

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Кафедра Техническая физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза гомогенных оксидно-углеродных композиций для ториевого ядерного топлива

УДК 621.039.54:661.88:533.9.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	Сергей Сергеевич Кадочников		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.А. Сечина	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Техническая физика»	И.В. Шаманин	д.ф-м.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТФ ФТИ

« ____ » _____ 2016 г. И.В. Шаманин

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Сергей Сергеевич Кадочников

Тема работы:

Моделирование и исследование процесса плазмохимического синтеза гомогенных оксидно-углеродных композиций для ториевого ядерного топлива	
Утверждена приказом ректора	от 21.01.2016 г. № 538/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14.06.2016г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать процесс получения гомогенных оксидных композиций на основе нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме в виде горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК). Определить оптимальные режимы переработки ВСОК, обеспечивающие энергоэффективность и экологическую безопасность исследуемого процесса получения гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов урана и тория (СНР)
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Обзор и анализ применяемых методов получения оксидных композиций из СНР. 2. Расчет показателей горения ВСОК на основе СНР и определение составов, обеспечивающих их энергоэффективную обработку. 3. Термодинамическое моделирование процесса плазменной обработки СНР в виде горючих ВСОК и определение оптимальных режимов их обработки в воздушной плазме. 4. Экспериментальные исследования и оптимизация режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона. Экспериментальное подтверждение рекомендованных режимов для разрабатываемого процесса плазменной обработки СНР в воздушной плазме. 5. Экономическое обоснование проведения НИР. Выводы по работе. Заключение
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент кафедры «Менеджмент» А.А. Сечина
Социальная ответственность	ассистент кафедры «Прикладная физика» Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.06.2016г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	С.С. Кадочников		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2Д	Сергей Сергеевич Кадочников

Институт	ФТ	Кафедра	ТФ
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 (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план проекта
4. Линейный план-график проекта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Д	С.С Кадочников		16.05.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Сергей Сергеевич Кадочников

Институт	ФТИ	Кафедра	Техническая физика
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, 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 каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	С. С. Кадочников		

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	8
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	9
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	10
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 Способы получения для ядерного топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов	12
1.1 Получение гранулированного топлива в золь-гель-процессе	12
1.2 Получение оксидного ядерного топлива в АУК-процессе	16
1.3 Плазменное получение для ядерного топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов.....	17
2 Моделирование процесса плазменного получения для ториевого топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов урана и тория	21
2.1 Расчёт показателей горения водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов урана и тория	21
2.2 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной переработки водно-солеорганических композиций на основе смесевых нитратных растворов урана и тория	22
2.3 Оценка удельных энергозатрат на процесс плазменной переработки смесевых нитратных растворов урана и тория	24
3 Экспериментальное исследование процесса плазменного получения оксидных композиций на основе нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме	28
3.1 Описание схемы лабораторного плазменного стенда	28
3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ-плазмотрона	30
3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона	32
3.2.2 Влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор и объёмный расход воздуха через ВЧФ-плазмотрон	34
3.2.3 Влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор и объёмный расход воздуха через газопровод после реактора.....	35
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	42
4.1.2 SWOT-анализ.....	42
4.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	43
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	43
4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения НИР	44

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	45
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	47
4.3.1 Расчет материальных затрат	48
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	49
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	51
4.3.4 Накладные расходы	52
4.3.5 Контрагентные расходы.....	52
4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	53
4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки	53
4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	54
4.4 Определение ресурсоэффективности исследования.....	55
5 Социальная ответственность.....	57
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	58
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ.....	60
5.2.1 Организационные мероприятия	60
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.....	60
5.2.3 Условия безопасности работы	63
5.3 Электробезопасность	66
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	69
ВЫВОДЫ	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 86 страница, 20 рисунков, 21 таблица, 18 источников.

Ключевые слова: плазма, высокочастотный факельный разряд, ВЧФ-плазмотрон, реактор, водно-солеорганическая композиция, переработка.

Объектом исследования является процесс плазменной переработки смесевых нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме в виде горючих водно-солеорганических композиций.

Цель работы – исследование и оптимизация процесса плазменного получения оксидных композиций из смесевых нитратных растворов урана и тория в виде горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК).

В процессе исследования проведено математическое и термодинамическое моделирование процесса плазменной переработки смесевых нитратных растворов урана и тория в виде горючих водно-солеорганических композиций в воздушной плазме.

В результате исследования определены оптимальные составы горючих водно-солеорганических композиций и рекомендованы оптимальные режимы для практической реализации исследуемого процесса в воздушной плазме.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной плазменной технологии получения гомогенных оксидных уран-ториевых композиций на основе смесевых нитратных растворов урана и тория.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленного комплексного плазменного получения гомогенных оксидных уран-ториевых композиций на основе смесевых нитратных растворов урана и тория.

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.

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

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

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

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

Низшая теплота сгорания – количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учёта теплоты конденсации водяного пара.

МОКС-топливо – ядерное топливо, в котором применяются ядерные материалы в виде оксидов для изготовления ТВЭлов и ТВС.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ВСОК – водно-солеорганическая композиция.

СНР – смесевой нитратный раствор.

$T_{\text{всп}}$ – температура вспышки.

$T_{\text{восп}}$ – температура воспламенения.

$T_{\text{самовосп}}$ – температура самовоспламенения.

$Q_p^{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания.

$Q_{\text{вз}}$ – массовый расход воздуха.

$T_{\text{ад}}$ – адиабатическая температура горения.

$P_{\text{стр}}$ – мощность плазменной струи.

$T_{\text{стр}}$ – температура плазменной струи.

$\eta_{\text{уст}}$ – коэффициент полезного действия установки.

НТИ – научно-техническое исследование.

ВВЕДЕНИЕ

Получение оксидных композиций из смесевых нитратных растворов (СНР) с применением плазмы обладает многими важными особенностями, выгодно отличающимися от технологии, основанной на механическом смешении компонентов [1,2]. Это возможность получения гомогенного распределения фаз и заданного стехиометрического состава во всем объеме порошка, чистота материала, возможность активно влиять на морфологию частиц и др. Однако, плазменная обработка только СНР требует огромных энергозатрат (до 2-4 МВт·ч/т). Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке СНР в виде водно-солеорганических композиций (ВСОК).

В работе представлены результаты моделирования процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций урана и тория из СНР. В результате проведенных расчетов показателей горения различных по составу модельных ВСОК на основе СНР и этилового спирта (ацетона) определены оптимальные составы композиций, обеспечивающие их энергоэффективную плазменную обработку.

По результатам проведенных термодинамических расчётов процесса плазменной обработки СНР в виде оптимальных по составу ВСОК определены оптимальные режимы их обработки, необходимые для получения в воздушной плазме оксидных композиций «ThO₂-UO₂» в конденсированной фазе. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза гомогенных оксидных композиций для ториевого ядерного топлива.

1 Способы получения для ядерного топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов

1.1 Получение гранулированного топлива в золь-гель-процессе

Для получения микросферического ядерного топлива классическим золь-гель-процессом использовали экстракционную и ионообменную денитрацию растворов нитратов уранила и плутония, пептизацию низкопрокаленных оксидов плутония [4].

Процесс гелеобразования осуществляли путем капельного диспергирования концентрированных низконитратных золь в дегидратирующий растворитель. Если использовать золи с высоким содержанием нитратов, то в дегидратирующий растворитель нужно добавлять экстрагент, который способен выводить нитратные ионы из микросферы. Выведение нитратного аниона, стабилизирующего золь, из микросферы способствует образованию геля.

Затем гель-сферы сушат. За счет стадии сушки происходит усадка микросферы и образование новых связей – глобулокуагуляционных контактов, которые приводят к упрочнению структуры геля. Дальнейшее углубление сушки может привести к образованию кристаллизационных контактов, приводящих в определенных условиях к формированию жесткого, прочного, пористого каркаса. Затем проводят стадии прокаливания, восстановления и спекания, в результате которых получают плотные, 96-98% от теоретической плотности или пористые, 85-90 % от теоретической плотности, микросферы для различных видов ТВЭЛОВ.

Позже были предложены более короткие технологические схемы золь-гель-процесса, за счет получения золь и гелей в едином непрерывном процессе, протекающем в объеме капли раствора. Эти усовершенствованные методы можно условно разделить на два класса:

- внешнего гелеобразования;

- внутреннего гелеобразования.

В методе внешнего гелеобразования подвод реагента, который способствует гидролизу, осуществляется из внешнего раствора через границу раздела фаз между каплей раствора, содержащего соединение делящегося элемента и внешней дисперсионной средой. Примером является диффузия аммиака из внешнего раствора внутрь капли водного раствора нитрата уранила.

Для сохранения формы сферы гранулы при формировании геля из золя, за счет протекания реакции гидролиза и образования твердого продукта, в исходный раствор вводят специальные водорастворимые загустители. Кроме того, вводят вещества, модифицирующие поверхность глобул, например, формамид, изобутанол, тетрагидрофурфуриловый спирт, карбамид, соли аммония и др. В методе внутреннего гелеобразования процесс гидролиза и последующего образования геля осуществляют за счет введенных в исходный раствор солей радиоактивных металлов веществ, выделяющих аммиак при нагревании, так называемых «доноров» аммиака. К ним относятся карбамид и гексаметилентетрамин (ГМТА). Введение «доноров» аммиака осуществляют путем растворения карбамида или ГМТА в нитратном растворе актинидов при охлаждении в интервале температур от +10 °С до -10 °С, или путем смешения двух растворов, которые содержат исходные компоненты.

На рис. 1.1 представлена принципиальная технологическая схема изготовления микросферического топлива методом внешнего гелеобразования.

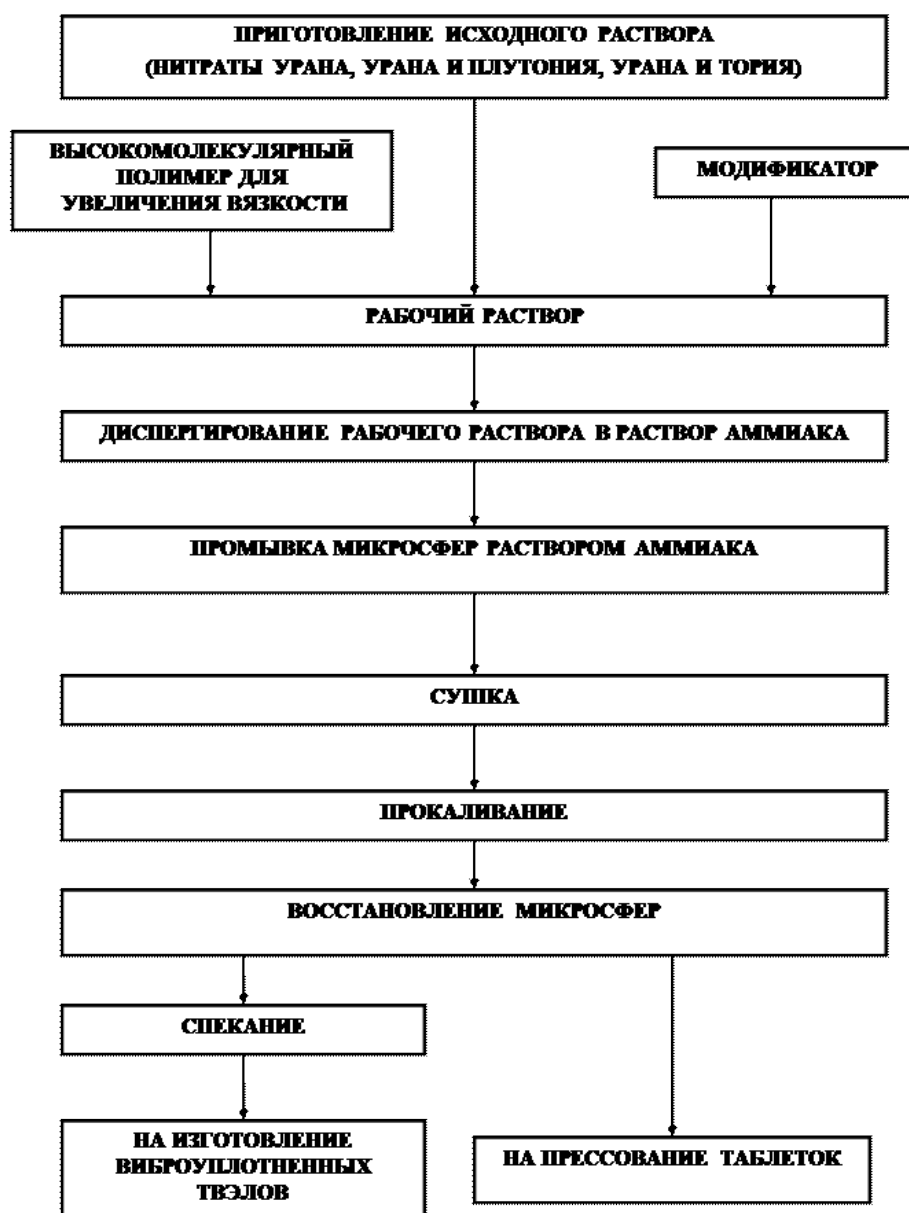


Рисунок 1.1 – Принципиальная технологическая схема получения гранулированного топлива методом внешнего гелеобразования.

Метод внутреннего гелеобразования разрабатывается во многих странах, как в отношении химии процесса, так и в отношении аппаратного оформления процесса. Этот метод позволяет получать гранулы высокой степени сферичности и текучести в широком интервале изменения плотностей, что позволяет использовать их как для изготовления ТВЭЛОВ методом виброуплотнения, так и в качестве материала для прессования таблеток.

В соответствии с представленной технологической схемой на первой стадии в исходные нитратные растворы актинидов вводят карбамид или ГМТА

в мольном отношении к урану и плутонию соответственно 2 и 1,5. Для того, чтобы избежать местного пересыщения раствора, приводящего к снижению устойчивости раствора, при растворении кристаллических продуктов, разработан способ, заключающийся в смешении их 3 М растворов. Температуру на стадии введения карбамида или ГМТА поддерживают в интервале от +10°C до -10°C.

Охлажденный до этой температуры рабочий раствор капельно диспергируют в нагретую до 85°C дисперсионную среду, которая не смешивается с водой. В качестве дисперсионной среды нашли практическое применение вазелиновое и силиконовое масла, трихлорэтилен и тетрахлорэтилен. В процессе нагревания микросфер происходит гидролиз соли металла и образование геля в её объеме.

Размер микросферы регулируется диаметром капилляра и скоростью истечения из него раствора. Для срыва капли с капилляра широко используется наложение вибрации. Это приводит к улучшению монодисперсности капель и повышает производительность процесса диспергирования. Изменяя эти три параметра можно в широком диапазоне изменять размер микросфер.

Для получения качественных микросфер необходимо строго соблюдать скорость прогрева микросферы и скорость гидролиза актинида. Это достигается строгим выдерживанием мольного соотношения «донора» аммиака и актинида, а также изначальной температурой дисперсионной среды. При ее высокой температуре скорость прогрева капли меньше скорости гидролиза.

На поверхности капли образуется плотный мелкодисперсный слой гидролизованного урана или плутония, который после окончания гелеобразования создает значительные напряжения, что приводит к растрескиванию гранул на стадии сушки и прокаливания.

На рис. 1.2 представлена принципиальная технологическая схема получения гранулированного топлива методом внутреннего гелеобразования.

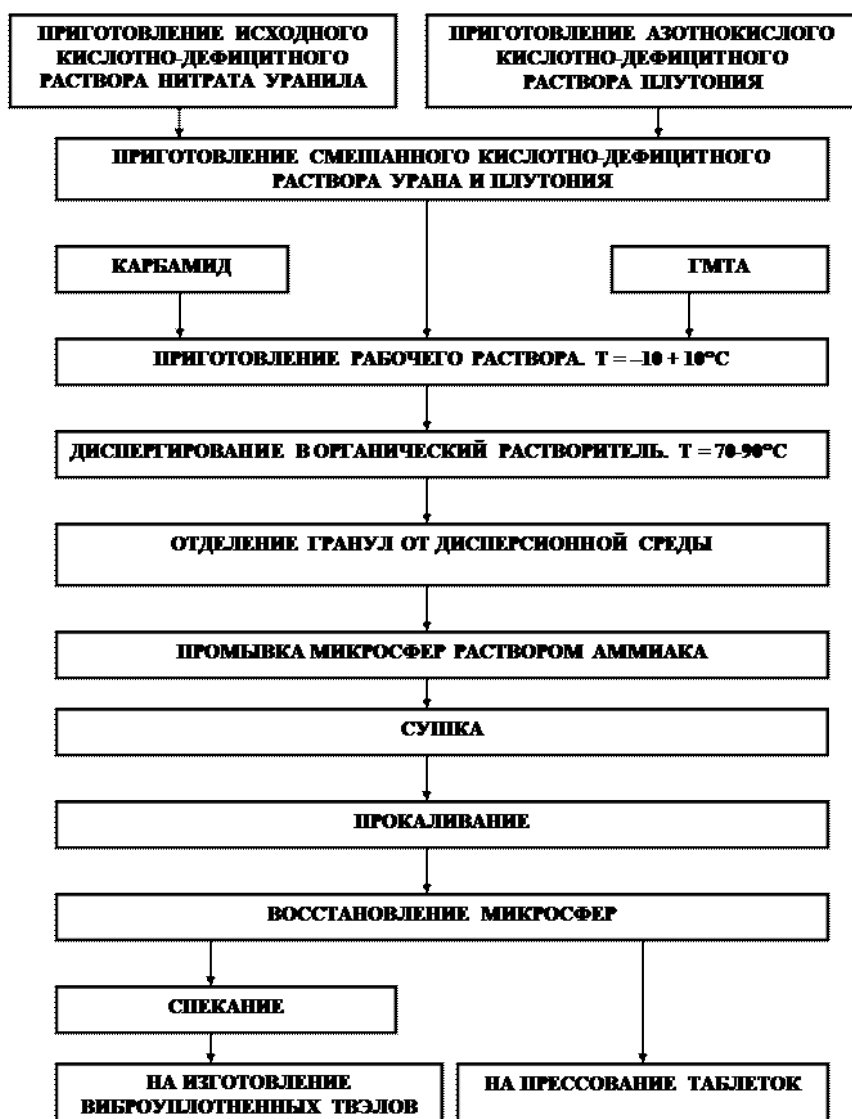


Рисунок 1.2. – Принципиальная технологическая схема получения гранулированного топлива методом внутреннего гелеобразования.

Однако применение золь-гель-процесса для изготовления гранулированного топлива имеет ряд очевидных недостатков: многостадийность и продолжительность процесса, его низкая производительность, большие затраты на химические реагенты.

1.2 Получение оксидного ядерного топлива в АУК-процессе

Для получения оксидного уранового или смешанного оксидного уран-плутониевого топлива разработана технология осаждения

аммонийуранилтрикарбоната или совместное соосаждение аммонийуранилплутонилтрикарбонатов (АУК-процесс) [5].

АУК-процесс обладает высокими аффинажными возможностями. Порошки диоксида урана или смешанных оксидов урана и плутония карбонатного происхождения имеют высокую текучесть, что позволяет прессовать из них таблетки в присутствии пластификатора без предварительной грануляции. Порошки более стабильны по своим физико-химическим свойствам.

Вместе с тем и АУК-процесс имеет недостатки. Для совместного соосаждения аммонийтрикарбонатов урана и плутония необходима операция упаривания исходного раствора до плава нитратов металлов с целью полного окисления плутония до шестивалентного состояния. В связи с тем, что при хранении раствора происходит самовосстановление плутония (VI) до плутония (IV), непосредственно перед осаждением необходимо проводить доокисление плутония путем кипячения раствора. При получении смешанного топлива методом карбонатного осаждения не всегда обеспечивается получение сердечников с заданным содержанием плутония, в связи с чем необходима корректировка обогащения.

1.3 Плазменное получение для ядерного топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов

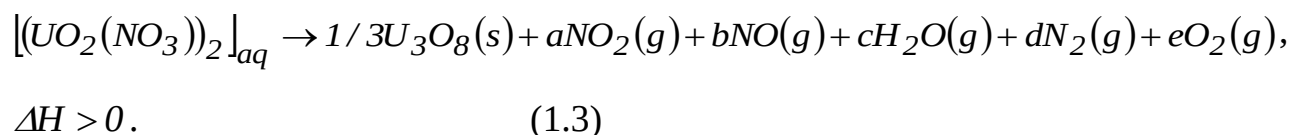
Брутто-схема разложения нитратных растворов уранила при взаимодействии с плазменным теплоносителем на оксиды урана и азотную кислоту показана на рис. 1.3 [6–9]. В соответствии с этой схемой в плазменном реакторе, представляющем собой изделие цилиндрической, конической или более сложной формы, снабженное водяным или газовым поверхностным охлаждением, встречаются два потока: поток предварительно

дезинтегрированного (распыленного на капли) раствора и поток плазмы, химически совместимой с этим раствором.



Рисунок 1.3 – Брутто-схема плазменного процесса разложения нитратных растворов урана на оксиды урана и азотную кислоту

Оба потока равномерно перемешиваются в реакторе, при этом каждая капля раствора нагревается до кипения, из нее испаряется растворитель (в данном случае – вода) до образования солевого остатка, последний быстро нагревается до высокой температуры; одновременно с нагревом протекает разложение до образования оксида находящегося в растворе металла и газовой фазы, содержащей оксиды азота, водяной пар, азот и кислород. Сам процесс разложения раствора применительно к урану в общем виде схематически описывается брутто-уравнением



Технологическая схема имеет следующие основные аппаратные элементы:

1. Источник электропитания плазмотрона (выпрямитель с системой автоматического регулирования тока, высокочастотный или сверхвысокочастотный генератор и т.п.).
2. Плазмотрон, в котором поток химически совместимого с раствором газа (в случае разложения нитратов – воздух или его компоненты: азот, кислород, в зависимости от валентности выделяемого металла) превращается в поток низкотемпературной плазмы. При использовании в качестве плазменного теплоносителя воздуха или азота можно, в некоторых случаях, совместить процесс разложения нитратного раствора на оксиды с процессом расширенной регенерации азотной кислоты.
3. Плазменный реактор, где перемешиваются потоки плазмы и раствора и происходит разложение раствора по уравнению (1.3). Как уже было сказано, плазменный реактор – это охлаждаемое изделие цилиндрической или конической формы, снабженное, как правило, несколькими плазматронами и одним или несколькими дезинтеграторами раствора. При использовании нескольких плазматронов и дезинтеграторов очень интенсифицируются процесс смешения и процессы тепло- и массообмена при взаимодействии капель раствора с высокотемпературной средой.
4. Сепаратор, в котором проводится разделение дисперсной и газовой фаз; после сепаратора возникают два материальных потока: поток дисперсного оксидного материала, являющегося целевым продуктом, и поток газовой фазы, содержащей, как видно из уравнения (1.3), оксиды азота, водяной пар, азот и кислород.
5. Конденсатор-абсорбер. В конденсаторе производится принудительная конденсация водяного пара и частичная абсорбция оксидов азота, а в абсорбере – рекомбинация и поглощение азотной кислоты. В результате из установки выходит поток побочного продукта – раствора азотной кислоты. В идеальном случае из установки должен выходить газовый выхлоп, содержащий азот и кислород, однако фактически требуется доочистка выхлопа от оксидов азота до санитарных норм.

Химический состав оксидного материала, его физические свойства, степень регенерации азотной кислоты и прочие параметры определяются в первую очередь режимом обработки раствора в плазме, а во вторую — режимом разделения дисперсной и газовой фаз. Процесс разложения капель нитатного раствора уранила по уравнению (1.3) аппроксимируется брутто-схемой на рис. 1.4, где показаны основные стадии превращения капли раствора в конечный продукт.

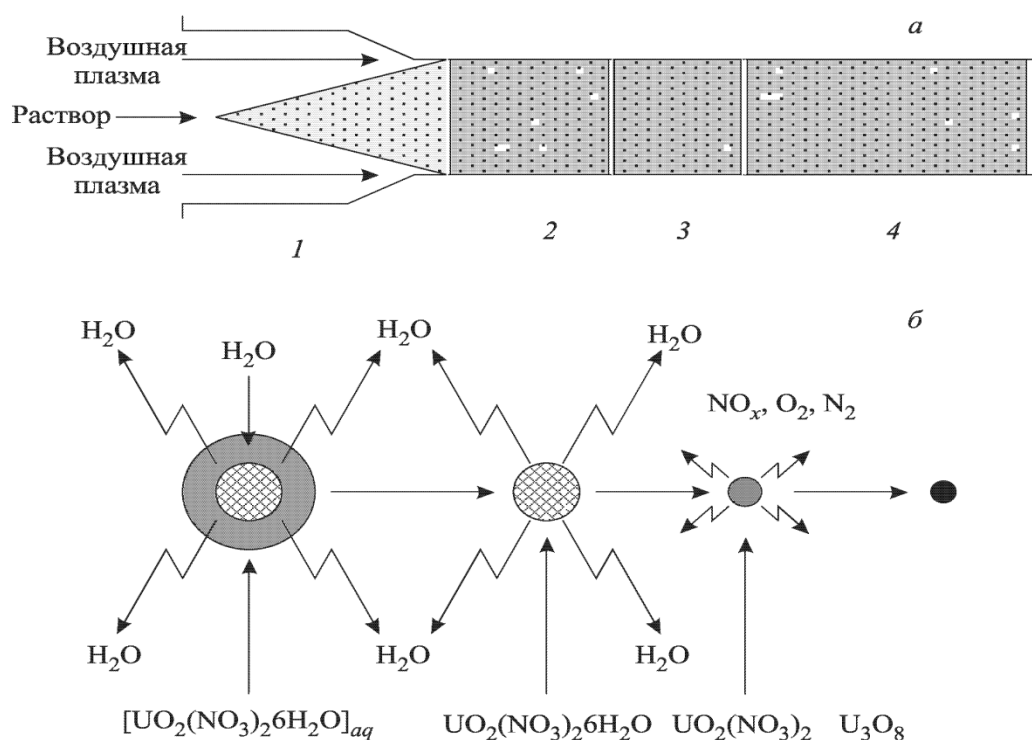


Рисунок 1.4 – Схема смешения потока дезинтегрированного нитратного раствора уранила с потоком воздушной плазмы (а) и схема разложения капли раствора до оксида урана (б): 1 – нагревание капли раствора до температуры кипения; 2 – испарение растворителя, образование ядра конденсированного гидратированного нитратного остатка $[UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$; 3 – нагревание и разложение солевого остатка $[UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$, образование U_3O_8 и газовой фазы; 4 – нагревание оксида урана.

2 Моделирование процесса плазменного получения для ториевого топлива гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов урана и тория

2.1 Расчёт показателей горения водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов урана и тория

Жидкими горючими композициями считают композиции с низшей теплотой сгорания более 8,4 МДж/кг [10]. Теплоту сгорания горючей композиции следует подсчитывать как теплоту сгорания влажного топлива Q_H^p (МДж/кг):

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

где Q_H^c – низшая теплота сгорания сухих горючих компонентов композиции, МДж/кг;

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

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0 °C, МДж/кг.

Жидкие композиции становятся горючими при различных значениях теплоты сгорания в зависимости от теплоты сгорания горючих компонентов и принадлежности их к тем или иным классам соединений.

Рекомендация относить к горючим жидкие горючие композиции при $Q_H^p \geq 8,4$ МДж/кг является завышенной для многих производственных композиций, содержащих горючие компоненты с низкими значениями Q_H^c , но с высокой жаропроизводительностью.

Более объективным показателем горючести жидких горючих композиций является их адиабатическая температура горения:

$$T_{a.d.} = \frac{Q_H^p + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \vartheta_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{\vartheta \cdot c}, \quad (2.2)$$

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

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

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

c_{W} и c_{A} – средняя массовая теплоемкость соответственно водяных паров и негорючих минеральных веществ композиции при $T_{\text{ж}}$, $\text{МДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

Как показали опыты по сжиганию жидких горючих композиций некоторых органических веществ, достаточное и полное их сгорание в камерах с небольшими потерями тепла в окружающую среду наблюдается при $T_{\text{ад}} \geq 1200^{\circ}\text{C}$, причем эта температура необходима и достаточна для самостоятельного горения таких композиций [10].

В данной работе исследуется горение модельных водно-солеорганических композиций, включающих уранила нитрат $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и нитрат тория (IV) $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, воду, ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) или этилметилкетон ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$). Данные компоненты выбраны из-за их высокой взаимной растворимости.

По приведенной выше методике были проведены расчеты теплоты сгорания влажного топлива Q_{H}^{p} ($\text{МДж}/\text{кг}$), адиабатической температуры горения $T_{\text{а.д.}}$ ($^{\circ}\text{C}$) для различных водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов урана и тория.

2.2 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной переработки водно-солеорганических композиций на основе смесевых нитратных растворов урана и тория

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса

проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной переработки для ранее полученных оптимальных водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов урана и тория. Для расчётов использовалась лицензионная программа TERRA.

Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300÷5000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10%÷90%). При этом для каждой водно-солеорганической композиции подбиралась такая минимальная массовая доля воздуха, которая обеспечивала полное окисление органического растворителя (ацетон, этилметилкетон).

На рисунке 2.2 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки оптимальной водно-солеорганической композиции ВСОК-1 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 75 %.

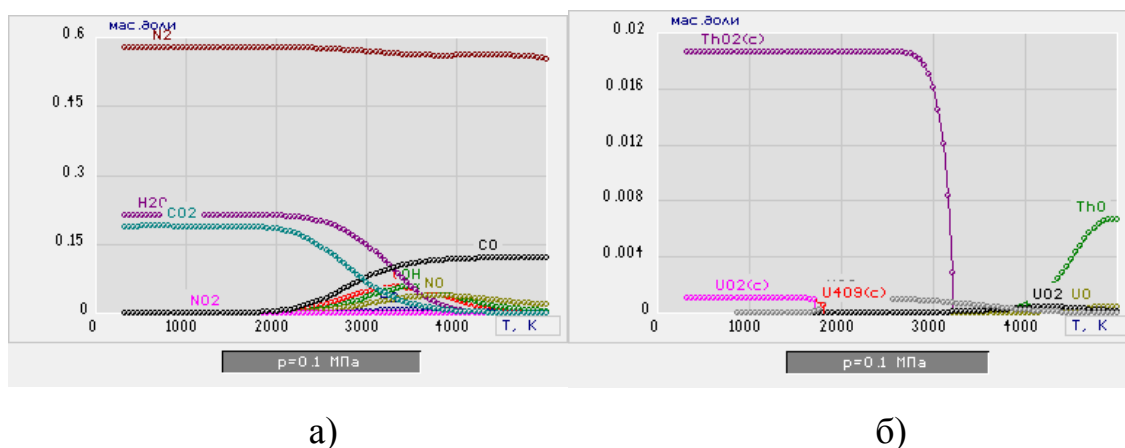


Рис. 2.2 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки в воздушной плазме водно-солеорганической композиции ВСОК-1: (75 % Воздух : 25 % ВСОК-1)

Из анализа продуктов (рисунок 2.2) следует, что при массовой доле воздуха 75 % и температурах до 1500 К образуются в газовой фазе, в основном, N₂, CO₂ и H₂O, а в конденсированной фазе – двуокиси тория и урана.

На рисунке 2.3 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки оптимальной водно-солеорганической композиции ВСОК-2 при

массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 76%.

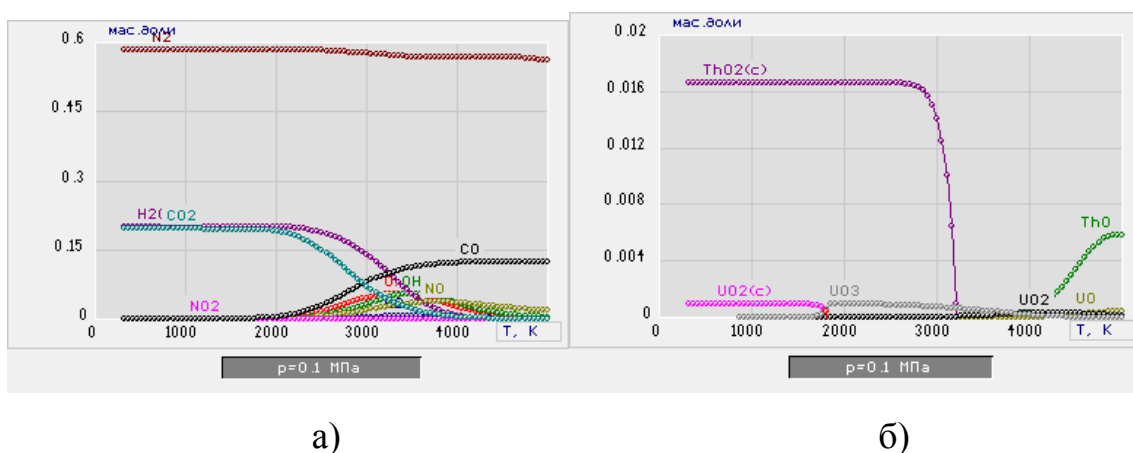


Рис. 2.3 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки в воздушной плазме водно-солеорганической композиции ВСОК-2 (76 % Воздух : 24 % ВСОК-2)

Таким образом, проведённые термодинамические расчеты для оптимальных по составу водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов урана и тория, этилметилкетона (ВСОК-1) и ацетона (ВСОК-2) показали, что процесс плазменной переработки смесевых нитратных растворов протекает в оптимальном режиме и в широком диапазоне рабочих температур с получением требуемого целевого продукта.

2.3 Оценка удельных энергозатрат на процесс плазменной переработки смесевых нитратных растворов урана и тория

На рисунке 2.4 представлены зависимости удельных энергозатрат от рабочей температуры плазменной переработки оптимальной водно-солеорганической композиции ВСОК-1и СНР-1 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 75% и 83%, соответственно.

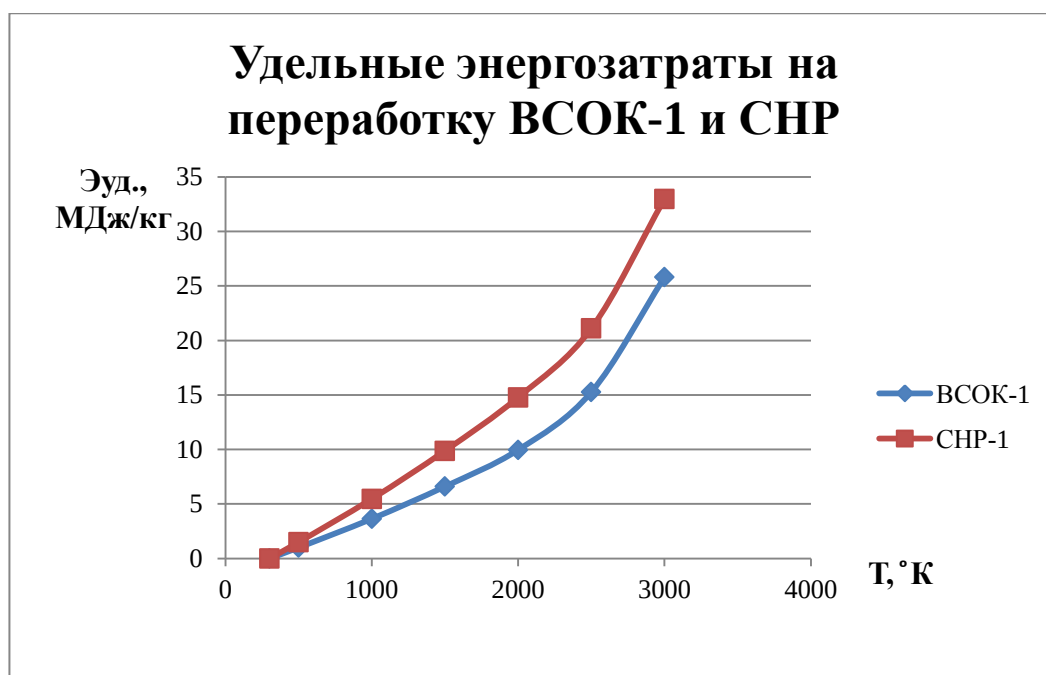


Рис. 2.4 – Зависимости удельных энергозатрат от рабочей температуры плазменной переработки в воздушной плазме водно-солеорганической композиции ВСОК-1 и СНР-1 (75 % Воздух : 25 % ВСОК-1, 83 % Воздух : 17 % СНР-1)

Таким образом, исходя из полученных зависимостей для оптимальных по составу водно-солеорганической композиции на основе нитратных растворов урана и тория, ацетона (ВСОК-1), можно сделать вывод, что удельные энергозатраты для получения требуемого целевого продукта при рабочей температуре 1500 К заметно ниже при добавлении к СНР-1 горючего компонента (этилметилкетона) и составляют:

- для ВСОК-1 – 6,6 МДж/кг;
- для СНР-1 – 9,88 МДж/кг;

На рисунке 2.4 представлены зависимости удельных энергозатрат от рабочей температуры плазменной переработки оптимальной водно-солеорганической композиции ВСОК-1и СНР-1 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 76% и 85%, соответственно.

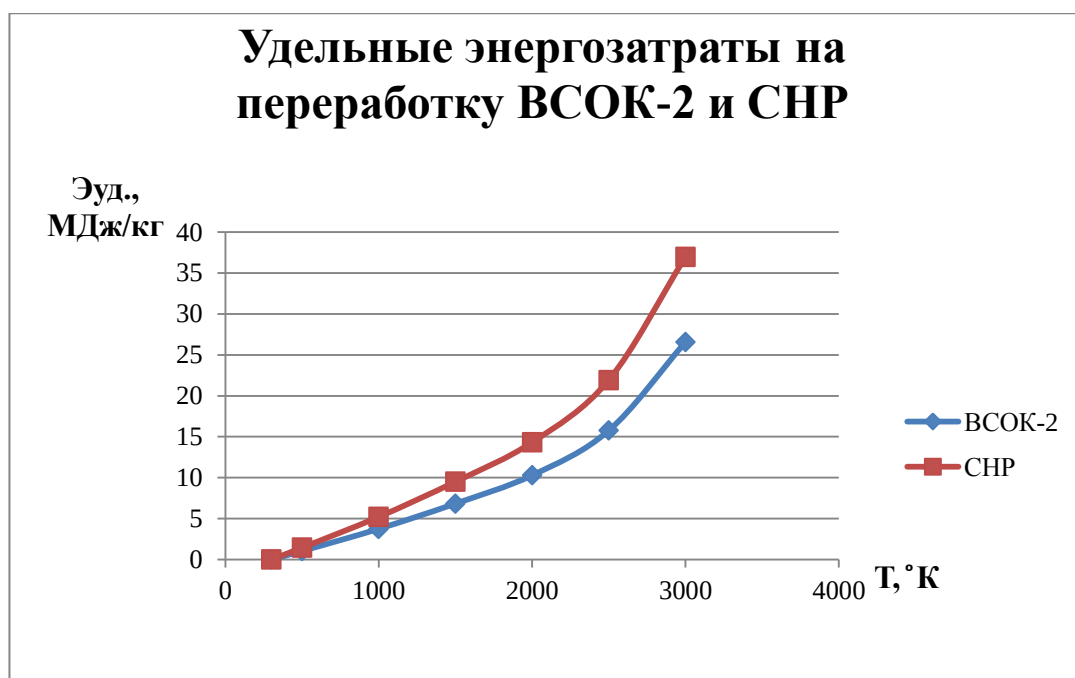


Рис. 2.4 – Зависимости удельных энергозатрат от рабочей температуры плазменной переработки в воздушной плазме водно-солеорганической композиции ВСОК-2 и СНР-2 (76 % Воздух : 24 % ВСОК-2, 85 % Воздух : 15 % СНР-2)

Таким образом, исходя из полученных зависимостей для оптимальных по составу водно-солеорганической композиции на основе нитратных растворов урана и тория, ацетона (ВСОК-2), можно сделать вывод, что удельные энергозатраты для получения требуемого целевого продукта при рабочей температуре 1500 К заметно ниже при добавлении к СНР-2 горючего компонента (ацетона) и составляют:

- для ВСОК-1 – 6,83 МДж/кг;
- для СНР-1 – 9,51 МДж/кг;

С учётом полученных результатов может быть рекомендовано для практической реализации процесса плазменной переработки смесевых нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме следующие оптимальные режимы:

- ВСОК-1 (0,2 % $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 4,2 % $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,1 % HNO_3

: 12,9 % H_2O : 7,8 % $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$).

- массовое отношение фаз (25 % ВСОК-1 : 75 % Воздух);
- рабочая температура (1500 ± 100) К.
- ВСОК-2 (0,2 % $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 3,7 % $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,04%

HNO_3 : 11,4 % H_2O : 8,6 % $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$).

- массовое отношение фаз (26 % ВСОК-1 : 74 % Воздух);
- рабочая температура (1500 ± 100) К.

3 Экспериментальное исследование процесса плазменного получения оксидных композиций на основе нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме

3.1 Описание схемы лабораторного плазменного стенда

Лабораторный плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона предназначен для исследования процессов плазменного горения различных горючих композиций в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда (рис. 3.1).

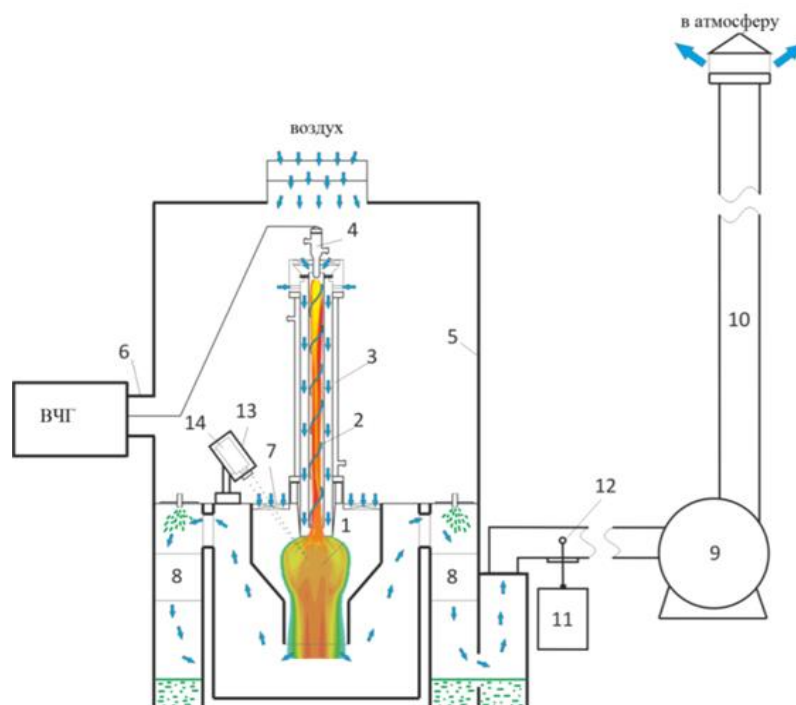


Рисунок 3.1. Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

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

Плазменный стенд включает высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 (колебательная мощность до 60 кВт, рабочая частота 13,56 МГц), от которого через коаксиальный вывод 6 высокочастотная энергия подается на водоохлаждаемый медный электрод 4 ВЧФ-плазмотрона 3, предназначенного для генерирования воздушных плазменных струй со среднемассовой температурой до 4000 К. Разрядная камера ВЧФ-плазмотрона изготовлена из кварцевой трубки диаметром 50 мм и длиной 860 мм [11].

Высоконапорный вытяжной вентилятор 9 обеспечивает прокачку плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон 3, а также прокачку воздуха через реактор.

Узел ввода плазмообразующего газа, установленный на входе в ВЧФ-плазмотрон, снабжен импеллером для закрутки поступающего плазмообразующего газа (воздуха) в разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона и имеет постоянную входную площадь $S_{\text{вх}} = 25 \text{ см}^2$.

Импеллер реактора 7, установленный на входе в реактор, предназначен для закрутки поступающего в реактор воздуха и позволяет шибером регулировать входную площадь импеллера в пределах $S_{\text{им}} = 0 \div 1650 \text{ см}^2$.

Газоанализатор 11 с пробоотборником 12, предназначен для определения содержания в отходящих после реактора газах загрязняющих веществ (CO , NO , NO_2 , SO_2 , C_xH_y) и измерений с помощью трубки Пито скорости воздушного потока после реактора в газоходе диаметром 250 мм ($S_{\text{гхд}} = 500 \text{ см}^2$), а также измерений скорости плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон.

Пирометр 14 предназначен для бесконтактного измерения температуры плазменного горения в реакторе горючих диспергированных водно-солеорганических композиций по линии поглощения образующегося диоксида углерода.

3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного реактора на базе ВЧФ-плазмотрона

На первом этапе была проведена оптимизация режимов работы системы «ВЧГ – ВЧФ-плазмотрон». Для этого были определены потери тепловой мощности на водоохлаждаемых теплонапряженных элементах генератора (анод генераторной лампы и сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазмотрона (электрод и корпус). При расчете технологических параметров работы установки использовались следующие соотношения.

Мощность, потребляемая ВЧГ от промышленной сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

где I_a – ток анода А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Мощность, выделяемая на аноде генераторной лампы:

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

где m_a – массовый расход воды, кг/с;

Δt_a – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.3)$$

где m_c – массовый расход воды, кг/с;

Δt_c – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.4)$$

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

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

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

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

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

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{\text{э}}), \text{ кВт} \quad (3.6)$$

Мощность плазменной струи есть разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, выделяющейся на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_{пг}}, \text{ кДж/кг}, \quad (3.8)$$

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

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

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta = \left(\frac{P_{стр}}{P_{разр}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.9)$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta = \left(\frac{P_{\text{стр}}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (3.10)$$

Среднемассовую температуру плазменной струи определяем с помощью графической зависимости энтальпии воздуха от его температуры, представленной на рисунке 3.2.

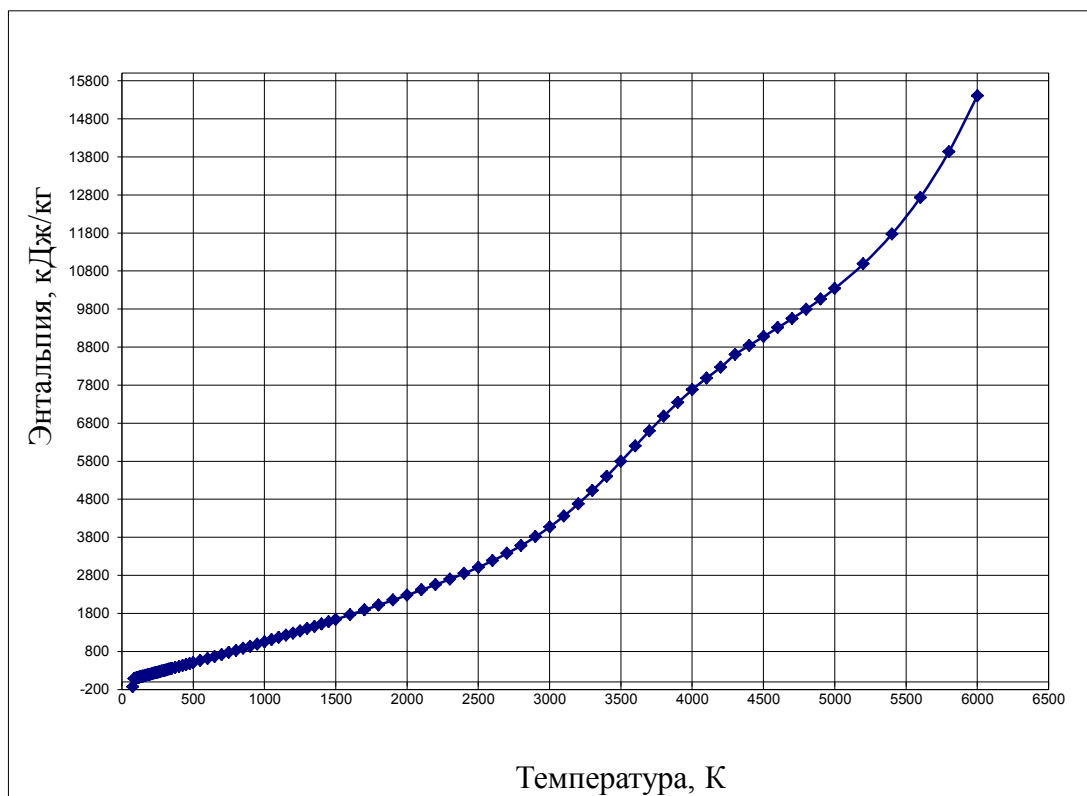


Рис. 3.2 – Зависимость энтальпии воздуха от его температуры.

3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Расход воздуха (массовый, объёмный) через воздуховод определяется с помощью трубки Пито (рис. 3.3)

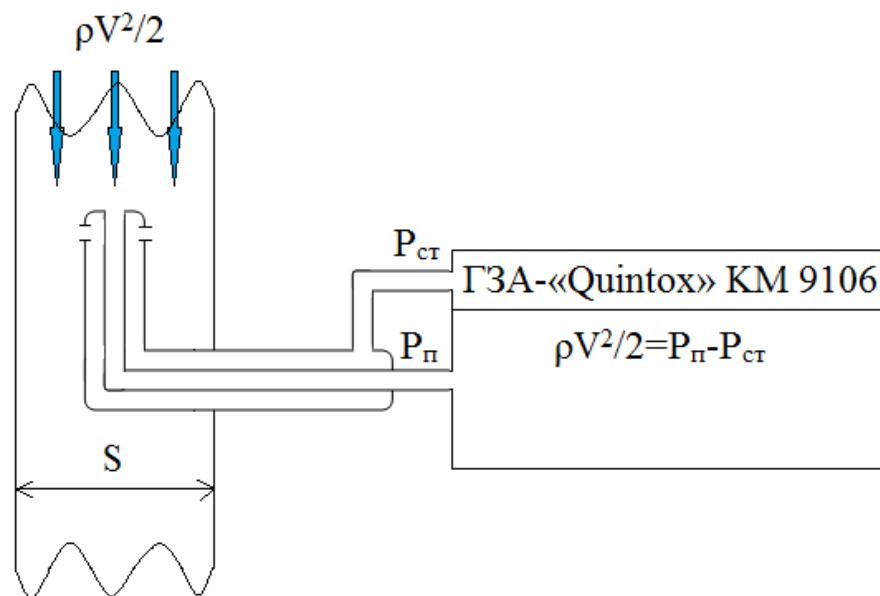


Рис. 3.3 – Схема определения расхода воздуха в воздуховоде с помощью трубки Пито.

Трубка Пито измеряет напор, создаваемый набегающим потоком воздуха по следующей формуле:

$$f = (\rho V^2)/2 = P_{п} - P_{ст}, \quad (3.11)$$

где $P_{п}$ – полное давление;

$P_{ст}$ – статическое давление;

ρ – плотность воздуха при температуре T ;

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

Из формулы 3.11 определяется скорость набегающего потока:

$$V = [2 \cdot (P_{п} - P_{ст}) / \rho]^{0,5}. \quad (3.12)$$

Далее рассчитывается объёмный (или массовый) расход воздуха через воздуховод по формуле:

$$Q = S \cdot V, \quad (3.13)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

3.2.2 Влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор и объёмный расход воздуха через ВЧФ-плазмотрон

Измерения динамического напора набегающего потока скорости плазмообразующего газа в процессе опытов производились при различной входной площади импеллера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора. Результаты измерений представлены в таблице А.1 (Приложение А).

Для проведения анализа полученных данных построили зависимости динамического напора от входной площади импеллера реактора и объёмного расхода воздуха от входной площади импеллера реактора, которые представлены на рис. 3.4 и на рис. 3.5.

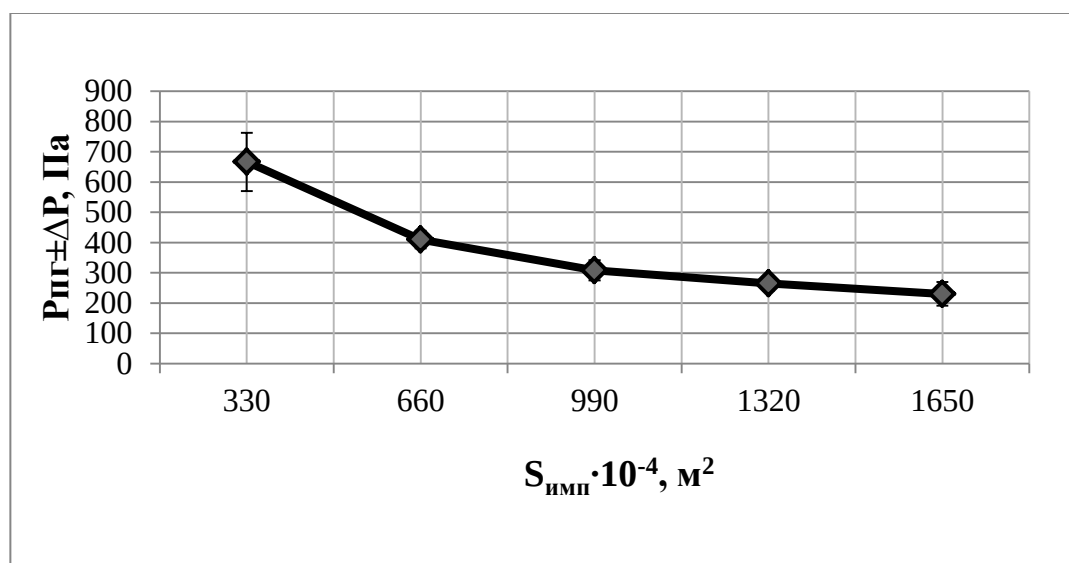


Рис. 3.4 – Зависимость динамического напора от входной площади импеллера реактора через ВЧФ-плазмотрон

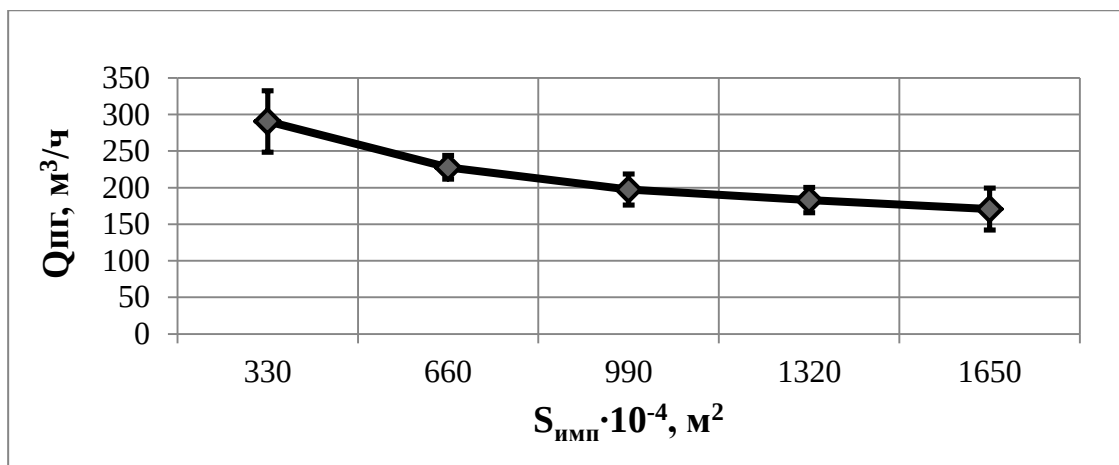


Рис. 3.5 – Зависимость объёмного расхода воздуха от входной площади импеллера ректора через ВЧФ-плазмотрон

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к заметному снижению динамического напора и объёмного расхода воздуха через ВЧФ-плазмотрон. Провели математическую обработку полученных данных: относительная погрешность составила не более 17%.

3.2.3 Влияние входной площади импеллера реактора на динамический напор и объёмный расход воздуха через газоход после реактора

Измерения динамического напора набегающего потока скорости плазмообразующего газа в процессе опытов производились при различной входной площади импеллера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора. Результаты измерений представлены в таблицах А.2 и А.3 (Приложение А).

Для проведения анализа полученных данных построили зависимости динамического напора от входной площади импеллера реактора и объёмного

расхода воздуха от входной площади импеллера реактора, которые представлены на рисунках 3.6 и 3.7.

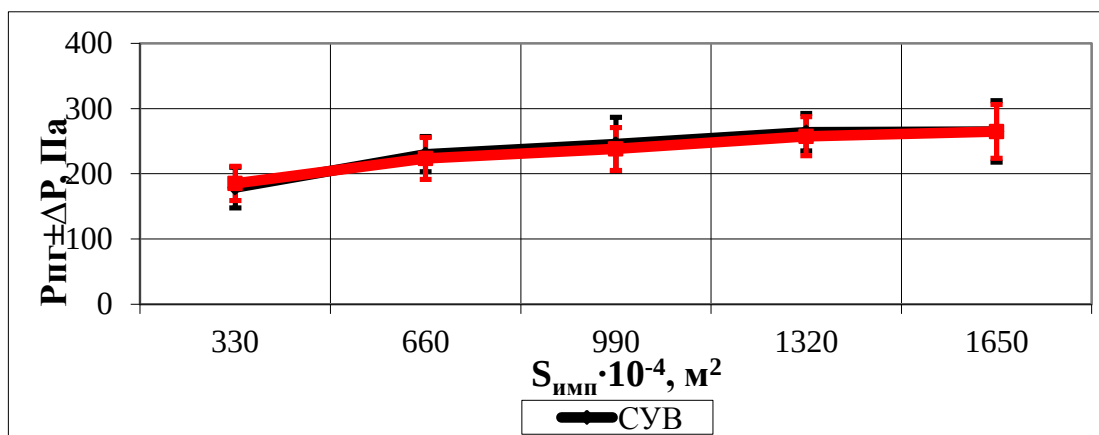


Рис. 3.6 – Зависимость динамического напора от входной площади импеллера реактора через газоход после реактора

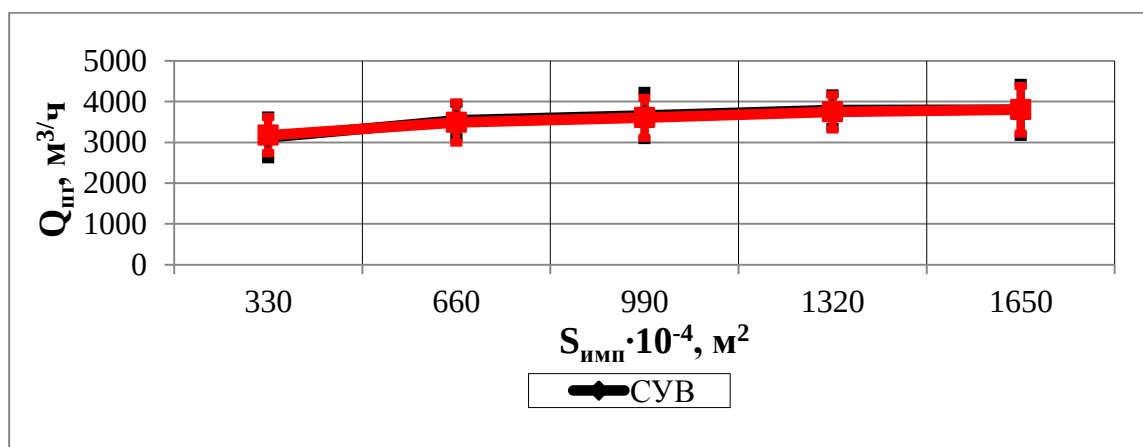


Рис. 3.7 – Зависимость объёмного расхода воздуха от входной площади импеллера реактора через газоход после реактора

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора приводит к заметному повышению динамического напора и объёмного расхода воздуха через газоход после реактора. Провели математическую обработку полученных данных: относительная погрешность составила не более 17%.

На рисунке 3.8 показано влияние входной площади импеллера реактора среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой

ВЧФ-плазмотроном (при анодных токах генератора $I_a=3,0$ А; 3,5 А; 4,0 А и ;4,5 А).

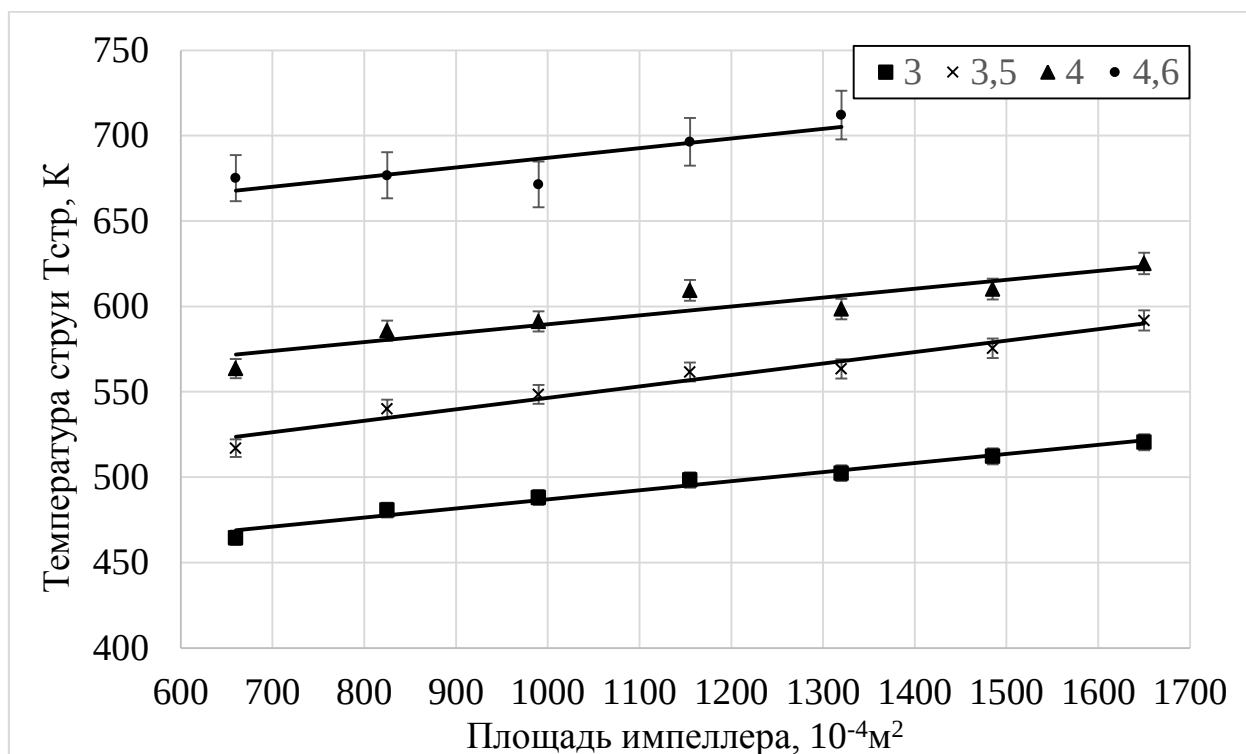


Рис. 3.8 – Влияние входной площади импеллера реактора на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном: ($I_a=3,0$ А; 3,5 А; 4,0 А и ;4,5 А)

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

3.2.4 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки СНР в виде ВСОК

Для подтверждения возможности прямого плазмохимического синтеза высокодисперсных порошков гомогенных оксидных композиций тория и урана в воздушно-плазменном потоке были проведены экспериментальные исследования на модельных СНР, для приготовления которых были использованы цирконилнитрат $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (вместо уранилнитрата) и

нитрат иттрия $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (вместо нитрата тория). Это объясняется тем, что данные соединения в растворах формируют сложные ионы, сходные по свойствам. Нитрат иттрия выступает в роли заменителя тория, т.к. принадлежит к редкоземельной группе и имеет схожие свойства. В качестве горючего компонента ВСОК был использован ацетон. Общий объем модельной ВСОК составил 5 л.

«Розжиг» реактора осуществлялся воздушной плазменной струей ($T_{стр} \approx 565^\circ K$), генерируемой ВЧФ-плазмотроном, на горючем компоненте – ацетоне, при анодном токе $I=3,5\text{ A}$ и входной площади импеллера реактора $S_{имп}=1320\text{ см}^2$ (рис.).



Рисунок 3.9 – «Розжига» реактора плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

По достижению необходимой температуры в реакторе (более $1000^\circ C$) вместо ацетона начиналась подача модельной ВСОК.

Полученные в реакторе высокодисперсные продукты плазменной переработки модельной ВСОК направлялись в узел «мокрой» очистки (УМО) плазменного стенда, где под действием оборотной технологической воды (объем 155 л) происходило резкое охлаждение (закалка) и отделение этих продуктов с образованием водной суспензии, а очищенные отходящие газы

забирались вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу.

Измерение температуры в реакторе проводилось бесконтактным способом с применением высокоточного цифрового пирометра IPE 140/145 по линии поглощения диоксида углерода. При плазменном горении ВСОК-2 в реакторе тепловая мощность достигла ≈ 180 кВт при потребляемой электрической мощности не более 35 кВт (почти в пять раз меньше).

Полученные в реакторе высокодисперсные продукты плазменной переработки модельной ВСОК направлялись в узел «мокрой» очистки (УМО) плазменного стенда, где под действием оборотной технологической воды (объем 155 л) происходило резкое охлаждение (закалка) и отделение этих продуктов с образованием водной суспензии, а очищенные отходящие газы забирались вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу.

На рисунке 3.10 представлена микрофотография полученных порошков, произведенные при помощи микроскопа Motic BA 310.

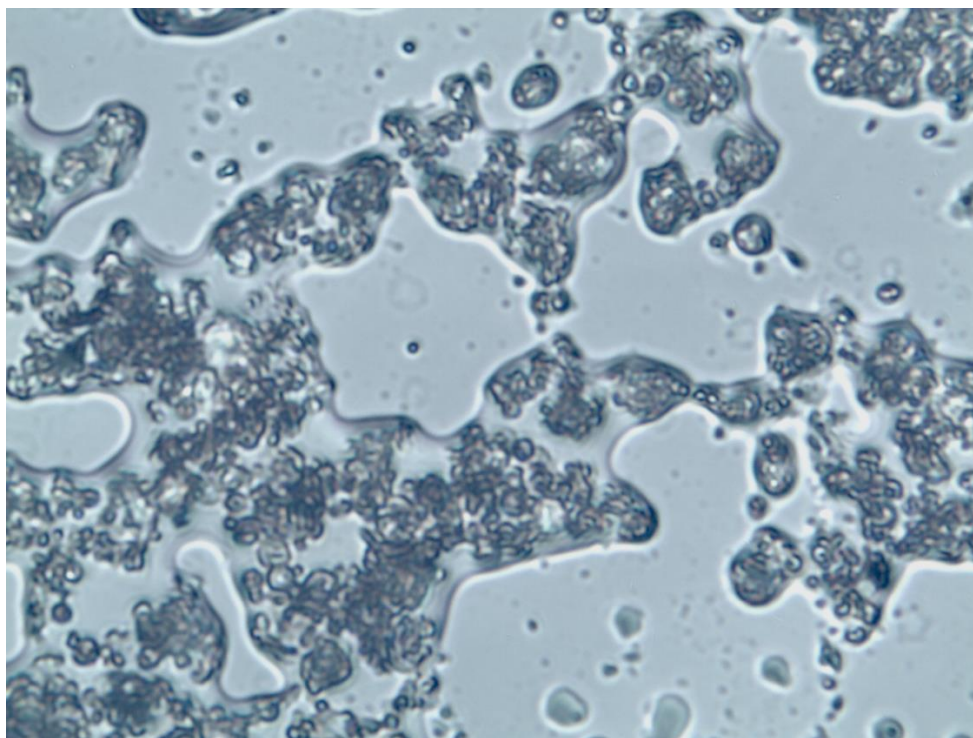


Рисунок 3.10 – Микрофотография порошка (увеличение $\times 100$)

Из анализа данных фотографии хорошо видно, что полученные порошки обладают гомогенной структурой. Форма частиц одинакова, наблюдается

образование рыхлых по структуре, объемных агломератов. Размер частиц порошков определялся на приборе DeslaMax PRO. Диапазон изменения прибора 0,4-10000 нм. Анализ полученных порошков данного рисунка и текстового выходного отчета прибора следует, что размер частиц в исследуемых порошках лежит строго в диапазоне 1-10 мкм. Размеры основной доли частиц в полученных порошках составляют (5 ± 3) мкм.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность энергоэффективной плазменной обработки СНР в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций с получением гомогенных оксидных композиций.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе получения гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов для ториевого топлива используются гидрохимические методы, которые требуют большое количество энергозатрат, и являются экологически небезопасными.

Эффективное и экологически безопасное получение таких композиций может быть достигнуто при плазменном получении гомогенных оксидных композиций оптимальных по составу горючих водно-солеорганических композиций на основе смесевых нитратных растворов, имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200^\circ\text{C}$.

В данной работе проводится исследование процесса плазменного получения гомогенных оксидных композиций из смесевых нитратных растворов.

Для эффективного использования научного потенциала научно-исследовательской работы (НИР) необходимо прилагать усилия не только к непосредственно её разработке, но и к проведению её анализа с точки зрения экономических требований.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» части выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчет бюджета научно – технического исследования.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок. Госкорпорация «Росатом», промышленные предприятия по получению ядерного топлива, предприятия по производству ТВЭЛов.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [12].

SWOT – анализ состоит из трех этапов. В первом этапе мы анализируем сильные и слабые стороны исследовательской работы (внутренняя среда), а также возможности и угрозы (внешняя среда). Описание выполняется с помощью факторов, не имеющих количественной оценки (таблица В1, Приложение В).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа построили интерактивную матрицу проекта (таблица 4.1). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.1 – интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможност и проекта.		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.
	B1.	+	+	+	+	+	0
	B2.	+	+	+	0	+	-
Угрозы проекта.	У1.	0	0	+	-	+	0
	У2.	+	0	+	0	+	+
Слабые стороны проекта							
Возможност и проекта.		Сл1.		Сл2.		Сл3.	
	B1	0		+		+	
	B2.	+		+		-	
Угрозы проекта.	У1.	-		-		0	
	У2.	-		-		0	

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT – анализа (таблица В2, Приложение В). Она заполняется, исходя из анализа таблицы 4.1.

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице В3 (Приложение В).

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ож}$ используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{q_i}, \quad (4.2)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [12].

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1.22$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	$t_{\min}$, чел-дни	$t_{\max}$, чел-дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дни			
1	0,5	1,5	0.9	руководитель	0.9	1
2	1	2	1.4	инженер	1.4	2
3	3,5	4,5	3.9	инженер	3.9	5
4	0,5	1,5	0.9	инженер	0.9	1
5	3	3.5	3.2	руководитель, инженер	1.6	2
6	3	3.5	3.2		1.6	2
7	2.5	3	2.7		1.35	2
8	1.5	2	1.7	руководитель, инженер	0.85	1
9	2	2.5	2.2		1.1	1
10	4	5.5	4.6	инженер	4.6	6
11	2.5	3.5	2.9	руководитель, инженер	1.45	2
12	4.5	6.5	5.3	инженер	5.3	7

13	3.5	5	4.1	инженер	4.1	5
Итого:			37		29.05	37

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится на основе данных из таблицы 4.2 разбивкой по дням (декадам, месяцам) за период времени дипломирования. Работы на графике выделены различным цветом (штриховкой) в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план – график в виде диаграммы Ганта приведен в таблице Г4 (приложение Г).

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Целью планирования бюджета для проведения НТИ является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение.

В формирование НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением независимо от источника финансирования. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

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

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Рассчитаем те, которые имеются в нашей работе.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

К категории материалов относят:

- сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 2 дня по 8 часов (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.5)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 2,7 \cdot 100 \cdot 16 = 4320 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.6)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 16 = 230,4 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_m = C_{эл} + C_{вд}, \quad (4.7)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расxi}, \quad (4.8)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы.

$$З_m = 4320 + 230,4 = 4550,4 \text{ руб.}$$

Транспортно – заготовительные расходы не учитывались, поэтому не было умножения на коэффициент k_T .

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.9)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.6.);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.11)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 0 руб. и 22300 руб. для доцента, кандидата наук);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.3).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		

-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента $З_{\text{ТС}}$ составляет 23264,86 руб.);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$З_{\text{ТС}}$, руб.	k_p	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель		23264,86	1,3	30244,318	1253,15	8,85	11090,37
Инженер		6976,22	1,3	9069,086	375,77	28,15	10577,92
Итого $З_{\text{осн}}$							21668,29

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Дипломная работа выполнялась с 14.05.2016 по 14.06.2016 С 01.01.2010 страховые взносы осуществляются в государственные внебюджетные фонды. На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1 [13].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из

следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.14)$$

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

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 26001,94 = 7046,52 \text{ руб.}$$

4.3.4 Накладные расходы

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

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = k_{нр} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (4.15)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$З_{накл} = 0,3 \cdot 26001,94 = 7800,58 \text{ руб.}$$

4.3.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все

подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами, то в данном случае можно говорить, что затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных

командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 4.6.

Таблица 4.6. – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	4550	Пункт 4.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	21668,29	Пункт 4.3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4333,65	Пункт 4.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	3938	Пункт 4.3.4
5. Накладные расходы	4360	Пункт 4.3.5
6. Контрагентские расходы	0	Пункт 4.3.6
7. Затраты на специальное оборудование для научных работ	0	Пункт 4.3.7
8. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 4.3.8
9. Бюджет затрат НТИ	27380	Сумма ст. 1–8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 36 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 27380 рубля.

Эта сумма оправдывается перспективами применения плазменного метода, а также установки на его основе для получения гомогенных оксидных композиций на основе смесевых нитратных растворов урана и тория. Это позволит существенно сократить удельные энергозатраты на переработку

смесевых нитратных растворов урана и тория.

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования. Данный показатель можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии		Весовой коэффициент параметра
1. Производительность		0,2
2. Энергосбережение		0,5
3. Надежность		0,2
4. Материалоемкость		0,1
ИТОГО		1

$$I_{p-ucn1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7;$$

$$I_{p-ucn2} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 3,4;$$

$$I_{p-иснз} = 3*0,2 + 4*0,5 + 4*0,2 + 3*0,1 = 3,7.$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

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 осуществляется 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.

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

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

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

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников

исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы.

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

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

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

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 на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а так же использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13.

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 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы», СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эмирч)»

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

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;

- электромагнитное поле низкой чистоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Химические: вредные вещества (оксиды азота и углерода).

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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

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 специальное 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 рис. 5.1.

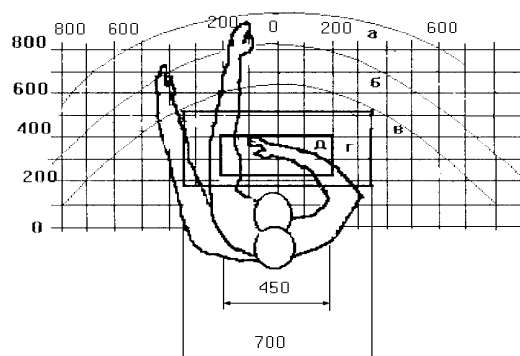


Рисунок 5.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

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 так же 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 [16] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °C	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.

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 азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

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. Основным недостатком 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.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [16] 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 мкбэр/час. По нормам [16] 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 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.

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 [17]:

- 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.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ 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.

Действие электрического тока на организм человека.

Поражение электрическим током происходит, когда организм человека вступает в контакт с источником напряжения.

Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток.

Как известно, организм человека состоит из большого количества солей и

жидкости, что является хорошим проводником электричества, поэтому действие электрического тока на организм человека может быть летальным.

Виды воздействий электрического тока на организм человека

Последствия, которые могут возникнуть в результате действия электрического тока на человека, зависят от многих факторов, а именно:

- от величины и рода протекающего тока, переменный ток является более опасным, чем постоянный;
- продолжительности его воздействия, чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;
- пути протекания, самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания (легкие);
- от физического и психологического состояния человека. Организм человека обладает неким сопротивлением, это сопротивление варьируется в зависимости от состояния человека.

Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА.

При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Этот ток называется не отпускаемым.

Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца.

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).

При выполнении данной ВКР, использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

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

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [18], 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: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

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:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ВЫВОДЫ

1. Проведен обзор и анализ применяемых способов получения гомогенных оксидных композиций урана и тория из смесевых нитратных растворов, по результатам которого обоснованно выбран для исследования процесс их плазменной обработки в виде водно-солеорганических композиций.

2. По результатам расчета показателей горения водно-солеорганических композиций на основе смесевых нитратных растворов определены составы горючих композиций, обеспечивающие их энергоэффективную обработку.

3. В результате термодинамического моделирования процесса плазменной обработки водно-солеорганических композиций на основе смесевых нитратных растворов определены режимы, обеспечивающие прямое получение гомогенных оксидных композиций «UO₂-ThO₂» в воздушной плазме.

4. Проведены экспериментальные исследования процесса плазменной обработки модельных смесевых нитратных растворов в виде горючих композиций. Экспериментально подтверждена возможность прямого и энергоэффективного плазмохимического синтеза гомогенных оксидных композиций для ториевого ядерного топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза гомогенных оксидных композиций для ториевого ядерного топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Туманов Ю. Н., Бутылкин Ю. П., Коробцев В. П., Бевзюк Ф. С, Грицюк В.Н., Батарее Г. А., Хохлов В. А., Галкин Н.П. Способ получения урансодержащих смесевых оксидов. — Авт. свидетельство СССР № 904393, 1976.
2. Toumanov I.N., Sigailo A. V. Plasma Synthesis of Disperse Oxide Materials from Disintegrated Solutions // Materials Science and Engineering. 1991. V. A140. P. 539-548.
3. A.G. Karengin, A.A. Karengin, I.Yu. Novoselov, N.V. Tundeshev, Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling, Advanced Materials Research, Volume 1040 (2014) 433-436.
4. Годин Ю.Г., Тенишев А.В., Новиков В.В. Физическое материаловедение. Том 6, часть 2. Ядерные топливные материалы: учебник для вузов / Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. – 604 с.
5. R. E. Lerch and R. E. Norman, “Nuclear Fuel Conversion and Fabrication Chemistry,” Radiochimica Acta, 36, pp 75–88 (1984).
6. Toumanov I. JV., Butylkin I. P., Golovin A.M., Grachev V. G. Mechanism and Kinetics of the Reactions «Liquid—>-Solid+Gas» in Plasma Heat Carriers. 3-me Symposium International de Chimie des Plasmas // Communications. France, Limoges. 1977. T. 2.
7. Бутылкин Ю.П., Головин А.М., Грачев В. Г., Гусев В. А., Туманов Ю. Н. Модель взаимодействия капель раствора с плазменным теплоносителем при наличии химических реакций. Плазмохимические процессы // Сб. под ред. Полака Л. С. — М.: АН СССР, ИНХС им. А.В.Топчиева. 1979. С. 204-220.
8. Туманов Ю. Н. Низкотемпературная плазма и высокочастотные электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики. — М.: Энергоатомиздат. 1989. — 280 с.

9. Головин А. М., Грачев В. Г1., Туманов Ю. Н. и др. Взаимодействие распыленного водного раствора солей с высокотемпературным теплоносителем // В сб.: Экспериментальные и теоретические исследования плазмохимических процессов. — М.: Наука, 1984. — С. 94-106.
10. Монахов В. Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1979.
11. Пархоменко В.Д., Сорока П.И., Краснокутский Ю.И. и др. Плазмохимическая технология. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. — 196с.
12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 36 с.
13. Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»
14. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
17. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность..
18. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.

Приложение А

Таблица А.1 – Измерение расхода воздуха через ВЧФ-плазмотрон без узла ввода ПГ (трубка 50/300 мм)

№ п/п	S _{имп}		P _{ПГ} , мБар							P _{ср} мБар	K _т	P _{ПГ}	T _{ПГ}	ρ _{возд}	V _{ПГ}	Q _{пг} ±ΔQ _{пг}		
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7			Па	°C	кг/м ³	м/с	м ³ /с	кг/с	м ³ /ч
1	3х10	1650	2,23	2,06	2,02	2,43	2,01	2,21	2,11	2,15	0,997	218,14	23,6	1,2	19,07	0,046±0,014	166±51	0,055±0,017
2	3х8	1320	2,54	2,61	2,56	2,65	2,61	2,62	2,71	2,61	0,997	264,89	23,6	1,2	21,01	0,051±0,005	183±17	0,061±0,006
3	3х6	990	2,78	2,85	2,99	3,03	3,12	2,88	2,97	2,95	0,997	298,47	23,7	1,2	22,30	0,054±0,009	194±34	0,065±0,011
4	3х4	660	3,99	4,00	4,02	4,11	3,99	4,15	4,08	4,05	0,997	410,22	23,7	1,2	26,15	0,063±0,004	228±16	0,076±0,005
5	3х2	330	6,76	6,63	6,28	6,26	6,74	6,73	6,65	6,58	0,997	666,57	23,8	1,2	33,33	0,081±0,012	290±42	0,097±0,014
1	3х10	1650	2,16	2,37	2,33	2,34	2,29	2,29	2,15	2,28	0,997	230,59	23,8	1,2	19,60	0,047±0,008	171±29	0,057±0,010
2	3х8	1320	2,46	2,58	2,56	2,74	2,47	2,58	2,62	2,57	0,997	260,69	23,8	1,2	20,84	0,050±0,008	182±29	0,061±0,010
3	3х6	990	3,03	2,99	3,03	3,21	3,02	3,01	3,02	3,04	0,997	308,46	23,8	1,2	22,67	0,055±0,059	198±21	0,066±0,007
4	3х4	660	3,79	4,15	3,68	3,74	4,15	3,98	4,06	3,94	0,997	398,79	23,8	1,2	25,78	0,062±0,014	225±50	0,075±0,017
5	3х2	330	6,10	6,56	6,10	6,33	6,67	6,26	6,55	6,37	0,997	645,15	23,8	1,2	32,79	0,079±0,013	286±45	0,095±0,015

Таблица А.2 – Измерение расхода воздуха через газоход с узлом ввода ПГ (трубка 50/300 мм)

№ п/п	S _{имп}		P _{ПГ} , мБар							P _{ср} мБар	K _т	P _{ПГ}	T _{ПГ}	ρ _{возд}	V _{ПГ}	Q _{ГХД} ±ΔQ _{ГХД}		
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7			Па	°C	кг/м ³	м/с	м ³ /с	кг/с	м ³ /ч
1	3х10	1650	2,60	2,54	2,46	2,52	2,74	2,73	2,61	2,60	0,997	260,00	23,1	1,19	20,90	1,045±0,186	3762±669	1,24±0,22
2	3х8	1320	2,57	2,71	2,73	2,58	2,58	2,64	2,65	2,64	0,997	263,71	23,1	1,19	21,05	1,053±0,114	3790±409	1,25±0,14
3	3х6	990	2,58	2,6	2,47	2,56	2,34	2,50	2,39	2,49	0,997	249,14	23,2	1,19	20,46	1,023±0,178	3683±640	1,22±0,21
4	3х4	660	2,3	2,37	2,27	2,23	2,20	2,34	2,10	2,26	0,997	225,86	23,2	1,19	19,48	0,974±0,174	3507±626	1,16±0,21
5	3х2	330	1,62	1,8	1,86	1,77	1,78	1,75	1,62	1,74	0,997	174,29	23,3	1,19	17,11	0,858±0,196	3087±707	1,02±0,24
1	3х10	1650	2,47	2,62	2,67	2,65	2,80	2,74	2,60	2,65	0,997	265,00	23,3	1,19	21,10	1,055±0,185	3799±666	1,26±0,22
2	3х8	1320	2,71	2,66	2,62	2,51	2,53	2,64	2,56	2,60	0,997	260,43	23,4	1,19	20,92	1,046±0,129	3766±466	1,25±0,15
3	3х6	990	2,52	2,61	2,34	2,37	2,47	2,41	2,47	2,46	0,997	245,57	23,4	1,19	20,32	1,016±0,168	3657±605	1,21±0,20
4	3х4	660	2,25	2,34	2,30	2,26	2,42	2,28	2,26	2,30	0,997	230,14	23,5	1,19	19,67	0,983±0,114	3540±411	1,17±0,14
5	3х2	330	1,86	1,84	1,86	1,80	1,68	1,73	1,75	1,79	0,997	178,86	23,5	1,19	17,34	0,867±0,150	3121±540	1,03±0,18

Таблица А.3 – Измерение расхода воздуха через газоход без узла ввода ПГ (трубка 50/300 мм)

№ п/п	S _{имп}		P _{ПГ} , мБар							P _{ср} мБар	K _т	P _{ПГ} Па	T _{ПГ} °C	ρ _{возд} кг/м³	V _{ПГ} м/с	Q _{гхд} ±ΔQ _{гхд}		
	3хп	см²	1	2	3	4	5	6	7							м³/с	кг/с	м³/ч
1	3х10	1650	2,44	2,52	2,56	2,28	2,50	2,75	2,52	2,51	0,997	251,00	23,1	1,19	20,54	1,027±0,253	3697±910	1,22±0,30
2	3х8	1320	2,35	2,37	2,56	2,64	2,62	2,32	2,47	2,48	0,997	247,57	23,1	1,19	20,40	1,020±0,241	3672±868	1,21±0,29
3	3х6	990	2,33	2,5	2,33	2,47	2,38	2,34	2,32	2,38	0,997	238,14	23,2	1,19	20,01	1,000±0,136	3601±491	1,19±0,16
4	3х4	660	2,14	2,15	2,35	2,19	2,26	2,30	2,10	2,21	0,997	221,29	23,2	1,19	19,28	0,964±0,177	3471±637	1,15±0,21
5	3х2	330	1,79	1,7	1,79	1,64	1,71	1,78	1,69	1,73	0,997	172,86	23,3	1,19	17,04	0,854±0,128	3074±460	1,02±0,15
1	3х10	1650	2,83	2,64	2,67	2,64	2,55	2,65	2,56	2,65	0,997	264,86	23,3	1,19	21,10	1,055±0,1617	3798±582	1,26±0,19
2	3х8	1320	2,53	2,50	2,69	2,61	2,62	2,55	2,53	2,58	0,997	257,57	23,4	1,19	20,81	1,040±0,1187	3745±427	1,24±0,14
3	3х6	990	2,37	2,35	2,25	2,46	2,50	2,34	2,47	2,39	0,997	239,14	23,4	1,19	20,05	1,002±0,1641	3609±591	1,19±0,20
4	3х4	660	2,25	2,28	2,11	2,25	2,24	2,19	2,34	2,24	0,997	223,71	23,5	1,19	19,39	0,970±0,1374	3490±500	1,15±0,16
5	3х2	330	1,86	1,83	1,88	1,82	1,84	1,77	1,96	1,85	0,997	185,14	23,5	1,19	17,64	0,882±0,1237	3175±445	1,05±0,15

Приложение Б

Таблица Б.1 – Результаты измерений

№ опыта	Ia,	Ua,	P ₀ ,	T _{дг} ,	S _{шр} ,	Анод			Сетка			Электрод			КП			ВЧФП						
	A	кВт	кВт	°C	см ²																			
						m _a ,	Δt _a ,	P _a ,	m _c ,	Δt _c ,	P _c ,	m _{эл} ,	Δt _{эл} ,	P _{эл} ,	m _{кп} ,	Δt _{кп} ,	P _{кп} ,	P _{стр} ,	Q _{пг} ,	H _T ,	T _{стр} ,	P _p	η _{пл}	η _{уст}
						кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кВт	кг/с	кДж/кг	°C	кВт	%	%
1	3,0	5,75	17,25	18,0	3x10	0,223	8,2	7,66	0,059	-0,4	-0,10	0,126	3,3	1,74	0,034	0,4	0,06	7,89	0,057	438,8	450	7,95	99,28	45,7
2	3,0	5,75	17,25	21,4	3x8	0,223	8,3	7,75	0,059	-0,4	-0,10	0,126	3,4	1,80	0,034	0,5	0,07	7,73	0,061	426,9	425	7,80	99,08	44,8
3	3,0	5,75	17,25	21,8	3x6	0,223	8,3	7,75	0,059	-0,2	-0,05	0,126	3,9	2,06	0,034	0,5	0,07	7,41	0,066	412,9	400	7,49	99,04	43,0
1	3,0	5,70	17,1	22,6	3x10	0,223	8,3	7,75	0,059	0,4	0,10	0,126	3	1,59	0,034	0,5	0,07	7,59	0,057	433,6	450	7,66	99,06	44,4
2	3,0	5,70	17,1	23,0	3x8	0,223	8,6	8,04	0,059	0,3	0,07	0,126	3,3	1,74	0,034	0,5	0,07	7,18	0,061	417,9	400	7,25	99,01	42,0
3	3,0	5,70	17,1	21,6	3x6	0,223	8,2	7,66	0,059	0,5	0,12	0,126	3,3	1,74	0,034	0,5	0,07	7,50	0,066	414,2	400	7,57	99,05	44,0
1	3,5	6,50	22,75	24,4	3x10	0,223	9,4	8,78	0,059	0,7	0,173	0,126	4,1	2,17	0,034	0,6	0,09	11,54	0,057	503,1	500	11,63	99,26	50,7
2	3,5	6,40	22,4	25,2	3x8	0,223	9,4	8,78	0,059	0,8	0,20	0,126	4,1	2,17	0,034	0,6	0,09	11,17	0,061	483,3	475	11,26	99,23	49,9
3	3,5	6,40	22,4	25,7	3x6	0,223	9,6	8,97	0,059	0,9	0,22	0,126	4,3	2,27	0,034	0,5	0,07	10,87	0,066	465,3	475	10,94	99,34	48,5
4	3,5	6,40	22,4	26,8	3x4	0,223	9,5	8,88	0,059	1,0	0,25	0,126	4,3	2,27	0,034	0,7	0,10	10,91	0,076	443,9	450	11,01	99,08	48,7
1	3,5	6,40	22,4	27,7	3x10	0,223	9,5	8,88	0,059	1,2	0,30	0,126	4,2	2,22	0,034	0,8	0,12	10,90	0,057	491,7	500	11,01	98,95	48,6
2	3,5	6,40	22,4	27,5	3x8	0,223	9,5	8,88	0,059	1,1	0,27	0,126	4,2	2,22	0,034	0,8	0,12	10,92	0,061	479,3	475	11,04	98,96	48,8
3	3,5	6,40	22,4	27,2	3x6	0,223	9,6	8,97	0,059	1,1	0,27	0,126	4,3	2,27	0,034	0,8	0,12	10,77	0,066	463,9	475	10,89	98,94	48,1
4	3,5	6,40	22,4	26,8	3x4	0,223	9,5	8,88	0,059	1,0	0,25	0,126	4,3	2,27	0,034	0,5	0,07	10,93	0,076	444,3	450	11,01	99,35	48,8

Продолжение таблицы Б1

№ опыта	Ia,	Ua,	P ₀ ,	T _{дг} ,	S _{шр} ,	Анод			Сетка			Электрод			КП			ВЧФП						
	A	кВт	кВт	°C	см ²																			
						m _а ,	Δt _а ,	P _а ,	m _с ,	Δt _с ,	P _с ,	M _{эл} ,	Δt _{эл} ,	P _{эл} ,	m _{кп} ,	Δt _{кп} ,	P _{кп} ,	P _{стр} ,	Q _{пг} ,	H _г ,	T _{стр} ,	P _p ,	η _{пл} ,	η _{уст}
						кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кг/с	°C	кВт	кВт	кг/с	кДж/кг	°C	кВт	%	%
1	4,0	6,75	27,00	31,4	3x10	0,223	10,50	9,81	0,059	1,30	0,32	0,126	5,00	2,64	0,034	0,90	0,13	14,10	0,057	548,0	550	14,23	99,09	52,2
2	4,0	6,90	27,60	31,4	3x8	0,223	10,70	10,00	0,059	1,40	0,35	0,126	5,00	2,64	0,034	0,90	0,13	14,49	0,061	537,7	550	14,62	99,11	52,5
3	4,0	6,90	27,60	30,8	3x6	0,223	10,80	10,09	0,059	1,50	0,37	0,126	5,20	2,75	0,034	1,00	0,14	14,25	0,066	516,7	500	14,39	99,00	51,6
4	4,0	7,10	28,40	30,5	3x4	0,223	11,00	10,28	0,059	1,60	0,40	0,126	5,20	2,75	0,034	1,00	0,14	14,84	0,076	495,7	500	14,98	99,04	52,3
1	4,0	6,80	27,20	31,4	3x10	0,223	10,70	10,00	0,059	1,90	0,47	0,126	4,90	2,59	0,034	1,00	0,14	14,00	0,057	546,3	550	14,15	98,98	51,5
2	4,0	6,90	27,60	31,4	3x8	0,223	10,90	10,18	0,059	1,90	0,47	0,126	5,00	2,64	0,034	1,00	0,14	14,16	0,061	532,4	550	14,31	98,99	51,3
3	4,0	7,00	28,00	30,8	3x6	0,223	11,00	10,28	0,059	1,60	0,40	0,126	5,00	2,64	0,034	1,00	0,14	14,54	0,066	521,2	550	14,69	99,02	51,9
4	4,0	7,10	28,40	30,5	3x4	0,223	11,10	10,37	0,059	1,70	0,42	0,126	5,20	2,75	0,034	1,00	0,14	14,72	0,076	494,2	500	14,86	99,03	51,8
1	4,5	7,10	31,95	33,5	3x10	0,223	12,20	11,40	0,059	2,30	0,57	0,126	5,70	3,01	0,034	1,00	0,14	16,83	0,057	595,9	600	16,97	99,15	52,7
2	4,5	7,20	32,40	33,4	3x8	0,223	12,30	11,49	0,059	2,30	0,57	0,126	5,70	3,01	0,034	1,10	0,16	17,17	0,061	581,7	600	17,33	99,09	53,0
3	4,5	7,30	32,85	32,9	3x6	0,223	12,40	11,59	0,059	2,20	0,54	0,126	5,70	3,01	0,034	1,00	0,14	17,57	0,066	567,1	550	17,71	99,19	53,8
4	4,5	7,50	33,75	31,5	3x4	0,223	12,40	11,59	0,059	2,10	0,52	0,126	5,80	3,06	0,034	1,00	0,14	18,44	0,076	543,1	550	18,58	99,23	54,6
1	4,5	7,10	31,95	33,5	3x10	0,223	12,20	11,40	0,059	2,30	0,57	0,126	5,70	3,01	0,034	1,00	0,14	16,83	0,057	595,9	600	16,97	99,15	52,7
2	4,5	7,20	32,40	33,4	3x8	0,223	12,40	11,59	0,059	2,40	0,59	0,126	5,80	3,06	0,034	1,10	0,16	17,00	0,061	578,9	600	17,16	99,08	52,5
3	4,5	7,30	32,85	33,9	3x6	0,223	12,60	11,77	0,059	2,50	0,62	0,126	5,90	3,12	0,034	1,10	0,16	17,19	0,066	561,3	550	17,35	99,09	52,3
4	4,5	7,50	33,75	34,1	3x4	0,223	12,80	11,96	0,059	2,60	0,64	0,126	5,90	3,12	0,034	1,10	0,16	17,88	0,076	535,7	550	18,03	99,12	53,0

Приложение В

Таблица В1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Экономичность и энергоэффективность технологии. Установка, на которой проводится исследование не только потребляет энергию, но и выделяет и данная энергия может быть использована.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство промышленных установок под ключ.
С2. Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.	Сл2. Сложное финансовое положение.
С3. Более низкая стоимость получения оксидных композиций по сравнению с другими технологиями.	Сл3. Отсутствие собственной сырьевой базы (водно-солеорганических композиций).
С4. Отличная от конкурентов технология.	
С5. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2МВт*ч/т) на бытовые технологические нужды	
С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.	
Возможности	Угрозы
В1. Создание рынка по получению гомогенных оксидных композиций для ториевого топлива.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

Таблица В2 – SWOT–анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость получения оксидных композиций по сравнению с другими технологиями. С4. Отличная от конкурентов технология С5. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2МВт*ч/т) на бытовые технологические нужды С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство промышленных установок под ключ. Сл2. Сложное финансовое положение. Сл3. Отсутствие собственной сырьевой базы (водно-солеорганических композиций).
Возможности: В1. Создание рынка по получению гомогенных оксидных композиций для ториевого топлива. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	В1С1С2С3С4С5, В2С1С2С3С5. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность создания рынка по получению гомогенных оксидных композиций для ториевого топлива и появление дополнительного спроса на продукты, которые появляются после	В1Сл2, В2Сл1Сл2. Анализ показывает, что такие возможности как В1 и В2 положительно влияют на слабые стороны проекта, т.к создание рынка появление дополнительного спроса могут существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, оказывающих инжиниринговые услуги..

	переработки, например, азотная кислота для лакокрасочной промышленности.	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Несвоевременное финансовое обеспечение	У1С1С3С5, У2С1С3С5С6. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования	-

Таблица В3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ		Должность исполнителя
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания		руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы		инженер
	3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы		инженер
	4	Календарное планирование работ по теме		инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Моделирование технологического процесса на компьютере	Расчет показателей горения ВСОК на основе водно-солеорганических композиций из смесевых нитратных растворов. Выбор оптимальных составов горючих ВОК.	руководитель, инженер
	6		ТД расчет процесса плазменной утилизации горючих оптимальных ВОК с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов процесса обработки	
	7		Оценка энергозатрат на процесс плазменной обработки смесевых нитратных растворов.	

	8	Экспериментальные исследования	Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда.	руководитель, инженер
	9		Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки смесевых нитратных растворов в виде диспергированных ВОК. Определение оптимальных составов ВОК и режимов их переработки в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	
	10	Анализ и обработка полученных результатов		инженер
	11	Оценка эффективности полученных результатов		руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оформление пояснительной записки и графических работ		инженер
	13	Подготовка к защите темы		инженер

Таблица В 4 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ						
				Май						
				14	15 - 16	17 - 21	22	23 - 24	25 - 26	27 - 28
1	Составление и утверждение технического задания	руководитель	1							
2	Изучение проблемы и подбор литературы	инженер	2							
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	инженер	5							
4	Календарное планирование работ по теме	инженер	1							
5	Расчет показателей горения ВСОК на основе водно-солеорганических композиций из смесевых нитратных растворов. Выбор оптимальных составов горючих ВСОК.	руководитель, инженер	2							
6	ТД расчет процесса плазменной утилизации горючих оптимальных ВСОК с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов процесса обработки.	руководитель, инженер	2							
7	Оценка энергозатрат на процесс плазменной обработки смесевых нитратных растворов.	руководитель, инженер	2							

Продолжение таблицы В 4

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ					
				Май		Май – июнь	Июнь		
				29	30	31 - 5	6 - 7	8 - 14	15 - 19
8	Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда.	руководитель, инженер	1						
9	Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки смесевых нитратных растворов в виде диспергированных ВСОК. Определение оптимальных составов ВСОК и режимов их переработки в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	руководитель, инженер	1						
10	Анализ и обработка полученных результатов	инженер	6						
11	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, инженер	2						
12	Оформление пояснительной записки и графических работ	инженер	7						
13	Подготовка к защите темы	инженер	5						



- руководитель



- инженер



- совместная работа