении воздуха всего на 1 % на выходе получаются оксиды урана, стехиометрически отличающиеся от диоксида урана, то есть получается не та композиция, которая необходима.

3 Экспериментальная часть

3.1 Описание плазменного стенда на основе ВЧФ – плазмотрона

Экспериментальные данные для изучения оксидных порошков для топливных композиций из модельных ВОНР были получены при помощи плазменного стенда на основе ВЧФ - плазмотрона. Схема установки представлена на рисунке 3.1.

Экспериментальный плазменный стенд включает в себя высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 (рабочая частота 13,56 МГц), с него энергия подается на медный электрод 2 через коаксиальный вывод. ВЧФ-плазмотрон генерирует воздушные плазменные потоки со среднемассовой

температурой до 4000 К. Разрядная камера плазмотрона представляет собой трубку из кварцевого стекла с диаметром 50 мм и длиной 850 мм.

Прокачка воздуха через ВЧФ-плазмотрон осуществляется через вытяжной вентилятор 9.

Узел ввода плазмообразующего газа, установленный на входе в ВЧФ-плазмотрон, снабжен импеллером для закрутки поступающего плазмообразующего газа с входной площадью $S_{\text{имп}} = 25 \text{ см}^2$.

Импеллер 6 с шибером 7 закручивают поступающий в реактор воздух и позволяет регулировать входную площадь импеллера.

Газоанализатор 10 предназначен для определения состава газовой смеси после узла мокрой очистки, отходящей в атмосферу, кроме того для измерений скорости воздушного потока после реактора с помощью трубки Пито в газоходе диаметром 250 мм ($S_{\text{гхд}} = 500 \text{ см}^2$), а также измерений скорости плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон.

Пирометр 12 измеряет температуру плазменного горения в реакторе горючих диспергированных композиций. Измерение проводится бесконтактно при помощи лазерной технологии пирометра.

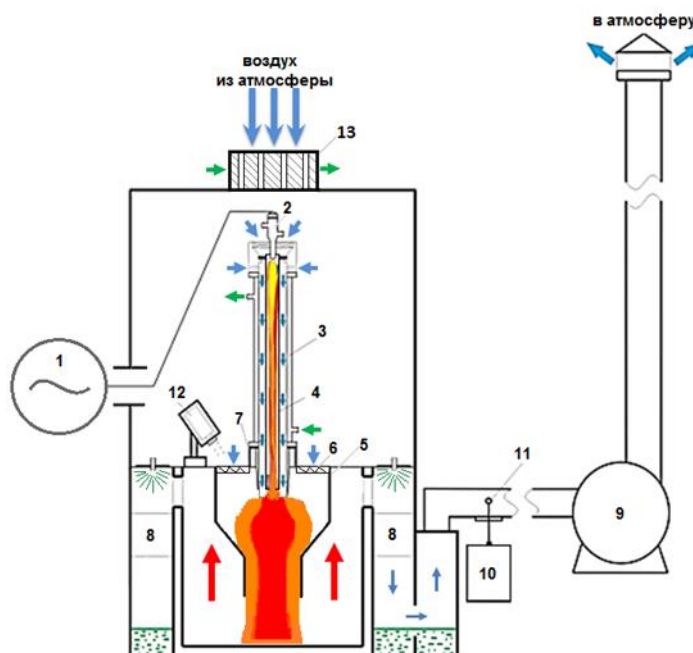


Рисунок 3.1 - Схема установки на базе ВЧФ – плазмотрона: 1 – ВЧГ, 2 – медный электрод, 3 – ВЧФ-плазмотрон, 4 – ВЧФ-разряд, 5 – корпус реактора, 6 – импеллер реактора, 7 – шибер, 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов, 9 – вытяжной вентилятор, 10 – газоанализатор, 11 – пробоотборник, 12 – пирометр, 13 – калорифер.

3.2 Определение расходов воздушного теплоносителя через ВЧФ – плазмотрон и газоход

Измерение расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона и газоход после узла «мокрой» очистки отходящих из реактора газов проводилось с помощи трубки Пито.

Трубка Пито измеряет напор f , создаваемый набегающим потоком, например, воздухом. Известна формула:

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

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

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

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

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

Преобразовав формулу 3.1, выразим скорость набегающего потока V :

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

Искомое значение объёмного расхода воздуха через воздуховод вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{пг}} = S \cdot V, \quad (3.3)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

Влияние входной площади импеллера реактора на объёмные расходы воздуха через ВЧФ-плазмотрон и газоход представлено на рисунках 3.2 и 3.3.

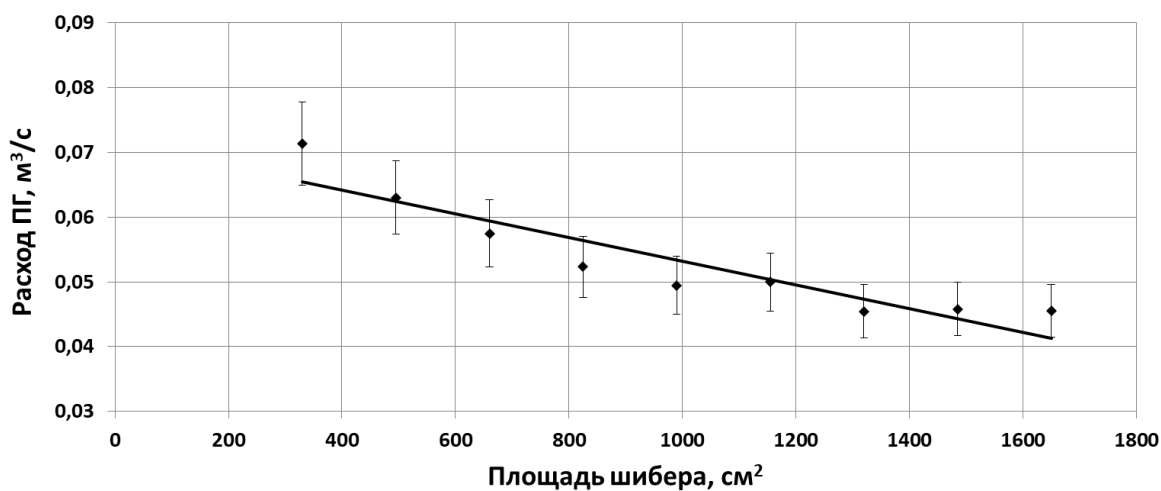


Рисунок 3.2 – Влияние входной площади шибера реактора на объёмный расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

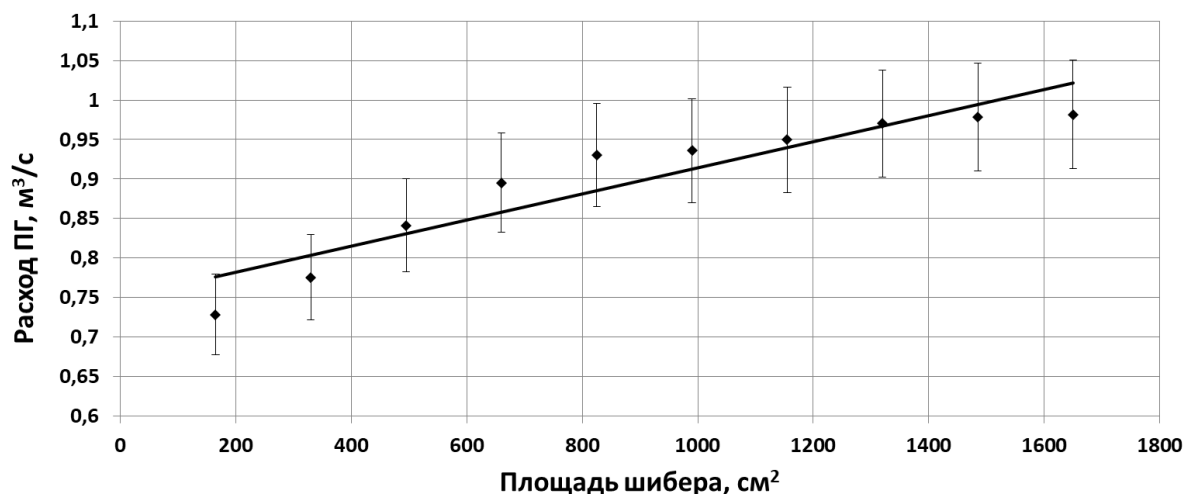


Рисунок 3.3 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через газоход

Данные графиков позволят в дальнейшем, судить о зависимости расхода плазмообразующего газа через реактор ВЧФ-плазмотрона.

3.3 Определение расходов воздушного теплоносителя через реактор

Расход газа через реактор определялся косвенным образом. Для расчета расхода воздуха через реактор использовалось следующее выражение:

$$Q_p = Q_{гхд} - Q_{птр} \quad (3.2)$$

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

$Q_{гхд}$ – расход воздушного теплоносителя через газоход, м³/с;

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

В результате расчетов получены зависимости расходов воздушного теплоносителя через реактор плазменного стенда в зависимости от входной площади импеллера реактора. Полученные зависимости представлены на

рисунке 3.4.

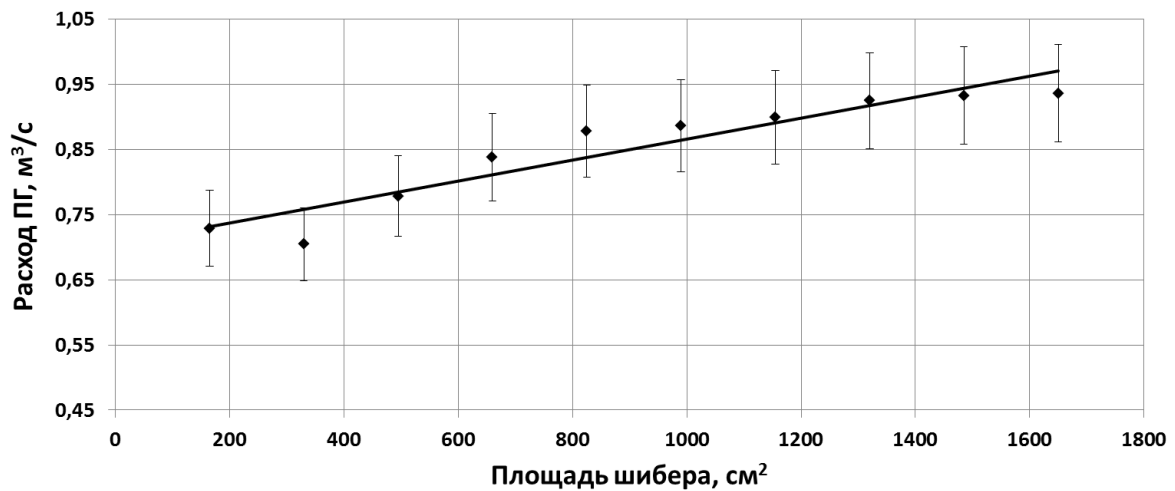


Рисунок 3.4 – Влияние входной площади шибера реактора на объемный расход воздушного теплоносителя через реактор

На основе данных графиков представляется возможным регулировка воздушного теплоносителя через реактор и плазмотрон при помощи изменения площади шибера.

3.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона

Были проведены потери тепловой мощности на водоохлаждаемых элементах установки, таких как, например, анод генераторной лампы, теплофизические параметры плазменного стенда.

Расчетные соотношения представлены ниже.

Электрическая мощность, потребляемая ВЧ-генератором от сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт}, \quad (3.3)$$

где I_a – ток анода А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.4)$$

где m_a – массовый расход воды, кг/с;

Δt_a – изменение температуры охлаждающей воды, °C;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

где m_c – массовый расход воды, кг/с;

Δt_c – изменение температуры охлаждающей воды, °C;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Тепловая мощность, рассеиваемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.6)$$

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

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

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Тепловая мощность, рассеиваемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.7)$$

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

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

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{эл}), \text{ кВт} \quad (3.8)$$

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

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (3.9)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_{пг}}, \text{ кДж/кг}, \quad (3.10)$$

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

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

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta_{\text{уст}} = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (3.12)$$

На рисунке 3.5 показано влияние входной площади шибера реактора среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном (при анодных токах генератора $I_a = 3,0 \text{ A}$; $3,6 \text{ A}$; $4,0 \text{ A}$).

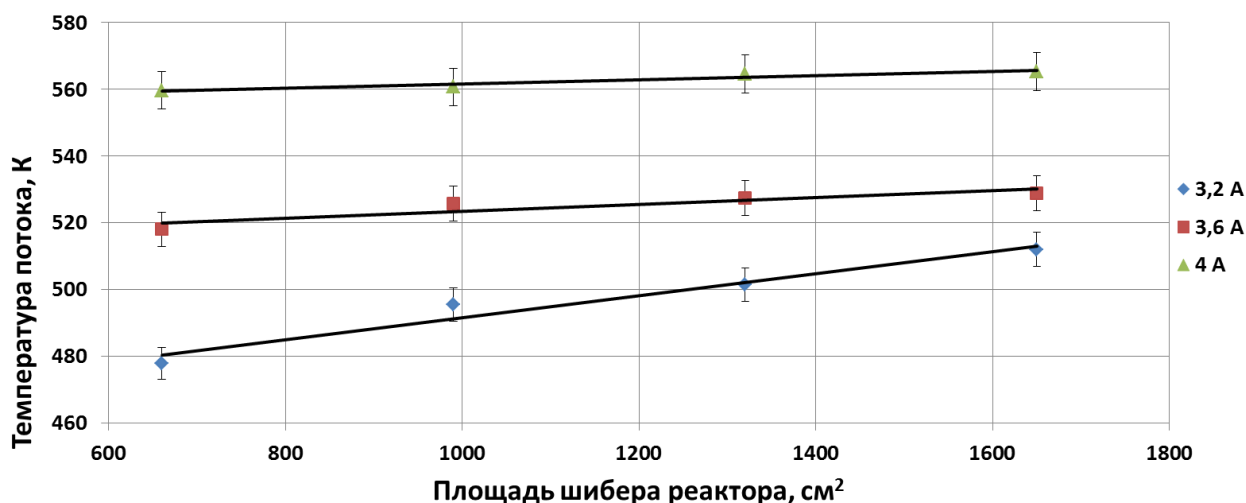


Рисунок 3.5 – Влияние входной площади шибера реактора на среднемассовую температуру воздушного плазменного потока, генерируемого ВЧФ-плазмотроном: ($I_a = 3,0 \text{ A}$; $3,6 \text{ A}$; $4,0 \text{ A}$)

Необходимо подобрать режим работы экспериментальной установки таким образом, чтобы температура плазменной струи не была меньше температуры воспламенения горючего компонента, в данном случае это ацетон.

3.5 Анализ размера частиц полученной композиции

Данные получены на приборе DeslaMax PRO. Диапазон измерения прибора 0,4–10000 нм.

На рисунке 3.6 представлено распределение частиц по размерам в полученных порошках

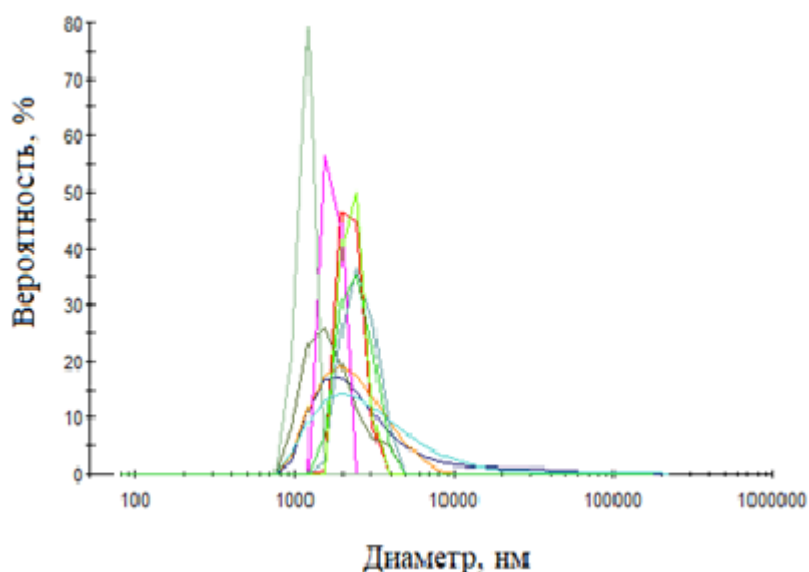


Рисунок 3.6 – Распределение частиц по размерам в полученных порошках

Данный прибор не идентифицирует отдельные частицы в агломератах, а так как все частицы в полученной композиции связались в агломераты, в данном исследовании получены размеры именно агломератов, а не отдельных частиц.

Из анализа данного рисунка следует, что размер агломератов в исследуемых порошках лежит в диапазоне 1–10 мкм. Размеры основной доли агломератов в полученных порошках составляют (5 ± 3) мкм.

3.6 Качественный анализ полученной композиции

Элементный анализ полученных порошков проводился на

рентгенофлуоресцентном спектрометре марки QUANT'X EDXRF ANALYZER. Спектрограмма представлена на рисунке 3.7.

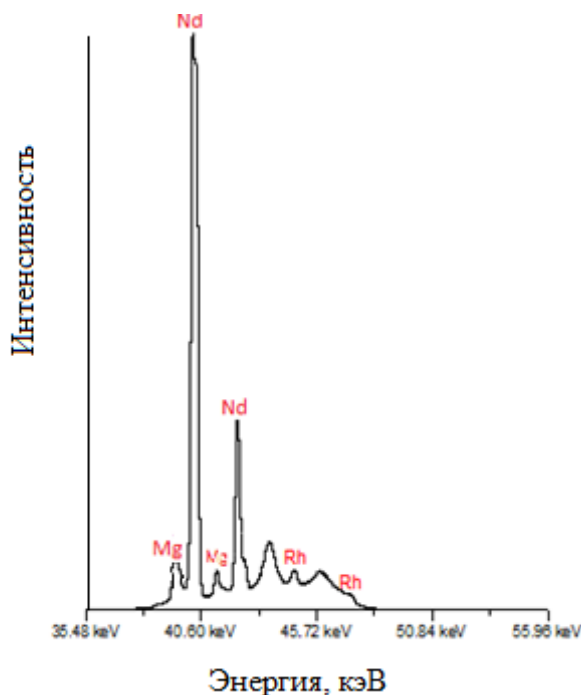


Рисунок 3.7 – Спектрограмма РФЛА

Согласно данным спектрограммы в исследуемой пробе содержатся Nd, Mg, Rh. По результатам анализа также имеется возможность оценить соотношение компонентов в исследуемой пробе по высоте рефлексов. На графике видно, что рефлекс неодиима и магния соотносятся как 19:1

Анализ полученной спектрограммы говорит о том, что выдерживается необходимое соотношение между Nd и Mg, которое было получено на основе моделирования. На графике также видно пики Rh, это связано с тем, что конструкционно рентгеновская трубка выполнена из родия.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные

затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Организация и планирование работ

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

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

Таблица 4.1 – Перечень работ

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

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

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

- аналоговый;
- экспертный.

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

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

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (4.1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6} \quad (4.2)$$

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:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.3)$$

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:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (4.4)$$

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

$T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}} = 52$);

$T_{\text{пд}}$ – праздничные дни ($T_{\text{пд}} = 15$).

В таблице 4.2 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 $K_{\text{д}} = 1,1$.

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 осуществления проекта, представленного в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

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

Таблица 4.3 – Линейный график работы

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

4.3 Расчет накопления готовности проекта

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

Введем обозначения:

– $TP_{\text{общ}}$ – 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)

$$СГ_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.5)$$

Применительно к таблице 4.2 величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{общ}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Расчет TP_i (%) и $СГ_i$ (%) на основе этих данных приведен в таблице 4.4.

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

Этап	TP _i , %	СГ _i , %
Постановка задачи	4,19	4,19
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,19	11,38
Подбор и изучение материалов по тематике	13,17	24,55
Разработка календарного плана	4,19	28,74
Подготовка экспериментальной установки	4,19	32,93
Проведение экспериментов	16,17	49,10
Проведение расчетов	22,16	71,26
Обработка результатов	10,18	81,44
Оформление расчетно-пояснительной записки	10,18	91,62
Оформление графического материала	4,19	95,81
Подведение итогов	4,19	100,00

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;

- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.5 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). 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 4.5.

Таблица 4.5 – 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
Неодима (III) нитрат гексагидрат	9000	2,5 кг.	22500
Магния нитрат гексагидрат	480	2,5 кг.	1200
Нитрат алюминия азотнокислый	263	2,5 кг.	658
Итого			26333

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 26333 \cdot 1,05 = 27649,65$ руб.

4.6 Расчет заработной платы

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

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (4.6)$$

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

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.2. 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:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{доп.зп}} \cdot K_{\text{р}}; \quad (4.7)$$

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

Таблица 4.6 – Затраты на заработную плату

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

4.7 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3; \quad (4.8)$$

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

4.8 Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.9)$$

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.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (4.9)$$

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

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

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (4.10)$$

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 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на электроэнергию технологическую

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

4.9 Расчет амортизационных расходов

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

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (4.11)$$

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:

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

4.10 Расчет прочих расходов

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

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (4.12)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (15225 + 82833,41 + 24850,02 + 732,33 + 2255) \cdot 0,1 = 12589,58.$$

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

Таблица 4.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	27650
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	$C_{\text{ПРОЧ}}$	12589,58
Итого:		150593,02

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 150593,02$ руб.

4.11 Расчет прибыли

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

$$G = C \cdot 0,2; \quad (4.13)$$

$$G = 150593,02 \cdot 0,2 = 30118,6.$$

Расчет НДС

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

$$\text{НДС} = (G + C) \cdot 0,2; \quad (4.14)$$

$$\text{НДС} = (150593,02 + 30118,604) \cdot 0,2 = 36142,32.$$

Цена разработки

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$\Pi_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (4.15)$$

$$\Pi_{\text{НИР}} = 150593,02 + 30118,6 + 36142,32 = 216853,9.$$

4.12 Оценка экономической эффективности проекта

Так как исследование плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в плазме ВЧФ–разряда носит исключительно научный характер, то оценка экономической эффективности представленной работы невозможна.

5 Социальная ответственность

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

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

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

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [6].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и

трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [6].

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 [6].

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

Поставленные задачи требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин [7].

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 [7].

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

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

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

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

- физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты, освещенность, наличие излучения;
- химические: вредные вещества (оксид самария, оксид неодима, 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.

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

5.2.1 Организационные мероприятия

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

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.

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.2.1.

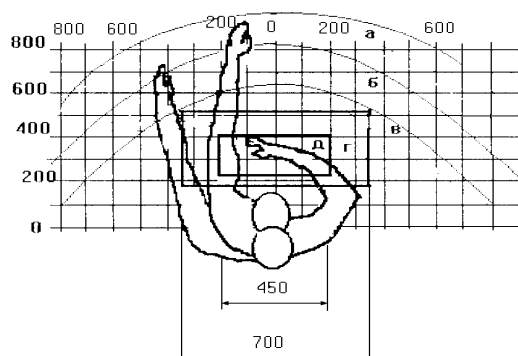


Рисунок 5.2.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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.

5.2.3 Условия безопасности работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [8] и приведены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – 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 [9] уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [10]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [8,9].

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [11], 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 [8] 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 [8] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Химическая безопасность

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и

углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

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

Классы опасности:

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

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

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид самария	4,0	3
2	Оксид неодима	4,0	3
3	Диоксид церия	5,0	3
4	Ацетон	0,35	2
5	Оксид углерода	5	3

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

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

5.4 Электробезопасность

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

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

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

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

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

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

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

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

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

– электрические знаки, которые проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета, как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

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

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

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

– отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или

вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты.

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

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [12]: оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы 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.

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [13], 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. Был проведен расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов урана, включающих материал матрицы и органический компонент, и определены составы ВОНР и их эффективная переработка.
2. Проведено термодинамическое моделирование процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из растворов ВОНР.
3. Проведено экспериментальное исследование процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из модельных растворов ВОНР и получены опытные партии порошков.
4. Исследованы физико-химические свойства полученных порошков.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза из растворов ВОНР оксидных композиций для различных типов дисперсионного ядерного топлива с матрицей в виде сложных оксидов металлов.

Список использованных источников

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо, Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 248 с. + 8 с. цв. вкл.
2. Магний. Эндензон М.А. Изд – во «Металлургия», 1969, 352 с.
3. Алюминий: свойства и физическое металловедение: Справ. Изд. Пер. с англ. /Под ред. Хэтча Дж. Е. – М.: Металлургия, 1989. 422 с.
4. Топливные материалы в ядерной энергетике: учебное пособие / В.И. Бойко, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиванникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186 с.
5. Высокотемпературное ядерное топливо. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1978, 432 с. Авт.: Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И., Меньшикова Т.С.
6. 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
7. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7/
8. Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. – 216 с.
9. Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.
10. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
11. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.
12. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. –Изд. 2-е, доп. И перераб. –М.: Наука, 1972. – 720с.

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