

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки кубовых остатков ЖРО

УДК 621.039.75:533.915.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Шеховцова Анастасия Павловна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Верховская М.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
P3	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок.
P4	Готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

	разрабатываемого процесса плазменной обработки кубовых остатков ЖРО. 4. Экономическое обоснование проведения НИР. 5. Выводы по работе. Заключение
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	доцент кафедры «Техническая физика» Каренгин А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент преподаватель кафедры «Менеджмент» Верховская М.В.
Социальная ответственность	ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С
Часть на иностранном языке	старший преподаватель кафедры иностранных языков физико-технического института Ермакова Я.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Modeling and research of process plasma recycling vat residue of LRW

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2014г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А0Д	Шеховцова А.П.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Б	Шеховцова Анастасия Павловна

Институт	ФТИ	Кафедра	техническая физика
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Проведена 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 НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений 3. SWOT анализ.
2. Планирование управления научнотехническим проектом	1. Иерархическая структура работ в рамках научного исследования 2. Контрольные события проекта (трудоемкость выполнения работ). 3. План проекта (график план проведения работ).
3. Бюджет научного исследования	1. Расчет материальных затрат НИИ 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 3. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы 4. Отчисления во внебюджетные фонды. 5. Накладные расходы 5.6. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
4. Определение функций участников проекта	1. Организационная структура проекта 2. Матрица ответственности.

Перечень графического материала:

Графическая часть отсутствует

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Шеховцова А.П.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Б	Шеховцова Анастасия Павловна

Институт	Кафедра	Уровень образования	Направление/специальность
		магистр	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	1. вредных проявлений факторов производственной среды: вредные вещества, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующие излучения; 2. опасных проявлений факторов производственной среды: поражение электрическим током, возникновение пожара, термические повреждения; 3. негативного воздействия на окружающую природную среду атмосферу
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	1. электробезопасность; 2. химическая безопасность; 3. пожаровзрывобезопасность; 4. требования охраны труда на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; 2. источники, действующие факторы на организм человека: действие радиации, химическое воздействие; 3. приведение допустимых норм с необходимой 4. предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	1. электробезопасность (пороговые значения тока, правила, оказание первой доврачебной помощи); 2. пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, действия в аварийной ситуации
3. Охрана окружающей среды:	1. анализ воздействия химических соединений, образующихся в ходе НИР, на атмосферу (выбросы); 2. указание норм ПДК и класса опасности для выбросов.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.04.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Т. С.	к.ф.-м.н.		11.04.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Б	Шеховцова А. П.		11.04.2016

Содержание

Планируемые результаты обучения по ООП	2
Реферат	10
Определения	11
Обозначения и сокращения	13
Введение	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Принципы обращения и классификация радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации АЭС	16
1.2 Стадии обращения с радиоактивными отходами	21
1.4 Первичная характеристика радиоактивных отходов	23
1.5 Эксплуатационные отходы АЭС и методы их переработки	25
1.5.1 Термические методы	29
1.5.2 Сорбционные методы	30
1.5.3 Мембранные методы	32
1.6 Обработка жидких радиоактивных отходов на КолАЭС	33
2 Моделирование процесса плазменной переработки кубовых остатков ЖРО	40
2.1 Расчёт показателей горения водно-солеорганических композиций на основе кубовых остатков ЖРО	40
2.2 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной обработки водно- солеорганических композиций на основе кубовых остатков	44
3 Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки кубовых остатков в воздушной плазме ВЧФ-разряда	51
3.1 Описание схемы лабораторного плазменного стенда	51

3.2 Исследование и оптимизация режимов работы системы «ВЧГ-ВЧФ-плазмотрон»	53
3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона	56
3.2.2 Определение расхода воздуха через реактор и газоход.....	60
3.3 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки кубовых остатков	66
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	68
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	69
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	69
4.1.3 SWOT-анализ.....	71
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	73
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта	74
4.2.2 Контрольные события проекта	74
4.2.3 План проекта.....	75
4.3 Бюджет научного исследования	78
4.3.1 Расчет материальных затрат	78
4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	80
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	80
4.3.4 Дополнительная заработная плата	83
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	83

4.3.6 Контрагентные расходы	84
4.3.7 Накладные расходы.....	84
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	85
4.4 Организационная структура проекта	86
4.5 Матрица ответственности	87
5 Социальная ответственность	88
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и плазменном стенде на базе ВЧФ-плазмотрона	91
5.2.1 Организационные и технические мероприятия	91
5.2.2 Условия безопасности работы	94
5.3 Электробезопасность	96
5.4 Пожарная и взрывная безопасность	99
5.5 Охрана окружающей среды	101
Выводы	104
Заключение	105
Список использованных источников	106
Приложение А	109
Приложение Б.....	126
Приложение В.....	128
Приложение Г	136

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 108 страниц, 21 рисунок, 21 таблицу, 27 источников, 34 формулы и 4 приложения.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ–плазмотрон, водно-солеорганические композиции, плазменная обработка,

Объектом исследования является процесс обработки водно–солеорганических композиций на основе кубовых остатков ЖРО в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда.

Цель работы – исследовать возможность и эффективность процесса плазменной обработки водно–солеорганических композиций в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда.

В процессе исследования проводилось: расчет и оптимизация показателей горения водно-солеорганических композиций на основе кубовых остатков ЖРО; определение и оптимизация режимов плазменной обработки ВСОК.

В результате исследования: определены оптимальные составы ВСОК и режимы их плазменной обработки для практической реализации. Режимы апробированы экспериментальным путем на ВСОК модельного состава.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии переработки кубовых остатков ЖРО в виде водно-солеорганических композиций.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленной плазменной переработки кубовых остатков ЖРО.

Определения

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

Жидкие радиоактивные отходы – радиоактивные отходы в виде водных или жидких органических продуктов, содержащих радионуклиды в растворенной форме или в виде взвесей [1].

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов). Важнейшей особенностью плазмы является ее квазинейтральность, это означает, что объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых она образована, оказываются почти одинаковыми. Плазма иногда называется четвертым (после твердого, жидкого и газообразного) агрегатным состоянием вещества.

Радиоактивные отходы – неподлежащие дальнейшему использованию изделия, материалы, вещества и биологические объекты, содержащие радионуклиды в количествах, превышающих значения, установленные действующими нормами радиационной безопасности [1].

$T_{всп}$ – 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.

$T_{воспл}$ – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

$T_{самовоспл}$ – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Соленой плав – продукт отверждения эксплуатационных ЖРО.

Кубовые остатки – солевые растворы высокой концентрации, полученные при переработке ЖРО и загрязненные продуктами деления, образовавшиеся в процессе эксплуатации энергоблоков, а также концентраты системы СВО-3, перерабатывающей дезактивационные растворы, применяемые в значительных объемах при выводе энергоблока из эксплуатации [3, 8].

Обозначения и сокращения

АЭС – атомная электрическая станция.

ВАО – высокоактивные отходы.

ВСОК – водно-солеорганическая композиция.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ВЧФ–плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд.

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы.

КО – кубовый остаток.

МАГАТЭ – международное агентство по атомной энергии.

НАО – низкоактивные отходы.

РАО – радиоактивные отходы.

САО – среднеактивные отходы.

СВО специальная водоочистка.

ТУЭ – трансурановые элементы.

ХЖО – хранилище жидких радиоактивных отходов.

Введение

Атомная наука и техника являются неотъемлемой частью научно-технического прогресса. Ядерные излучения, радиоактивные изотопы применяются во многих областях человеческой деятельности, например, промышленность и медицина, следовательно, появляются радиоактивные отходы, которые экологически небезопасны. Накопленные объемы таких отходов только в России достигают миллионов тонн, что представляет потенциальную опасность для человека и окружающей среды. В связи с этим обезвреживание и локализация радиоактивных отходов является крупнейшей технической, экономической и социальной проблемой [2].

В ходе эксплуатации атомных реакторов на АЭС накоплены и размещены в пристанционных хранилищах огромные объемы продуктов выпарки жидких радиоактивных отходов в виде кубовых остатков. В настоящее время хранилища многих АЭС заполнены на 80-90 %. Применяемые методы отверждения таких отходов многостадийны, требуют значительных энерго- и трудозатрат, экологически небезопасны и не обеспечивают значительного сокращения объемов конечного радиоактивного продукта [3].

С учетом вышесказанного ясно, что поиск новых решений данной проблемы является актуальным. В данной выпускной квалификационной работе будут представлены результаты исследований плазменной обработки кубовых остатков ЖРО в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

Плазменная обработка отходов в виде диспергированных водно-солевых растворов является одностадийным и гибким методом [4]. Основными достоинствами метода является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; а также возможность синтеза сложных оксидных соединений. Однако плазменная обработка только водно-солевых растворов требует значительных энергозатрат (до 4 кВт·ч/кг). Значительное сокращение

энергозатрат (до 0,1 кВт·ч/кг) может быть достигнуто при плазменной обработке таких отходов в виде оптимальных по составу горючих ВСОК [5].

Цель данной работы заключается в исследовании возможности энергоэффективной обработки кубовых остатков ЖРО в виде горючих ВСОК в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор и анализ современных способов обработки РАО ЖРО, в том числе, в виде кубовых остатков ЖРО.

2. Определить оптимальные составы горючих ВСОК, обеспечивающих энергоэффективную плазменную обработку кубовых остатков ЖРО в виде горючих ВСОК.

3. Определить оптимальные режимы плазменной обработки горючих ВСОК на основе кубовых остатков.

4. Оценить энергозатраты на исследуемый процесс. Рассмотреть экономическую целесообразность плазменной обработки кубовых остатков ЖРО в виде горючих ВСОК.

1 Обзор литературы

1.1 Принципы обращения и классификация радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации АЭС

Радиоактивные отходы – неподлежащие дальнейшему использованию изделия, материалы, вещества и биологические объекты, содержащие радионуклиды в количествах, превышающих значения, установленные действующими нормами радиационной безопасности [1].

Характеристики, определяющие классификацию РАО в Российской Федерации, приведены в таблице 1.1 [7].

Таблица 1.1 – Классификация РАО в Российской Федерации (СПОРО-2002)

Категория	Удельная активность (кБк/кг)		
	ТУЭ	α -активность	β -активность
НАО	<10	$<10^2$	$<10^3$
САО	От 10 до 10^5	От 10^2 до 10^6	От 10^3 до 10^7
ВАО	Более 10^5	Более 10^6	Более 10^7

Основным требованием при работе с РАО всех категорий является то, что отходы должны быть всегда под наблюдением, т.е. должны обрабатываться, перерабатываться, храниться, транспортироваться и захораниваться. То есть, на протяжении всего срока их потенциальной опасности для человека и окружающей среды, как в настоящее время, так и в будущем, воздействие радиоактивных отходов не должно превышать допустимых пределов, которые установлены нормативными документами.

Определение РАО регламентируются специальными правилами, принятыми в каждой стране. Законодательство всех стран, которые каким-либо образом связаны с РАО, отражают в документах нормы и правила по защите населения и охране окружающей среды, роль и ответственность всех, кто имеет отношение к этой проблеме, и т. д. Эти правила время от времени пересматриваются. В России в настоящее время действуют «Санитарные

правила обращения с радиоактивными отходами», принятые в 2002 году (СПОРО-2002) [7]. Для эффективного обеспечения основной цели обращения с радиоактивными отходами должен соблюдаться ряд основных принципов. Данные принципы приняты на международном уровне и сформулированы в документе МАГАТЭ. Принципы подходят для всех типов и характеристик РАО, т.к. их применение универсально.

Основные положения этих документов заключаются в следующем. При обращении с РАО вне зависимости от их происхождения должны быть обеспечены:

1. Охрана здоровья людей.
2. Охрана окружающей среды.
3. Обеспечение безопасности за пределами национальных границ.
4. Защита будущих поколений
5. Предотвращение необоснованного бремени на будущее поколение
6. Наличие национальной правовой структуры.
7. Контроль образования радиоактивных отходов.
8. Взаимосвязь между этапами обращения с радиоактивными отходами.
9. Безопасность установок для обращения с РАО на протяжении всего срока их службы.

Такие принципы как: 3, 4 и 5 – основаны на этических соображениях. То есть в них говорится о том, что государство, должно нести ответственность перед гражданами своей страны, другими странами, а также перед будущими поколениями, за возможные негативные последствия применения радиоактивных элементов в различных видах деятельности, в частности, связанной с образованием отходов.

Соблюдение выше перечисленных принципов несет вклад в достижение цели обращения с РАО, состоящей в обеспечении защиты здоровья человека и охраны окружающей среды в настоящем и будущем

времени. Применение этих принципов на практике во многом зависит от вида образующихся отходов и типов установок.

Также в принципах обращения с РАО заложена концепция системного подхода, говорящая о том, что все стадии обработки радиоактивных отходов являются элементами общей системы [2].

Рассмотрим, откуда же берутся РАО АЭС. Источником радиоактивных отходов АЭС являются процессы деления ядер топлива и активации нейтронами различных материалов, присутствующих в активной зоне реактора и околореакторном пространстве, продукты коррозии конструкционных материалов, примеси теплоносителя и замедлителя, ядра топлива, воздух приреакторных помещений и др. Большая часть радиоактивных веществ, которые образуются в процессе работы реактора, сконцентрирована в топливе.

Незначительная часть продуктов деления, образующаяся при нормальной работе реактора из топлива в теплоноситель, и часть продуктов нейтронной активации, получающихся вне топливных элементов, в результате выполнения некоторых технологических операций постоянно или периодически выводятся в системы обработки и хранения станции и образуют эксплуатационные радиоактивные отходы АЭС. Также к РАО АЭС относят отходы от снятия АЭС с эксплуатации: демонтаж оборудования, разборка зданий и т. д.

Классификация радиоактивных отходов осуществляется на всех стадиях обращения с РАО: в момент образования, в процессе переработки, при хранении, транспортировке, при определении способа окончательного удаления. На данный момент нет универсальной системы классификации РАО, хотя попытки создания такой системы предпринимаются.

Существуют разные качественные и количественные системы классификации РАО, разработанные с учетом требований радиационной и экологической безопасности, технологических особенностей обработки, транспортирования, хранения, захоронения. Так, например, классификация на

уровне государственного регулирования с целью регламентации требований обеспечения безопасности предполагает наличие информации о потенциальной опасности образующихся отходов. Радиоактивные отходы АЭС с точки зрения их потенциальной опасности классифицируются по нескольким параметрам:

- по уровням активности и тепловыделения. Определяются количественные характеристики, т.е. высокий уровень активности отхода, средний уровень активности отхода, низкий уровень активности отхода, очень низкий уровень активности, т.е. отходы можно отнести к категории промышленных отходов;

- по периоду полураспада радионуклидов. Период полураспада определяет время потенциальной опасности, т.е. очень короткоживущие, короткоживущие, среднеживущие, долгоживущие;

- по характеру преобладающего излучения, т.е. α -излучатель, β -излучатель, β -, γ - излучатели.

Исходя из выше сказанной классификации РАО от эксплуатации АЭС в общем случае можно представить следующим образом:

- высокоактивные долгоживущие РАО, характеризующиеся значительным α -, β -, γ - излучением, высокой радиотоксичностью, сохраняющейся сотни тысяч лет, большим тепловыделением. К этой категории относят отработавшее ядерное топливо, если не предполагается его переработка, и высокоактивные отходы, образующиеся в случае его переработки, а также небольшое количество высокоактивных эксплуатационных отходов;

- среднеактивные долгоживущие РАО. Для них характерны средние уровни β -, γ - излучения, средние радиотоксичность и тепловыделение, значительное α -излучение. Сюда относятся фильтры, смолы, осадки, части оборудования;

- низкоактивные долгоживущие РАО. Характеризуются низкой β -, γ -активностью, незначительным тепловыделением и радиотоксичностью, значительным α -излучением. Это твердые отходы: сжигаемый мусор, металл, стекло, а также ЖРО от дезактивации оборудования;
- среднеактивные короткоживущие РАО. Средний уровень β -, γ - излучения, незначительная α -активность. Это концентраты, осадки, реактивы, отказавшее оборудование;
- низкоактивные короткоживущие РАО. Низкие α -, β -, γ - активность, радиотоксичность и тепловыделение. К ним относятся общий мусор, отходы от дезактивации оборудования, отслуживший инструмент и т.д.

На эксплуатационном уровне, помимо обязательной классификации РАО по степени их потенциальной опасности, осуществляется дополнительное разделение отходов на потоки внутри каждого класса, которое позволяет не только эффективно использовать существующие технологии обработки и кондиционирования, но и обеспечивает безопасность и требования к качеству конечных форм и упаковок отходов (эти требования определяются требованиями к транспортировке, хранению и захоронению для каждого класса отходов).

Начальная ступень классификации на эксплуатационном уровне – дифференцирование радиоактивных отходов согласно их физическому состоянию на твердые (ТРО), жидкие (ЖРО) и газообразные (ГРО). Такая классификация основана на особенностях технологических процессов при обращении с отходами в разных агрегатных состояниях и часто связана с конкретными технологиями. ЖРО могут быть далее классифицированы как водные и органические, твердые подразделены на сухие и влажные и др. Даже в такой простой системе классификации необходимо применение количественного подхода, например, для отличия твердых отходов от жидких, влажных твердых от сухих твердых отходов. ЖРО могут быть жидкости, содержащие относительно низкие концентрации твердых веществ (обычно

Прохождение РАО через эти стадии зависит от вида отходов, для выяснения которого проводится определение их физических, химических и радиационных свойств (характеризация). В результате часть отходов может быть освобождена от контроля или направлена на повторное использование; кроме того, отходы разделяются на группы для обеспечения соответствия принятым методам обработки, а также требованиям хранения и захоронения. Поясним каждую из вышеперечисленных стадий.

- Предварительная обработка является первоначальной стадией обращения с отходами, начинающейся сразу после их образования. Эта стадия чрезвычайно важна, в ее ходе предоставляется наилучшая возможность для разделения отходов на потоки, предназначенные для освобождения от контроля, для конкретных методов обработки, поверхностного или геологического захоронения.

- Обработка отходов направлена на повышение безопасности или экономичности посредством изменения характеристик отходов. Примерами операций, составляющих эту стадию обращения, являются: прессование и сжигание (уменьшение объема); выпаривание, фильтрация или ионный обмен в жидких отходах (удаление радионуклидов); осаждение или флокуляция химических веществ (изменение состава). Часто некоторые из этих процессов используются в сочетании друг с другом

- Кондиционирование РАО состоит из операций, в процессе которых они переводятся форму, обладающую химической, термической и радиационной устойчивостью и сохраняющую стабильность в процессе перемещения, перевозки, хранения и захоронения. Операции перевода отходов в твердую форму посредством их отверждения, включения в какую-либо матрицу или заключение в герметичные оболочки определяются термином иммобилизация. Иммобилизованные отходы в свою очередь могут упаковываться в различные контейнеры, начиная от обычных 200-литровых стальных бочек до толстостенных контейнеров сложной конструкции.

Выбор матричного материала (метода кондиционирования) зависит от характеристик и свойств отходов. Связующий материал должен обладать высокими изоляционными свойствами (стойкость к выщелачиванию), иметь хорошую совместимость с компонентами отходов, что обеспечивает минимальный объем конечного продукта. Матричные материалы для иммобилизации РАО бывают органические (битум, полимеры), неорганические (цемент, стекло, керамика, стеклокерамика), металлические и композиционные, состоящие из нескольких матриц. В настоящее время наиболее распространенными методами иммобилизации являются: отверждение ЖРО низкого и среднего уровней активности путем включения их в цемент (цементирование) или битум (битумирование), а также помещение высокоактивных ЖРО в стеклянную матрицу (остекловывание).

Важно подчеркнуть, что между различными стадиями или в рамках нескольких стадий могут происходить хранение и перевозка РАО.

- Захоронение – заключительная стадия обращения с РАО, заключающаяся в локализации отходов в специально оборудованном хранилище – могильнике при соответствующем обеспечении безопасности без намерения их изъятия, долгосрочного наблюдения за хранилищем и технического обслуживания. Захоронение предусматривает создание многобарьерной системы изоляции, т.е. сооружения вокруг РАО системы естественных и инженерных барьеров, препятствующих выходу радионуклидов в окружающую среду.

1.4 Первичная характеристика радиоактивных отходов

Начальными этапами всего цикла обращения с РАО после их образования являются их сбор, первичная характеристика, разделение по категориям и временное хранение. РАО должны быть собраны,

проанализированы, и разделены по категориям на месте их образования в соответствии с их физическими, химическими, биологическими и радиологическими свойствами. Эти действия облегчают последующую обработку отходов, повышают ее эффективность, способствуют снижению конечных объемов отходов, требующих хранения и захоронения. Общая стратегия сортировки и отдельного сбора отходов регламентируется нормативными документами и зависит от существующей системы обращения с радиоактивными отходами, которая определяет основные категории отходов, методы их обработки и захоронения.

Для обеспечения всех требований по сортировке, анализу и хранению РАО, организация, где они образуются и на которую возложено проведение этих операций, должны обладать соответствующей инфраструктурой. Она должна располагать необходимым оборудованием, в том числе, необходимым парком контейнеров, упаковок, помещениями для хранения РАО, техническими средствами для их перемещения, располагать профессиональным персоналом, владеющим методами анализа (измерений и расчетов), радиационного контроля, дезактивации, ликвидации радиационных аварий и т.д. Организация должна предпринимать необходимые организационные и технические меры для предотвращения смешивания РАО с отходами других видов. В отдельных случаях, как будет видно из дальнейшего, от организации может потребоваться проведение некоторой предварительной обработки отходов на месте их сбора. Отдельный сбор и сортировка отходов на месте их образования на основании их характеристик является одним из способов минимизации отходов, и позволяет:

- предотвратить попадание нерадиоактивных отходов в категорию радиоактивных, и таким образом избежать необоснованных затрат на их последующую обработку, хранение и захоронение;
- отделить отходы с низкими уровнями активности от более высокоактивных;

- повторно использовать либо вернуть в производственный цикл материалы и оборудование, обладающие определенной либо значительной ценностью.

Во всех случаях важно отделить радиоактивные отходы от нерадиоактивных и ограничить распространение радиоактивного загрязнения или перекрестное загрязнение, что способствует минимизации радиоактивных отходов.

Газообразные РАО, возникающие в результате деятельности организации, подлежат обезвреживанию на месте их образования, для чего предусматривается [2].

1.5 Эксплуатационные отходы АЭС и методы их переработки

Все эксплуатационные РАО АЭС с момента их образования претерпевают целый ряд процедур обращения с целью исключения негативного воздействия на человека и окружающую среду на весь срок сохранения отходами потенциальной опасности. При работе АЭС в штатных режимах образуются ТРО, ЖРО и ГРО. В данной работе будет рассматриваться обработка ЖРО. Приведем их характеристику и методы переработки.

Жидкие радиоактивные отходы – радиоактивные отходы в виде водных или жидких органических продуктов, содержащих радионуклиды в растворенной форме или в виде взвесей [1].

Основными источниками ЖРО на АЭС являются:

- протечи первого контура, содержащие теплоноситель с продуктами деления и продукты активации нейтронами различных веществ;
- растворы, пульпы сорбентов, образующиеся при очистке теплоносителя;

- организованные и неорганизованные протечки теплоносителя; воды бассейнов выдержки отработанного топлива;
- растворы, использованные при дезактивации оборудования и помещений АЭС;
- растворы при стирке спецодежды;
- душевые воды санпропускников.

Задача очистки жидких отходов на АЭС заключается в том, что внутри АЭС необходимо установить нормальную радиационную обстановку для того, чтобы предотвратить попадание радионуклидов в окружающую среду. В связи этим на АЭС действует не одна установка, а целый комплекс установок, которые основаны на разных принципах работы. Установки обеспечивают очистку от радионуклидов всех вод, использующихся и образующихся в технологических процессах [3, с.26-27].

Так для переработки ЖРО предусмотрены СВО, в которых ЖРО очищается до уровня, позволяющего использовать полученный в результате очистки дистиллят для производственных нужд. Кроме дистиллята в результате переработки ЖРО образуются кубовый остаток высокой активности и радиоактивные газы. Работа установок по переработке жидких радиоактивных отходов приводит и к накоплению вторичных ЖРО: отработавших сорбентов, пульпы, а также регенерационных и промывочных растворов, о которых упоминалось выше, которые так же требуют переработки

В зависимости от физико-химического состава ЖРО подразделяются:

- на гомогенные (водные или органические растворы);
- на гетерогенные (пульпы, эмульсии, суспензии);
- на высокосолевые и малосолевые [8, с.1718].

Радиоактивные водные растворы представляют более 99% всех образующихся ЖРО.

По удельной активности и радионуклидному составу ЖРО делятся на низко-, средне- и высокоактивные.

ЖРО хранятся на промплощадке АЭС, в хранилище жидких радиоактивных отходов (ХЖО) и представляют собой высокоминерализованные растворы с солесодержанием 200300 г/л, а также отработанные ионообменные материалы и сорбенты. Их жидкая фаза независимо от типа реактора имеет щелочную реакцию и высокую окисляемость. Химический состав ЖРО всех АЭС представлен в основном различными солями натрия. Содержание нитратов составляет 3040 г/л для энергоблоков с реактором ВВЭР и 80100 г/л для реакторов РБМК.

В процессе эксплуатации АЭМ с ВВЭР1000 имеют место потери борной кислоты, составляющие 2030 т/год на один энергоблок. Это приводит к тому, что содержание солей борной кислоты в ЖРО АЭС с ВВЭР1000 может составлять до 50 % общего солесодержания.

В состав ЖРО входят оксалаты натрия, органические вещества, комплексоны, а в отходах АЭС с ВВЭР1000, кроме того, содержатся бораты натрия .

Активность ЖРО АЭС с энергоблоками ВВЭР и РБМК в основном обусловлена наличием ^{134}Cs и ^{137}Cs (7090 %). Содержание других радионуклидов (^{90}Sr , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb) меньше на два-четыре порядка.

В таблице 1.2 приведены данные [9] по среднегодовому накоплению ЖРО для АЭС с реакторами типов ВВЭР и РБМК. Там же для сравнения представлены данные [1011] средние количества ЖРО, образующихся в год в ходе эксплуатации энергоблоков с реакторами ВВЭР и РВЭР электрической мощностью 1300 МВт.

Таблица 1.2 Среднегодовое накопление ЖРО для энергоблоков с различными типами реакторов

Параметр	ВВЭР440	ВВЭР1000	РБМК1000
Количество КО, поступающего в ХЖО, м ³ /год	120170	220300	10001200
Среднее солесодержание КО, г/л	300400	300400	200250
Общее количество образующихся солей, т/год	50	90	250
Удельная активность КО, 10 ⁻⁵ Ки/л	5,0	5,0	5,0
Количество низкоактивных сорбентов, м ³ /год	8,0	16,0	62,0
Удельная активность, 10 ⁻³ Ки/кг	3,0	3,0	3,0
Количество высокоактивных сорбентов, м ³ /год	3,0	5,3	22,0
Удельная активность высокоактивных сорбентов, 10 ⁻² Ки/кг	5,0	5,0	5,0
Количество перлита, м ³ /год			9,0
Удельная активность перлита, 10 ⁻² Ки/кг			2,0
Количество ЖРО западноевропейских энергоблоков, м ³ /год	Энергоблок с BWR 1300 МВт (эл)	Энергоблок с PWR 1300 МВт (эл)	
	300	80	
Удельная активность западноевропейских энергоблоков, Ки/год	1400	840	

ЖРО ядерного энергоблока проходят предварительную очистку и обработку, затем перерабатываются на установках глубокого упаривания, после чего отверждаются включаются в состав связывающих компонентов: битума, цементного раствора, стекла или керамики [8, с.1920].

Обработка ЖРО в основном направлена на решение двух первоочередных задач:

1. Очистка основной массы отходов от радионуклидов;
2. Концентрирование очищенных отходов от радионуклидов в минимальном объеме, для последующего захоронения или долговременного хранения в контролируемых хранилищах.

При выборе наиболее производительного и экономически выгодного способа сокращения объемов отходов принимают во внимание количество жидких отходов, и химический и радиохимический состав, уровень суммарной активности, возможность возврата отходов на повторную обработку, присутствие в жидких отходах взвесей [12].

Для очистки и переработки жидких отходов на АЭС используют следующие методы:

- термические;
- сорбционные;
- мембранные методы

Однако, выше указанные методы, по отдельности не нашли широкое применение в промышленных масштабах, так как ни один из известных методов не обеспечивает эффективной очистки, если его не комбинировать с другими методами, поэтому методы очистки и переработки ЖРО обычно применяют комплексно. В связи с этим система очистки ЖРО на АЭС обычно представляет собой последовательную цепочку различных установок [6]. Приведем краткое описание некоторых из методов.

1.5.1 Термические методы

Одними из наиболее распространенных и удобных способов переработки ЖРО, отличающийся высокой степенью очистки отходов от радиоактивных веществ: $K_{оч}=10^4-10^6$, являются термические методы, например, дистилляция или метод глубокого упаривания. Реализуют этот метод, используя специальные выпарные аппараты (перегонные кубы), с подводом тепла водяным паром через стенку аппарата.

Дистилляцию проводят, испаря ЖРО в дистилляторах (испарителях, выпарных аппаратах) с последующей конденсацией пара в охладителях (конденсаторах).

Очистка воды основана на весьма малой растворимости примесей в паре. Загрязнение пара за счет капельного уноса зависит от размера капель и содержания в них примесей. Т.к. содержание примесей в воде, обрабатываемой методом дистилляции на АЭС, велико, капельный унос

приобретает основное значение. Загрязнение пара вследствие капельного уноса описывается соотношением:

$$S_{\text{п}} = S_{\text{к.в.}} \omega, \quad (1.1)$$

где $S_{\text{п}}$ и $S_{\text{к.в.}}$ содержание примесей соответственно в паре и кипящей воде, ω коэффициент механического уноса (влажность пара).

Большим преимуществом обработки ЖРО методом дистилляции является то обстоятельство, что объем вторичных жидких РАО, требующих захоронения, минимален. Но есть и недостаток, т.к некоторые радиоактивные элементы, как радионуклиды йода, улетучиваются вместе с паром.

В целом же метод дистилляции весьма эффективен; он обеспечивает высокий коэффициент очистки ЖРО, как говорилось выше. Выпарные аппараты включены в схемы обработки ЖРО практически всех АЭС. Зачастую выпарные установки выполняются многокорпусными. Многокорпусные выпарные установки состоят из нескольких соединенных последовательно выпарных аппаратов.

Наряду с дистиллятом конечным продуктом выпарной установки является жидкий кубовый остаток. В целях его дальнейшей переработки применяются дополнительно упаривание в специальной установке – установке глубокого выпаривания. Перед подачей на установку жидкий солевой концентрат (кубовый остаток) должен отстояться в промежуточной емкости, что бы в нем отсутствовали радионуклиды йода–131 и инертные газы.

Термический метод обычно дополняют сорбционные – удаление радионуклидов в результате адсорбции, ионного обмена, адгезии и т.д. [8, 12].

1.5.2 Сорбционные методы

Сорбционные методы предполагают удаление радионуклидов из жидких отходов в виде твердой фазы в результате адсорбции, ионного обмена,

адгезии, кристаллизации и т. п. Сорбцию проводят также в специальных аппаратах в динамических или в статических условиях на насыпных или намывных фильтрах. На практике в качестве фильтрующих материалов в основном применяют специальные ионообменные смолы.

Сущность ионного обмена заключается в извлечении из водных растворов различных ионов посредством обмена их на другие ионы, входящие в состав фильтрующих материалов ионитов

Обработка воды методом ионного обмена заключается в пропуске ее через слой ионитов, загруженных в насыпной фильтр или намытых тонким слоем в намывном слое. Удаление из воды радионуклидов способом ионного обмена основано на том, что многие радионуклиды находятся в виде ионов или коллоидов, которые при контакте с ионитом так же сорбируются фильтрующим материалом.

Обработка радиоактивных вод методом ионного обмена считается экономически выгодной только при солесодержании воды, не превышающем 1 г/л. В противном случае смолы быстро истощаются. Замена фильтрующего материала ввиду большой стоимости ионитов обходится дорого, а регенерация приводит к появлению большого количества высокоактивных жидких отходов, которые необходимо перерабатывать перед захоронением. Поэтому при обработке высокоминерализованных радиоактивных вод предусматривается предварительное обессоливание их методом дистилляции или обратного осмоса.

К недостаткам ионного обмена следует отнести также высокую стоимость ионитов, большой расход реагентов для регенерации образование значительных количеств для ЖРО, низкую термическую и радиационную стойкость ионитов и низкую эффективность при очистке сильно загрязненных высокоминерализованных вод. Однако метод прост, надежен и обеспечивает достаточно высокие значения коэффициента очистки для ЖРО.

Среди долгоживущих радионуклидов, определяющих радиоактивность теплоносителей и ЖРО АЭС, наибольшее значение имеют следующие

элементы: ^{137}Cs ($T_{1/2}=30,17$ года), ^{134}Cs ($T_{1/2}=2,06$ года), ^{60}Co ($T_{1/2}=5,27$ года) и в меньшей степени ^{90}Sr ($T_{1/2}=30$ лет), ^{54}Mn ($T_{1/2}=312,3$ суток).

Для извлечения радионуклидов цезия из ЖРО, представляющих собой многокомпонентные растворы, наиболее приемлемым является сорбционный метод с применением селективных неорганических сорбентов. По сравнению с органическими ионообменниками неорганические сорбенты имеют такие преимущества, как высокие химическая, радиационная и термическая устойчивости. Этими качествами в значительной степени обладают ферроцианидные сорбенты, изготовленные с использованием пористых алюмосиликатов. Сорбенты этого класса проявляют достаточно высокое сродство с радионуклидами кобальта в отношении сорбции из технологических растворов с ограниченной концентрацией солей, не содержащих комплексообразующих веществ.

Использование селективных методов для переработки ЖРО позволяет:

- значительно сократить объем образующихся в результате переработки отходов по сравнению с исходным объемом радиоактивных отходов;
- обеспечить стабильность образующегося продукта и низкую степень выщелачивания из него радионуклидов;
- обеспечить простоту и надежность применяемой технологии;
- осуществить переработку ЖРО сложного химического состава и отработанных ионообменных смол;
- исключить образование вторичных ЖРО или иметь возможность и переработки применяемым методом.

1.5.3 Мембранные методы

Из мембранных методов для переработки ЖРО наибольший интерес представляют обратный осмос, электродиализ и ультрафильтрация. Эти

методы заимствованы из практики опреснения засоленных вод, где основная задача сводится к разделению воды и соли. Такое разделение достигается избирательным прохождением через мембраны ионов (электродиализ) или воды (обратный осмос) под воздействием, соответственно, разности электрических потенциалов или перепада давления. Ультрафильтрация отличается от обратного осмоса использованием мембран с более крупными порами, требующих для фильтрования меньших перепадов давления (обычно до 1 МПа). При этом через мембрану проходят воды и соли, а коллоиды и крупные органические молекулы размерами от 2 до 10 000 нм задерживаются.

Таким образом, к настоящему времени сложился ряд используемых на практике технологических приемов, позволяющих оптимально проводить обработку РАО. Стандартные технологии, применяемые для обработки радиоактивных отходов, представлены в таблице Б1 приложения Б.

Обращение с РАО АЭС оказывает существенное влияние на развитие ядерной отрасли. Поэтому стратегия по обращению с радиоактивными отходами АЭС должна быть эффективной и предусматривать все стадии обработки от момента образования отходов до их окончательного захоронения. Эффективная стратегия так же должна учитывать, что время не стоит на месте и постоянно появляются новые, более совершенные технологии, изменения в законодательстве, длительность временных интервалов, разделяющих начальные и конечные стадии процесса обращения, и др. [6, 8, 12].

1.6 Обработка жидких радиоактивных отходов на КолаАЭС

Обработка ЖРО важный этап работ по выводу ядерного энергоблока из эксплуатации. Вид РАО и их количество определяются типом выводимой из эксплуатации установки, условиями и продолжительностью ее работы. Для энергоблока с реактором типа ВВЭР в состав ЖРО входят:

- соляной плав;
- кубовый остаток;
- раствор борной кислоты №
- пульпы смол и сорбентов, шламы;
- дезактивирующие растворы и конденсаты;
- воды спецрабочей и санпропускников.

Принятая в проектах действующих энергоблоков технология обращения с жидкими радиоактивными средами заключается в упаривании трапных вод, регенератов ионообменных установок, сточных спецрабочей и хранении кубовых остатков в емкостях хранилищ жидких радиоактивных отходов ХЖО.

Активность кубового остатка, находящегося в емкостях хранилищ, определяется, в основном, наличием следующих радионуклидов:

- ^{137}Cs 57 %;
- ^{134}Cs 41 %;
- Остальные (по убывающей): ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 2 %.

В составе кубового остатка АЭС с ВВЭР присутствует значительное количество боратов. Примерный состав кубовых остатков на АЭС для энергоблоков типа ВВЭР приведен в таблице 1.4. Состав кубовых остатков для различных реакторов отличаются своим составом.

Таблица 1.3 – Характерный химический состав кубового остатка ЖРО для реактора типа ВВЭР

Показатель	Содержание, г/л
Общее солесодержание	300 – 400
Азотнокислый натрий и калий	200 – 250
Оксалат натрия ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	25 – 28
Соединения борной кислоты в пересчете на $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	50 – 60
Карбонат натрия Na_2CO_3	20 – 25
Едкий натр NaOH	25 – 30
Органические вещества, включая СПАВ	30 – 40
Взвешенные вещества (шлам)	5 – 10
Содержание сухих веществ в уплотненном слое шлама	200

Основным направлением по обращению с кубовыми остатками является перевод накопленных и образующихся при работе энергоблоков отходов в отверженное состояние с максимально возможным сокращением объема и получения кондиционированных отходов, пригодных к контролируемому безопасному хранению и последующему захоронению.

Традиционными методами переработки кубовых остатков являются:

- глубокое упаривание. Выпаривание (концентрирование) – используется для уменьшения объема ЖРО. При использовании выпарных аппаратов может происходить уменьшение исходного объема в 20-100 раз. Существуют также специальные установки – установки глубокого упаривания, позволяющие получать концентрации солей (всех, а не только радиоактивных) до 400-1200 г/л (т.н. «солевой плав»).

- цементирование. Цементирование – включение ЖРО (часто – после концентрирования) в цементную матрицу, иногда – совместно с твердыми РАО. Также в матрицу включаются специальные добавки – сорбенты и др. Наиболее распространенный метод кондиционирования. Недостатком является увеличение объема при цементировании. Коэффициент сокращения объема – 0,9–3,0.

- битумирование. Битумирование – включение солей из ЖРО (после предварительного концентрирования) в битумный компаунд. Метод используется ограниченно в связи с тем, что получаемый битумный компаунд является горючим веществом, что приводит к удорожанию его хранения. Коэффициент сокращения объема – 1,5–5,0.

- остекловывание. Остекловывание – включение солей из ЖРО в стеклоподобную матрицу. Широко используется в мире, в основном – для кондиционирования высокоактивных отходов. Может использоваться для среднеактивных отходов (метод реализован в ГУП «МосНПО «Радон») и даже низкоактивных отходов (после предварительного концентрирования), но

экономическая целесообразность не всегда обоснована. Коэффициент сокращения объема – 3–4.

Эти методы позволяют перевести ЖРО в инертную форму, пригодную для захоронения, но не дают значительного сокращения объема конечного радиоактивного продукта.

Более перспективным способом представляется селективное извлечение из массы солей радионуклидов и перевод очищенных солей в разряд промышленных отходов, т.к стоимость хранения ниже, а условия проще.

Известно использование метода селективной сорбции, но без очистки растворов от радионуклидов переходных металлов, для переработки кубовых остатков на АЭС Ловиза (Финляндия).

В России так же применяется метод ионоселективной очистки кубовых остатков от всех радионуклидов с переводом неактивных балластных солей в солевой плав, являющийся нерадиоактивным твердым отходом. Данный метод осуществляется на комплексе по переработке жидких радиоактивных отходов (КП ЖРО) и применяется на АО Концерн Росэнергоатом Кольская атомная станция.

Комплекс по переработке жидких радиоактивных отходов на КолАЭС ввели в эксплуатацию в 2006 году. Технический проект КП ЖРО разрабатывали специалисты Санкт Петербургского института «Атомэнергопроект», а так же специалисты Кольской АЭС, «РАОТЕХ» и NUKEM GmbH (Германия). Проект включает в себя несколько направлений переработки ЖРО.

Первое, это изъятие ЖРО из баков хранения кубового остатка системой изъятия ЖРО, которая предназначена для растворения кристаллических отложений солей, накопленных в баках кубового остатка в хранилищах жидких радиоактивных отходов I и II очередей АЭС и подачи растворов солей на установку очистки от радионуклидов [26]. Декантат, в виде жидкой части кубового остатка, откачивается и перерабатывается. Кристаллическая часть кубового остатка размывается с помощью устройства размыва после чего

изымается из бака. Кристаллы размываются следующим образом. В ёмкость с жидкими отходами помещается устройство размыва и погружной насос, соединенные с предварительно смонтированным шлангом, и погружаются в бак с помощью цепной тали. Устройство размыва называется «кроллер». Через форсунки кроллер размывает кристаллизовавшуюся часть, размыв может происходить несколькими способами. Способы размыва можно посмотреть в приложении Б на рисунке Б1. Прикрепленный к кроллеру насос подает получившийся раствор солей на установку очистки от радионуклидов.

Система очистки растворов от радионуклидов предназначена для очистки от радионуклидов кобальта, цезия и продуктов коррозии высоко-солевых растворов – кубовых остатков, извлекаемых из баков хранилищ жидких радиоактивных отходов I и II очередей. На установке раствор озонируется.

При озонировании кубовых остатков происходит несколько процессов. Имеет место разрушение комплексов и органических веществ, отравляющих сорбенты. В результате разрушения комплексов ^{60}Co и ^{54}Mn переходят в сорбируемую форму. В тоже время, происходит образование твердой фазы гидроксидов и оксидов переходных металлов (Fe, Ni, Cr и др.), присутствующих в исходном кубовом остатке. На гидроксидах и оксидах происходит соосаждение радионуклидов кобальта и марганца за счет адсорбционных процессов. Полнота окисления комплексов в значительной степени определяет степень извлечения радионуклидов Co и Mn.

Для отделения шламов органических комплексов, образующихся в результате окисления растворов кубовых остатков, используется двухступенчатый способ фильтрации. Первая ступень – предварительная фильтрация на сетчатом фильтре с размером ячеек 10 мкм, вторая ступень – ультрафильтрация на мембранном фильтре с размером пор не более 0,2 мкм на керамической подложке.

Таким образом, основными технологическими стадиями процесса очистки ЖРО на установке ионоселективной очистки являются озонирование, фильтрация и селективная сорбция. После озонирования и фильтрации

очищаемый раствор направляют на селективную сорбцию цезия на ферроцианидном сорбенте Термоксид-35. Замена селективных сорбентов производится после достижения установленной объемной активности сорбента или заданной мощности дозы излучения на поверхности фильтра-контейнера, содержащего сорбент. Конечными продуктами переработки являются: очищенный от радионуклидов солевой раствор, отработавший сорбент в фильтрах-контейнерах (объемная активность в сотни раз выше, чем у исходного ЖРО) и шлам с фильтров, образующийся в результате озонирования (объемная активность находится на уровне исходных ЖРО) [27]. Полученный «чистый» раствор далее поступает на установку концентрирования (установку глубокого упаривания), в результате работы которой получается солевой нерадиоактивный плав. Соляной плав в дальнейшем размещаются в 200-литровые бочки и направляется в хранилище отверждённых радиоактивных отходов (ХОРО КолАЭС). Соляной плав имеет следующий состав.

Таблица 1.4 – Химический состав солевого плава (справочные данные)

Компонент	Содержание компонента в граммах на килограмм плава
Калий	65,6
Натрий	186,9
Нитрат - ион	462,3
Сульфат - ион	25,4
Хлорид - ион	11,8
Борная кислота	107,4
Ацетат - ион	90,2

Соляной плав по своей сути имеет практически аналогичный состав исходного кубового остатка, за исключением радиоактивных элементов (Cs, Co, Mn). На данный момент ведутся научные исследования по переработке и промышленному использованию полученного сырья. Солевой плав богат боратами (соли бора). Если изыскания пройдут успешно, то в итоге получится практически безотходное производство. На сегодняшний день переработка ЖРО организована таким образом, что позволяет минимизировать объём получаемых отходов.

Приведем блок-схему переработки кубовых остатков на КолаЭС на рисунке 1.2.

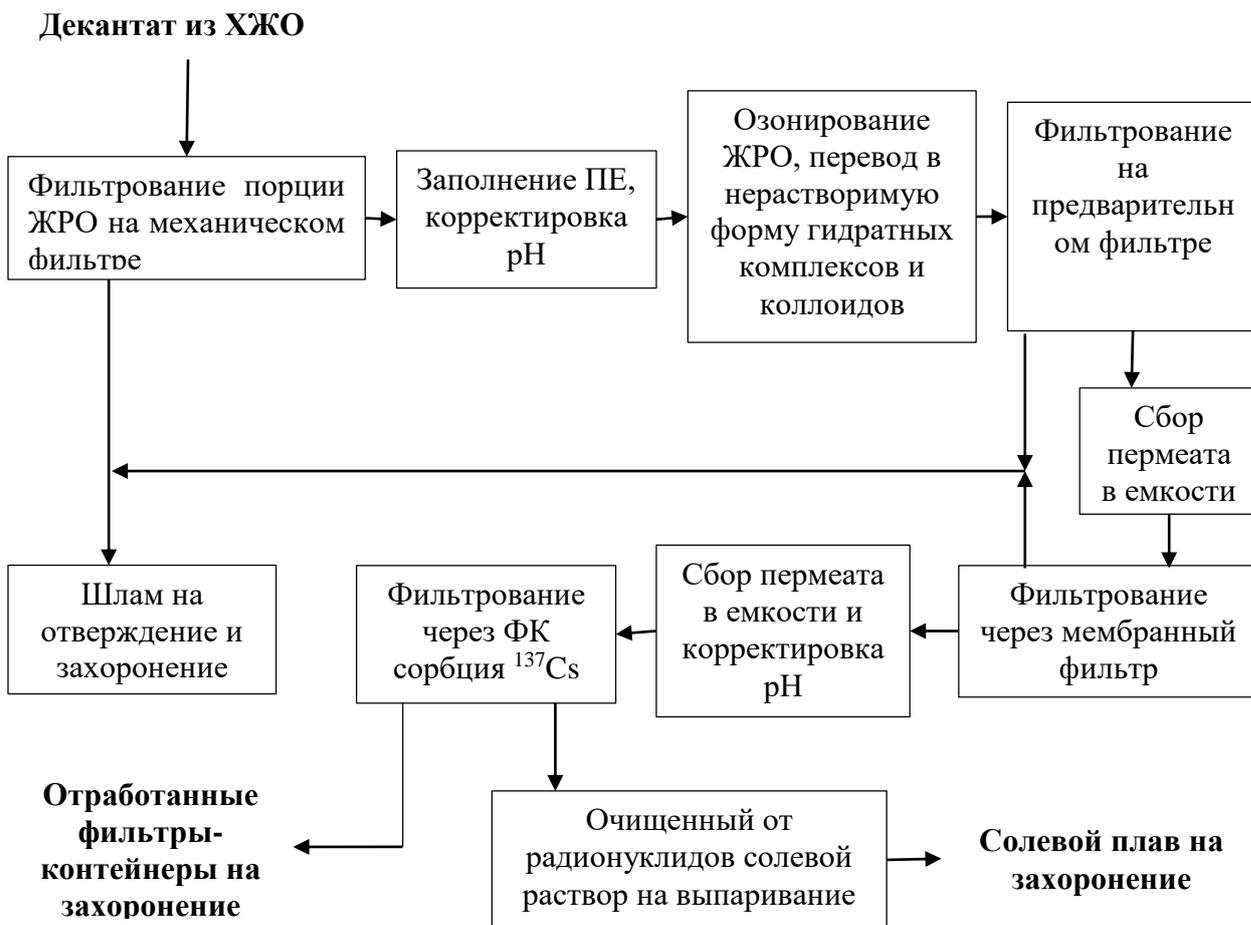


Рисунок 1.2 – Блок – схема технологии очистки кубового остатка АЭС

Данный метод безусловно хорош и уникален, однако, как и другие методы содержит множество ступеней переработки кубового остатка, что экономически не целесообразно, поэтому актуален поиск новых путей переработки. В данной выпускной квалификационной работе предлагается плазменный метод переработки таких отходов.

2 Моделирование процесса плазменной переработки кубовых остатков ЖРО

2.1 Расчёт показателей горения водно-солеорганических композиций на основе кубовых остатков ЖРО

Жидкими горючими композициями считают композиции с низшей теплотой сгорания более 8,4 МДж/кг [17]. Теплоту сгорания горючей композиции следует подсчитывать как теплоту сгорания влажного топлива $Q_{н}^p$ (МДж/кг):

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

где $Q_{н}^c$ – 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 °С, МДж/кг.

Показано [17], что теплота сгорания жидких горючих композиций не является надежным показателем их горючести, поскольку не связана однозначно с жаропроизводительностью $T_{ж}$ (°С), рассчитываемой по формуле:

$$T_{ж} = \frac{Q_{н}^p}{(v \cdot c)}, \quad (2.2)$$

v и c – соответственно выход и средняя объемная теплоемкость продуктов сгорания горючих компонентов композиции, м³/кг и МДж/(м³·град).

Жидкие композиции становятся горючими при определенных 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 с $Q_{н}^p \geq 8,4$ МДж/кг является завышенной для многих производственных

композиций, содержащих горючие компоненты с низкими значениями Q_n^c , но с высокой жаропроизводительностью [16].

Более объективным показателем горючести жидких горючих композиций является их адиабатическая температура горения. В отличие от авторов работы [18] нами предложен более объективный показатель горючести жидких горючих композиций в виде адиабатической температуры горения в следующем виде:

$$T_{ад} = \frac{Q_n^p + C_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \nu_{ок}^0 \cdot C_{ок} \cdot t_{ок}}{\nu \cdot C}, \quad (2.3)$$

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

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

α – коэффициент расхода окислителя;

$\nu_{ок}^0$ – теоретический расход окислителя, м³/м³;

$C_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя, (кДж/м³/град);

$t_{ок}$ – температура окислителя, °С;

C – удельная равновесная теплоемкость продуктов плазменной обработки горючих композиций [кДж/кг·°С].

Как показали опыты по сжиганию жидких горючих композиций, достаточное и полное их сгорание в камерах с небольшими потерями тепла в окружающую среду наблюдается при $T_{ад} \geq 1200$ °С, причем эта температура необходима и достаточна для самостоятельного горения таких композиций [16].

В главе 1 данной выпускной квалификационной работы говорилось о том, как в настоящее время перерабатываются кубовые остатки ЖРО. Кратко перечислим:

- глубокое упаривание;
- цементирование;
- битумирование;
- остекловывание.

Перечисленные методы позволяют перевести ЖРО в форму, пригодную для захоронения, однако данные методы не совсем целесообразны ввиду малого сокращения объема конечного радиоактивного продукта. Поэтому наиболее перспективным и качественным методом является ионо-селективный метод, который имеет так же свои недостатки, например, он многостадийен.

Таким образом, сегодня отсутствует какая-либо ресурсоэффективная и экологически безопасная технология, применяемая в производственных масштабах для прямой утилизации кубовых остатков ЖРО, а традиционные методы требуют высоких ресурсо- и капиталовложений из-за их многостадийности и малого сокращения объемов конечного продукта.

Представляет интерес предварительное извлечение из кубовых остатков ЖРО высокоактивных радионуклидов (Cs^{137} , Cs^{134} и др.) и перевод их в низко-активные отходы (НАО) в виде просто кубовых остатков (КО), имеющих следующий состав (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Состав кубового остатка [3]

Соединение	Содержание, %
KNO_3	11,25
$NaNO_3$	11,25
$Na_2C_2O_4$	2,75
$Na_2B_4O_7$	5,5
Na_2CO_3	2,25
$NaOH$	2,75
H_2O	64,25

Дальнейшее существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке КО в виде оптимальных по составу ВСОК, имеющих $Q_{н}^p \geq 8,4$ МДж/кг.

По приведенной выше методике были проведены расчеты показателей горения для различных по составу композиций «КО – этанол» и «КО – ацетон».

Выдержки из расчетов приведены в таблице 2.2 и 2.3. Все остальные значения приведены в приложении В в таблицах В1 и В2 соответственно.

Таблица 2.2. – Показатели горения композиций «КО–этанол»

Состав ВСОК на основе КО и этанола, %			Q ^н _р , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание этанола		
27,17	48,83	24	5,64	792,20
26,46	47,54	26	6,25	872,30
25,74	46,26	28	6,85	952,40
25,03	44,97	30	7,46	1032,51
24,67	44,33	31	7,76	1072,57
24,31	43,69	32	8,06	1112,62
23,59	42,41	34	8,66	1192,72
22,88	41,12	36	9,27	1272,82
22,17	39,83	38	9,87	1352,93
21,45	38,55	40	10,48	1433,03

Таблица 2.3. – Показатели горения композиций «КО–ацетон»

Состав ВСОК на основе КО и ацетона, %			Q ^н _р , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание ацетона		
27,17	48,83	24	6,35	935,82
26,45	47,55	26	7,01	1028,69
25,74	46,26	28	7,68	1121,56
25,03	44,97	30	8,34	1214,43
24,67	44,33	31	8,67	1260,86
24,31	43,69	32	9,00	1307,30
23,60	42,40	34	9,66	1400,16
22,88	41,12	36	10,33	1493,03
22,17	39,83	38	10,99	1585,90
21,45	38,55	40	11,65	1678,77

Из полученных результатов расчетов выбираем следующие горючие композиции с Q^н_р ≥ 8,4 МДж/кг:

- ВСОК–1 (23,6 % КО : 42,4 % вода : 34 % этанол).
- ВСОК–2 (24,7 % КО : 44,3 % вода : 31 % ацетон).

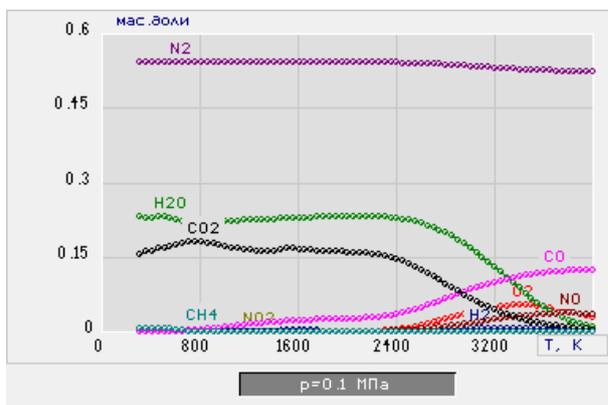
2.2 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной обработки водно-солеорганических композиций на основе кубовых остатков

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки КО в виде ранее полученных горючих композиций ВСОК–1 и ВСОК–2. Для расчётов использовалась лицензионная программа TERRA.

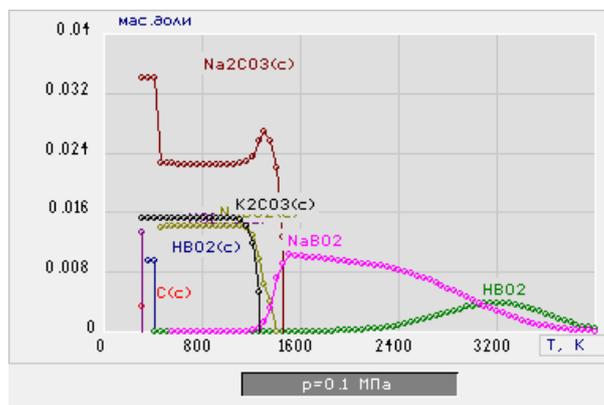
Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300÷4000) К и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (20÷80) %.

Целью расчетов является поиск режимов, обеспечивающих максимальную производительность процесса с минимальными энергозатратами. При этом, для каждой ВСОК подбиралась такая минимальная массовая доля плазменного теплоносителя (воздуха), которая обеспечивала полное окисление органического растворителя (ацетон, спирт) и не допускала появления сажи С(с) в продуктах плазменной обработки КО.

На рисунке 2.1 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки кубового остатка в виде горючей композиции ВСОК-1 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70%



а)

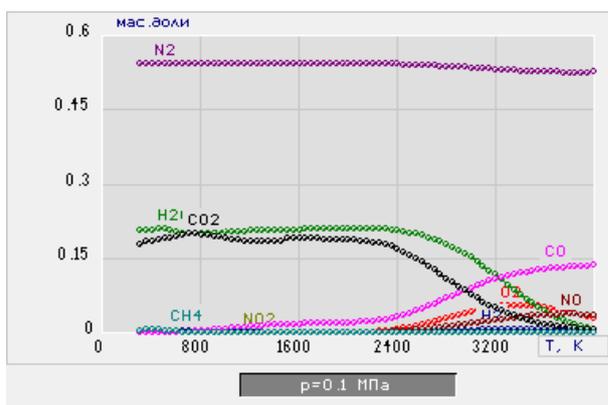


б)

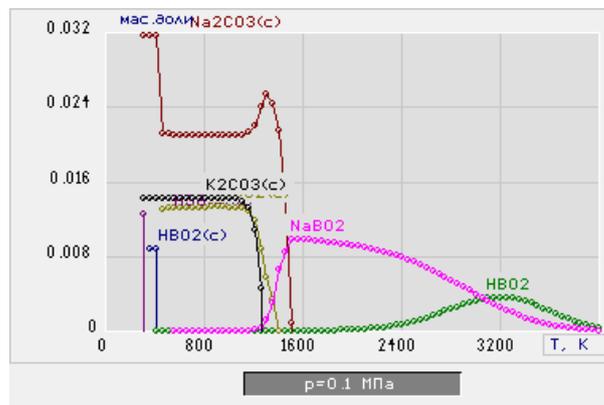
Рисунок 2.1 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки кубового остатка в виде ВСОК-1: (72 % воздух : 28 % ВСОК–1)

Из анализа равновесных составов (рисунок 2.1) следует, что при массовой доле воздуха 70 % и температурах до 1600 К образуются в газовой фазе, в основном, N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе – сложные соединения HVO_2 , H_3VO_3 , Na_2CO_3 , Na_2VO_2 и K_2CO_3 , а также присутствует сажа $C(s)$, что говорит о том, что процесс идет не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 70% до 72% (рисунок 2.2) не приводит к существенному изменению состава продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению сажи.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки кубового остатка в виде ВСОК-1: (72 % воздух : 28 % ВСОК–1)

Отсутствие сажи и незначительное количество СО и NO указывают на то, что процесс плазменной обработки композиции ВСОК-1 в воздушной плазме при массовой доле воздуха 72 % идёт в оптимальном режиме.

В работе проведены расчеты (оценка) теоретических энергозатрат на исследуемый процесс с использованием лицензионной программы «TERRA». При помощи данного программного комплекса была рассчитана полная энтальпия J_T продуктов плазменной обработки при различной массовой доле воздушного плазменного теплоносителя и температуре процесса. Общие энергозатраты по плазменной обработке определялись по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = J_T - J_{300} \text{ [кДж/кг]}, \quad (2.4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{общ}}$ – общие энергозатраты на процесс, кДж/кг;

J_T – полная энтальпия продуктов обработки при температуре T , кДж/кг;

J_{300} – полная энтальпия продуктов обработки при 300 К, кДж/кг.

Затем рассчитывались удельные энергозатраты на обработку 1 кг КО:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}_{\text{общ}}/Z \text{ [кДж/кг]}, \quad (2.5)$$

где Z – массовая доля КО при плазменной обработке в воздушной плазме в виде горючих ВСОК.

Результаты расчетов энергозатрат на процесс плазменной обработки кубовых остатков в виде горючей композиции ВСОК-1 представлены в таблице В3 приложения В и на рисунке 2.3.

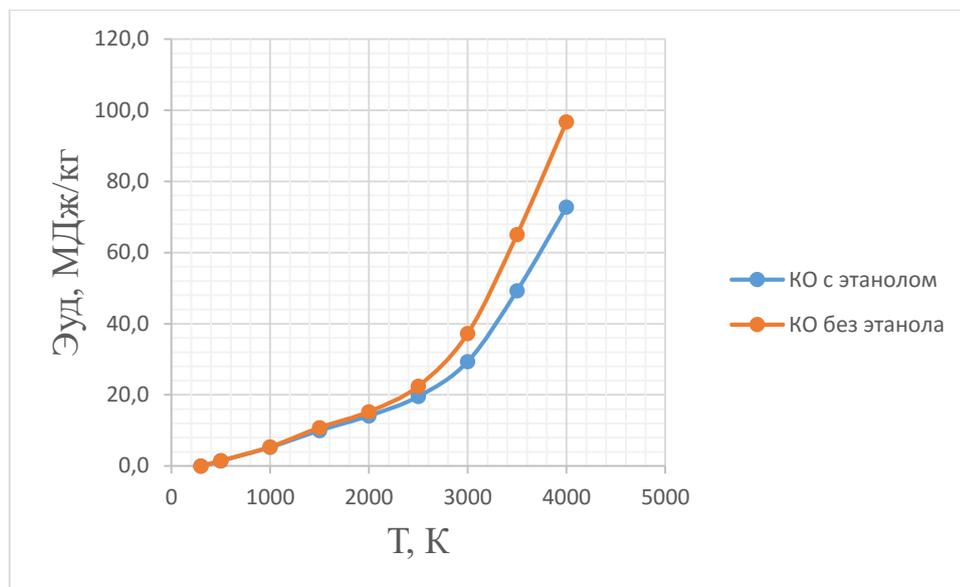
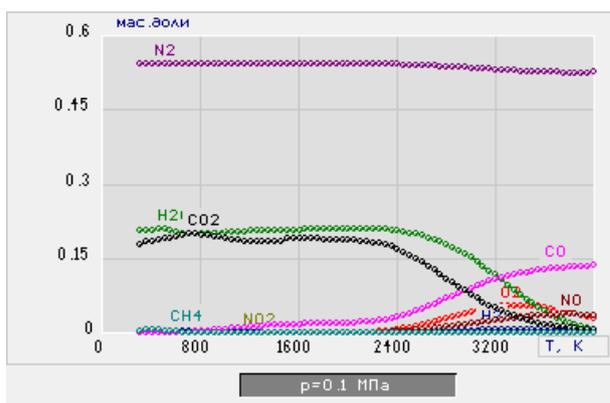
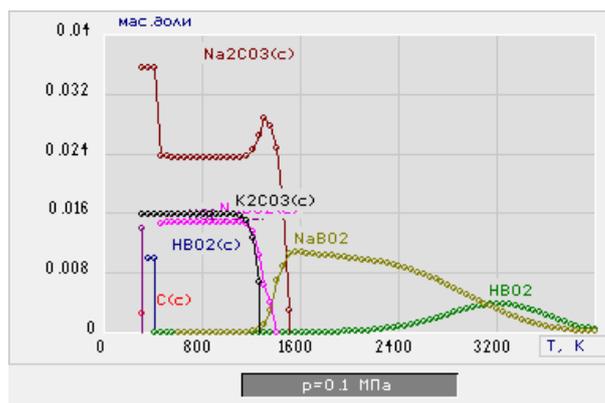


Рисунок 2.3 – Удельные энергозатраты на плазменную обработку 1 кг кубовых остатков в воздушной плазме

На рисунках 2.4 и 2.5 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной утилизации обработки кубового остатка в виде горючей композиции ВСОК-2 при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70 % и 72 % соответственно.

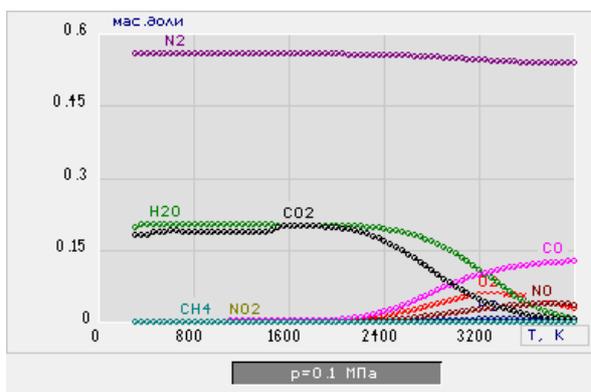


а)

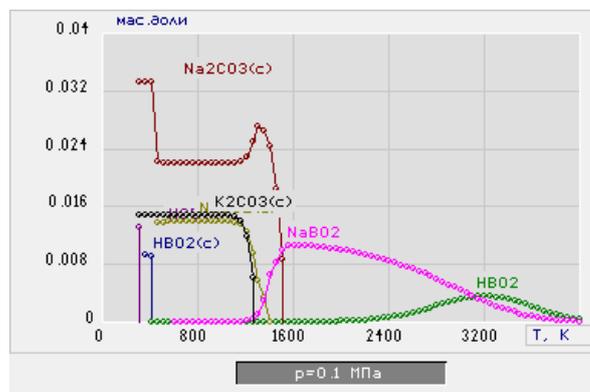


б)

Рисунок 2.4 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки кубового остатка в виде ВСОК-2: (70 % воздух : 30 % ВСОК-2)



а)



б)

Рисунок 2.5 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки кубового остатка в виде ВСОК-2:

(72 % воздух : 28 % ВСОК-2)

Из анализа равновесных составов (рисунок 2.4) следует, что при массовой доле воздуха 70 % и температурах до 1600 К образуются в газовой фазе, в основном, N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе – сложные соединения HBO_2 , H_3BO_3 , Na_2CO_3 , Na_2BO_2 и K_2CO_3 , а также присутствует сажа $C(s)$, что говорит о том, что процесс идет не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 70% до 72% (рисунок 2.5) не приводит к существенному изменению состава продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению сажи.

Отсутствие сажи $C(s)$ и незначительное количество CO и NO при массовой доле воздушного теплоносителя в 72 % указывают на то, что процесс плазменной утилизации композиции ВСОК-2 в воздушной плазме идёт в оптимальном режиме.

Результаты расчетов энергозатрат на процесс плазменной обработки кубовых остатков в виде горючей композиции ВСОК-2 представлены в таблице В4 приложения В и на рисунке 2.6.

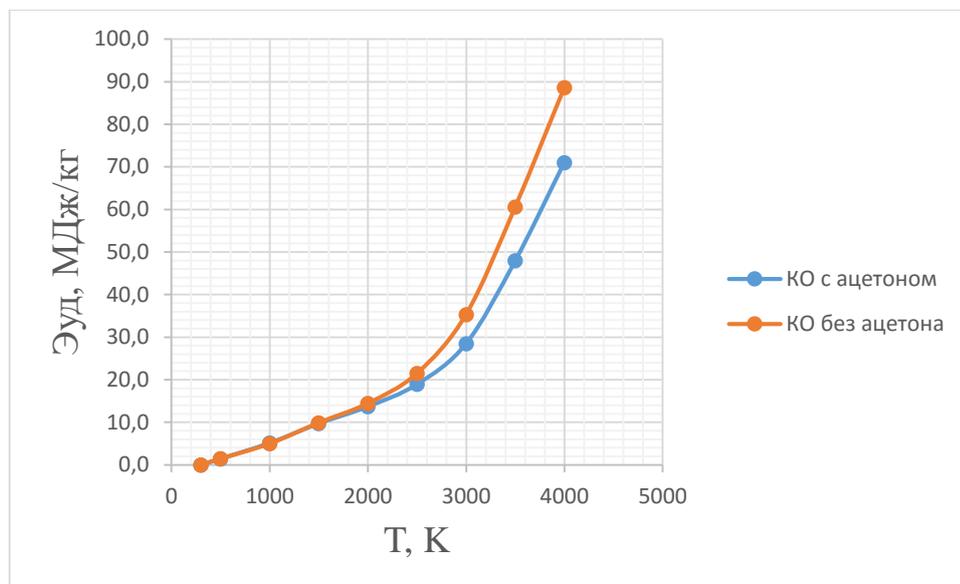


Рисунок 2.6 – Удельные энергозатраты на плазменную обработку 1 кг кубовых остатков в воздушной плазме

Таким образом, проведённые термодинамические расчеты и расчет энергозатрат для оптимальных по составу водно–солеорганических композиций на основе КО, спирта (ВСОК-1) и ацетона (ВСОК-2) показали, что процесс плазменной утилизации КО может протекать в оптимальном режиме.

С учётом полученных результатов определены для практической реализации процесса плазменной обработки КО в воздушной плазме следующие оптимальные режимы.

Для горючих композиций на основе этанола:

- ВСОК-1 (23,6 % КО :42,4 % вода : 34,0 % этанол);
- массовое отношение фаз (72% воздух : 28% ВСОК-1);
- интервал рабочих температур (1500±100) К.
- Эуд = 10 МДж/кг.

Для горючих композиций на основе ацетона:

- ВСОК-2 (24,7 % КО :44,3 % вода : 31 % ацетон);
- массовое отношение фаз (72 % воздух : 28% ВСОК-2);
- интервал рабочих температур (1500±100) К.
- Эуд = 9,7 МДж/кг.

Для экспериментальных исследований процесса плазменной обработки кубовых остатков в виде диспергированных горючих композиций использовался ацетон, учитывая его меньшую стоимость и более высокую взаимную растворимость с водно-солевыми отходами.

3 Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки кубовых остатков в воздушной плазме ВЧФ-разряда

3.1 Описание схемы лабораторного плазменного стенда

Для экспериментальной проверки рекомендованных условий переработки кубовых остатков ЖРО использовался плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона. Плазменный стенд предназначен для исследования процессов плазменной обработки различных водно-солевых отходов (растворов) в виде диспергированных горючих ВСОК в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда. Схема плазменного стенда представлена на рисунке 3.1.

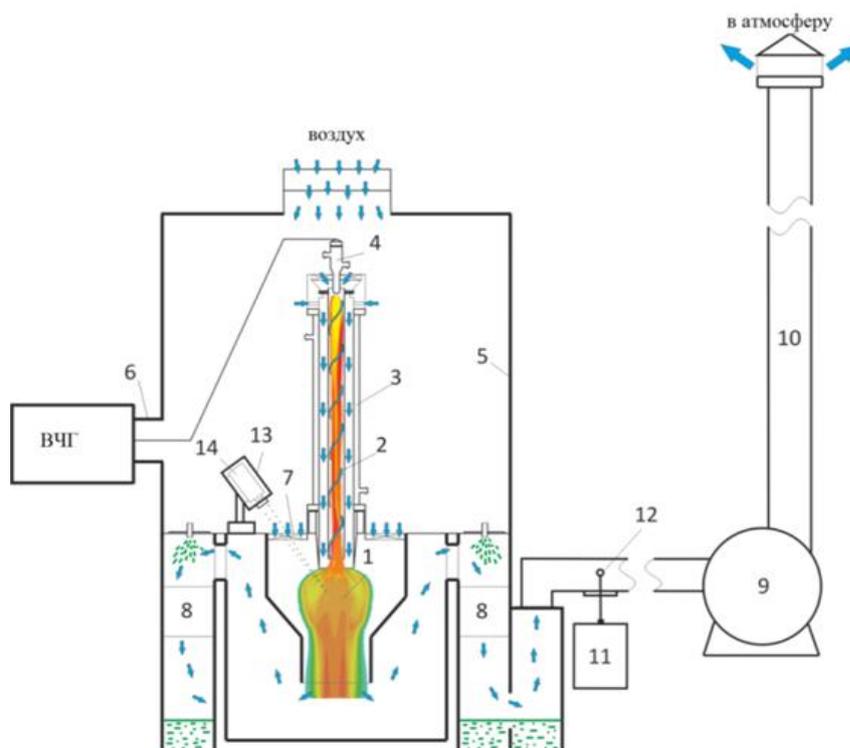


Рисунок 3.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

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), предназначенный для питания ВЧФ-плазмотрона. От генератора ВЧГ через коаксиальный вывод «б» 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 [12].

Высоконапорный вытяжной вентилятор «9» обеспечивает прокачку плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон «3», а также прокачку воздушного теплоносителя через реактор, калориферы узла оборотной чистой воды, а также выброс в атмосферу очищенных отходящих газов.

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 $S_{\text{пт}} = 25 \text{ см}^2$.

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 (расхода) воздушного потока после реактора в газоходе диаметром 0,25 м ($S_{\text{гхд}} = 0,05 \text{ м}^2$), а также измерений скорости (расхода) плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон.

Пирометр «14» предназначен для бесконтактного измерения температуры плазменного горения в реакторе горючих диспергированных ВСОК по линии поглощения образующегося диоксида углерода.

Плазменная обработка водно-солевых отходов (растворов) в виде горючих диспергированных ВСОК осуществляется в следующей последовательности. Из ёмкости предварительно подготовленная горючая композиция через вентиль с расходной шайбой самотеком подается в диспергатор «1» (форсунку) и далее в виде диспергированной горючей композиции направляется в реактор для обработки в условиях воздушной плазмы ВЧФ-факельного разряда, генерируемого ВЧФ-плазмотроном с образованием высокотемпературной пыле-парогазовой смеси из газообразных и твёрдых продуктов плазменной обработки отходов. Из реактора высокотемпературная пыле-парогазовая смесь поступает в узел мокрой очистки (УМО), охлаждается и очищается оборотной технологической водой (ОТВ) от твердых продуктов с образованием водной суспензии из высокодисперсных порошков различных соединений металлов. Очищенные отходящие газы забираются вытяжным вентилятором и выбрасываются в атмосферу. После завершения опыта полученная водная суспензия перекачивается в бак для осаждения высокодисперсных порошков, их последующего отделения, прокалики и изучения.

3.2 Исследование и оптимизация режимов работы системы «ВЧГ-ВЧФ-плазмотрон»

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:

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

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:

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

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

$Q_г$ – 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:

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

Среднемассовую температуру плазменной струи определяем с помощью графической зависимости энтальпии воздуха от его температуры [17-18], представленной на рисунке 3.2.

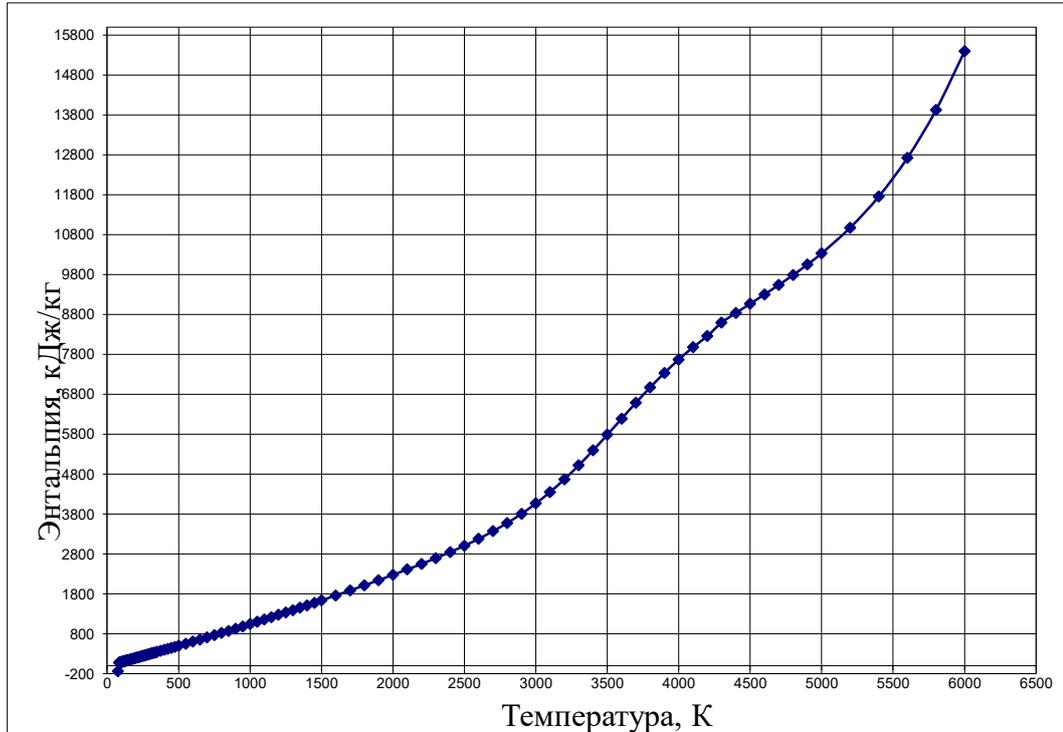


Рис. 3.2 – Зависимость энтальпии воздуха от его температуры.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.3.

3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Для определения расхода плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон на его входе был заменён узел ввода плазмообразующего газа с импеллером, имеющем входную площадь $S_{\text{ип}} = 25 \text{ см}^2$, на равноценную по входной площади трубку из фторпласта диаметром 55 мм ($S_{\text{тр}} = 24,2 \text{ см}^2$) и длиной 300 мм, в нижней части которой через отверстие диаметром 8 мм устанавливалась по центру трубка Пито и после ориентирования приемного отверстия строго навстречу потоку воздуха она закреплялась (рисунок 3.3).

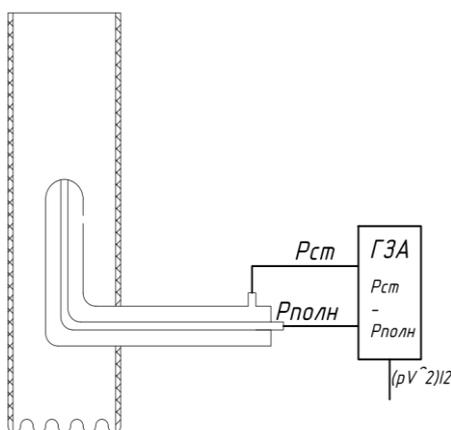


Рисунок 3.3 – Схема измерения скоростного напора воздушного потока с помощью трубки Пито

Трубка Пито определяет скоростной напор ($P_{\text{ип}} = \rho v^2 / 2$) набегающего потока по следующей формуле:

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

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

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

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

V – напор, создаваемый набегающим потоком, м/с.

Из формулы (3.11) определяется скорость набегающего потока:

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

Далее рассчитывался объёмный расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон по формуле:

$$Q_{\text{пг}} = S_{\text{тр}} \cdot V_{\text{пг}}, \quad (3.13)$$

где $V_{\text{пг}}$ – скорость плазмообразующего газа через фторпластовую трубку;

$S_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения фторпластовой трубки.

С учетом полученных данных определялся расход воздуха через реактор по следующей формуле:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{гхд}} - Q_{\text{пг}}, \quad (3.14)$$

где $Q_{\text{р}}$ – расход воздуха через реактор;

$Q_{\text{гхд}}$ – расход плазмообразующего газа через газоход;

$Q_{\text{пг}}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон.

Измерения скорости плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон в процессе опытов производились при различной входной площади импеллера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора (например, 3х6 означает, что открыты восемнадцать сегментов единичной площадью 55 см² и общей площадью 990 см²) от 495 см² до 1650 см².

В таблице 3.1 приведены результаты измерений трубкой Пито давлений (скоростной напор) проходящего через ВЧФ-плазмотрон плазмообразующего газа (воздуха) во фторопластовой трубке, а также рассчитанные на их основе скорости и расходы плазмообразующего газа при различной входной площади импеллера реактора ($S_{\text{имп}}$).

На рисунках 3.4 и 3.5 показано влияние входной площади импеллера реактора ($S_{\text{имп}}$) на массовый и объёмный расходы плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон.

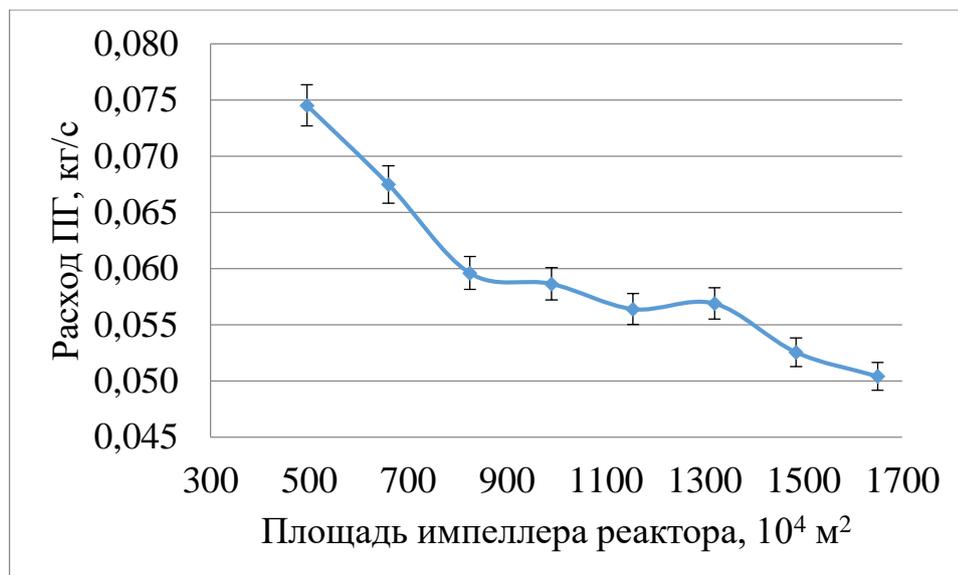


Рисунок 3.4 – Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазматрон

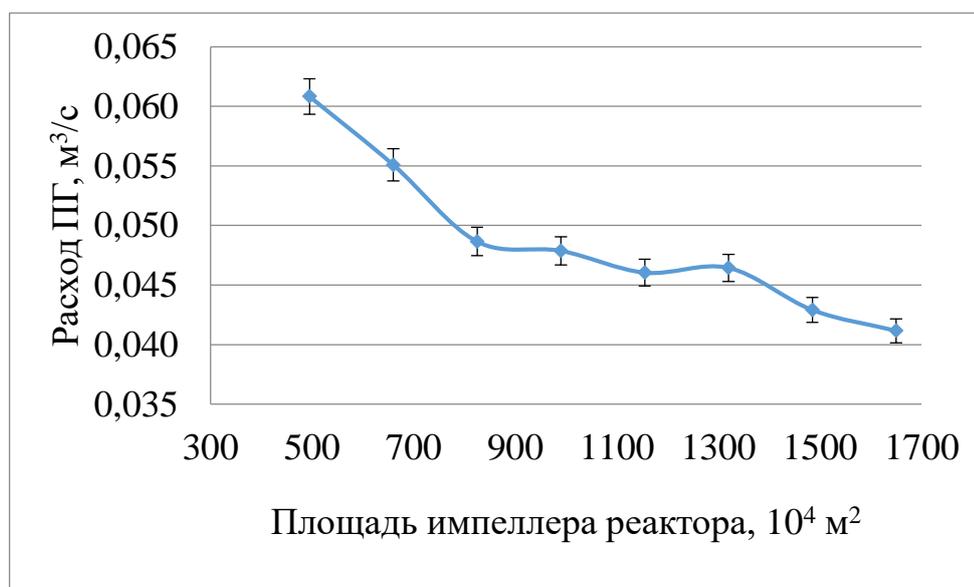


Рисунок 3.5 – Влияние входной площади импеллера реактора на объемный расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазматрон

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора с 495 см^2 (3x3) до 1650 см^2 (3x10) приводит к заметному снижению массового расхода воздуха через ВЧФ-плазматрон.

Таблица 3.1 - Определение расхода плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон

№ п/п	S _{имп}		P _{вчф ср}	ΔP _{вчф}	εP _{вчф}	ρ _{возд}	V _{вчф ср}	ΔV _{вчф}	εV _{вчф}	S _{труб}	Q _{вчф ср}	Q _{вчф ср}	ΔQ _{вчф}	εQ _{вчф}
	3xп	см ²	Па	Па	%	кг/м ³	м/с	м/с	%	см ²	м ³ /с	кг/с	кг/с	%
1	3 x 10	1650	177,429	13,111	7,389	1,225	17,008	0,628	3,695	24,2	0,041	0,050	0,002	0,002
2	3 x 9	1485	192,714	11,683	6,062	1,225	17,730	0,537	3,031	24,2	0,043	0,053	0,002	0,002
3	3 x 8	1320	225,714	9,842	4,360	1,225	19,192	0,418	2,180	24,2	0,046	0,057	0,001	0,001
4	3 x 7	1155	222,000	15,858	7,143	1,225	19,026	0,680	3,572	24,2	0,046	0,056	0,002	0,002
5	3 x 6	990	239,857	11,594	4,834	1,225	19,783	0,478	2,417	24,2	0,048	0,059	0,001	0,001
6	3 x 5	825	248,000	19,994	8,062	1,225	20,106	0,810	4,031	24,2	0,049	0,060	0,002	0,002
7	3 x 4	660	317,571	13,779	4,339	1,225	22,765	0,494	2,169	24,2	0,055	0,067	0,001	0,001
8	3 x 3	495	387,286	18,588	4,799	1,225	25,138	0,603	2,400	24,2	0,061	0,075	0,002	0,002

3.2.2 Определение расхода воздуха через реактор и газоход

Определение расхода воздуха через газоход после реактора плазменного стенда в процессе опытов производились с фторпластовой трубкой (вместо узла ввода плазмообразующего газа в ВЧФ-плазмотрон) при различной входной площади импеллера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибером сегментов импеллера реактора.

В таблице 3.2 приведены результаты измерений трубкой Пито скоростного напора воздушного потока, проходящего через газоход после реактора, а также рассчитанные на их основе скорости и расходы воздуха через газоход и реактор плазменного стенда при различной входной площади импеллера реактора.

Получив данные при прямом измерении расходов через плазмотрон и газоход, косвенным путем определялся расход воздуха через реактор по следующей формуле:

$$Q_p = Q_{гхд} - Q_{нз}, \quad (3.15)$$

где Q_p – расход воздуха через реактор, м³/с;

$Q_{гхд}$ – расход плазмообразующего газа через газоход, м³/с;

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

На рисунках 3.6 и 3.7 показано влияние входной площади импеллера реактора на массовый и объемный расход воздуха через ВЧФ-плазмотрон, реактор и газоход плазменного стенда.

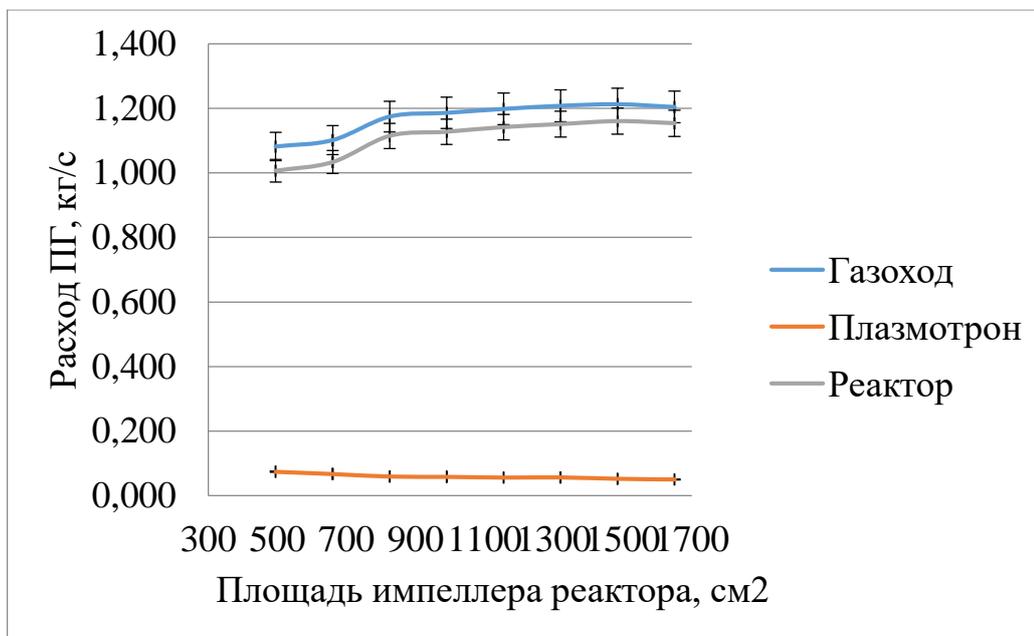


Рисунок 3.6 – Влияние входной площади импеллера реактора на массовый расход воздуха через газоход, реактор и ВЧФ-плазмотрон

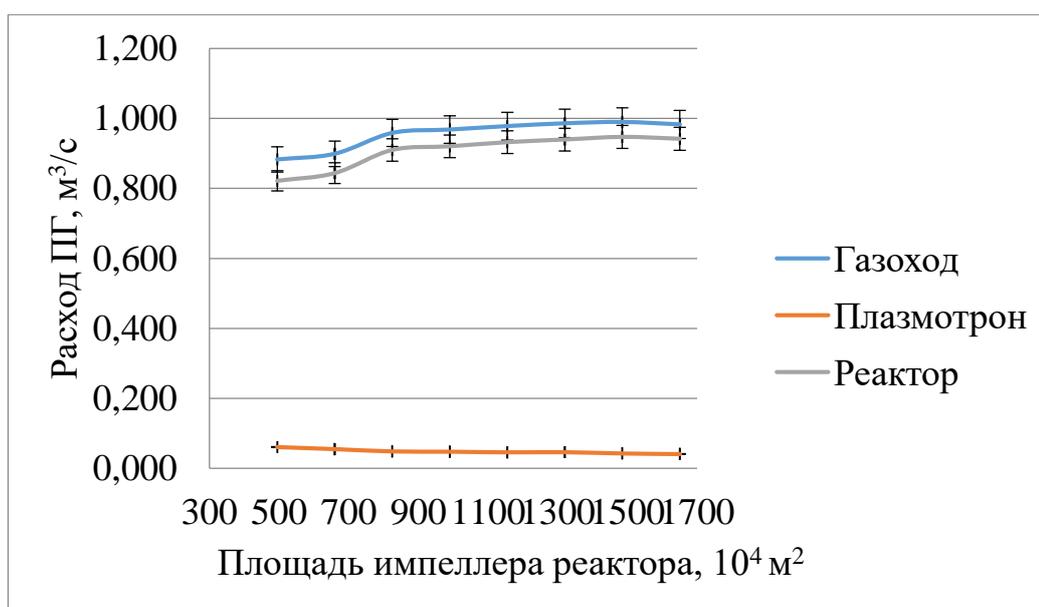


Рисунок 3.7 – Влияние входной площади импеллера реактора на объемный расход воздуха через газоход, реактор и ВЧФ-плазмотрон

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора от 495 см² до 1650 см² приводит к плавному росту расхода воздуха через реактор и газоход, после чего эти расходы стабилизируются.

Таблица 3.2 – Определение расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда

№ п/п	S _{имп}		P _{гхд ср}	ΔP _{гхд}	εP _{гхд}	ρ _{возд}	V _{гхд ср}	ΔV _{гхд}	εV _{гхд}	S _{труб}	Q _{гхд ср}	Q _{гхд ср}	ΔQ _{гхд}	εQ _{гхд}
	3 x n	см ²	Па	Па	%	кг/м ³	м/с	м/с	%	см ²	м ³ /с	кг/с	кг/с	%
1	3 x 10	1650	237,143	20,217	8,525	1,225	19,659	0,838	4,263	500	0,983	1,204	0,051	4,263
2	3 x 9	1485	240,143	5,351	2,228	1,225	19,800	0,221	1,114	500	0,990	1,213	0,014	1,114
3	3 x 8	1320	238,429	14,337	6,013	1,225	19,721	0,593	3,006	500	0,986	1,208	0,036	3,006
4	3 x 7	1155	234,714	17,375	7,402	1,225	19,562	0,724	3,701	500	0,978	1,198	0,044	3,701
5	3 x 6	990	229,857	13,774	5,993	1,225	19,363	0,580	2,996	500	0,968	1,186	0,036	2,996
6	3 x 5	825	225,286	11,399	5,060	1,225	19,172	0,485	2,530	500	0,959	1,174	0,030	2,530
7	3 x 4	660	198,286	14,145	7,134	1,225	17,981	0,641	3,567	500	0,899	1,101	0,039	3,567
8	3 x 3	495	191,143	12,585	6,584	1,225	17,656	0,581	3,292	500	0,883	1,081	0,036	3,292

В таблице 3.3 приведены режимы работы генератора ВЧГ и ВЧФ-плазмотрона при различной входной площади импеллера реактора.

Таблица 3.3 – Расчет режимов работы системы «ВЧГ–ВЧФ-плазмотрон».

U _a , кВ	I _a , А	S _{имп} , см ²	I _c , А	P ₀ , кВт	P _p , кВт	P _{стр} , кВт	T _{стр} , °С	η _{уст} , %
5,8	3	1650	1,2	17,4	11,179	11,095	517	63,767
5,8	3	1485	1,2	17,4	11,294	11,210	508	64,428
5,8	3	1320	1,2	17,4	11,298	11,214	497	64,447
5,8	3	1155	1,2	17,4	11,472	11,405	493	65,543
5,8	3	990	1,2	17,4	11,562	11,495	486	66,062
5,8	3	825	1,2	17,4	11,509	11,442	480	65,758
5,8	3	660	1,2	17,4	11,450	11,383	467	65,420
6,5	3,5	1650	1,2	22,75	15,337	15,253	588	67,048
6,5	3,5	1485	1,2	22,75	15,285	15,201	569	66,815
6,5	3,5	1320	1,2	22,75	15,424	15,324	552	67,356
6,5	3,5	1155	1,2	22,75	15,033	14,932	549	65,636
6,5	3,5	990	1,2	22,75	15,033	14,932	534	65,636
6,5	3,5	825	1,2	22,75	15,008	14,907	527	65,527
6,5	3,5	660	1,2	22,75	14,955	14,854	505	65,294
6,5	4	1650	1,2	26	17,243	17,125	630	65,867
6,5	4	1485	1,2	26	17,103	16,986	608	65,329
6,5	4	1320	1,2	26	17,016	16,882	609	64,930
6,5	4	1155	1,2	26	17,156	17,022	596	65,468
6,9	4	990	1,2	27,6	18,399	18,281	578	66,236
6,9	4	825	1,2	27,6	18,172	18,054	569	65,414
7,1	4	660	1,2	28,4	18,745	18,627	567	65,590
7	4,5	1320	1,2	31,5	20,631	20,480	651	65,015
7	4,5	1155	1,2	31,5	20,665	20,514	648	65,123
7	4,5	990	1,2	31,5	20,612	20,461	628	64,955
7,3	4,5	825	1,2	32,85	21,884	21,733	640	66,158
7,5	4,5	660	1,2	33,75	22,523	22,372	610	66,288

Из таблицы видно, что оптимальный режим работы плазменного стенда, при котором достигаются необходимые оптимальные параметры (например, температура плазменной струи более температуры вспышки), а также стабильное горение ВЧФ разряда получаются при работе ВЧГ с анодным током I_a от 3 А до 4 А.

На рисунке 3.8 показано влияние мощности плазменной струи и массового расхода плазмообразующего газа через плазмотрон на температуру

воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном.

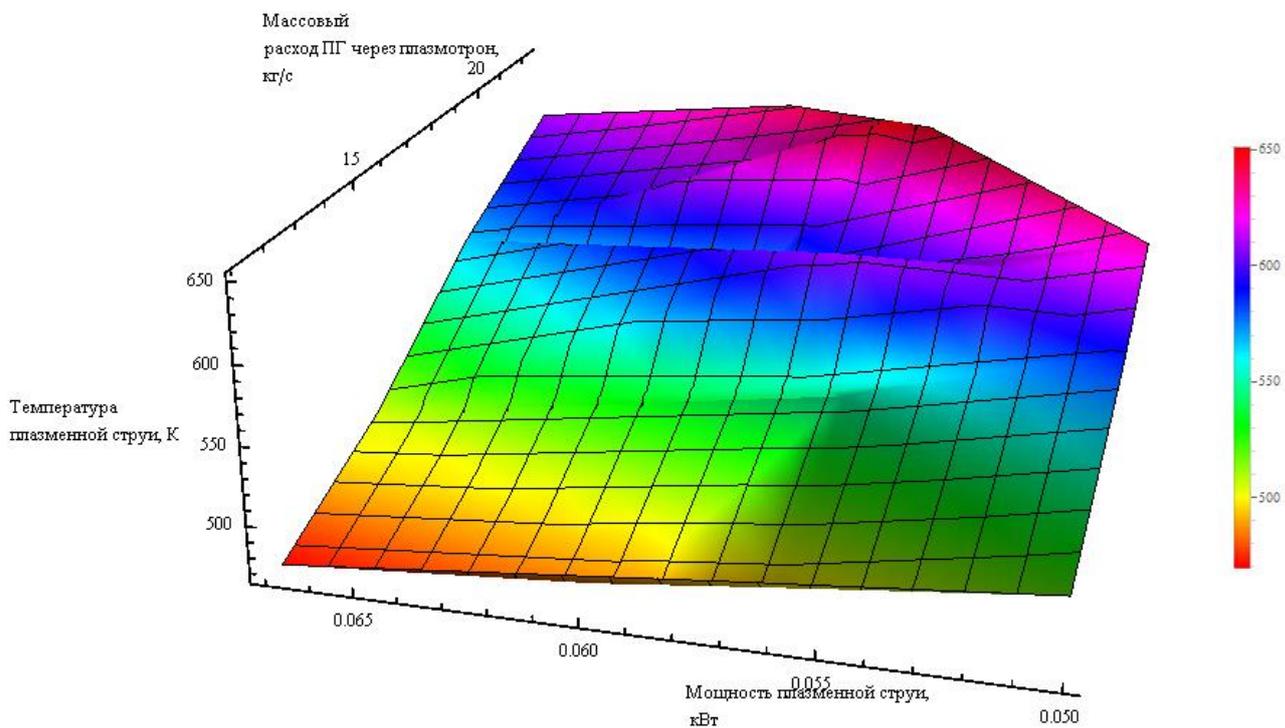


Рисунок 3.8 – Влияние мощности плазменной струи и массового расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон на температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном.

Из анализа полученной зависимости следует, что мощность плазменной струи и массовый расход плазмообразующего газа через плазмотрон оказывают существенное влияние на среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном.

На рисунке 3.9 показано влияние мощности плазменной струи и массового расхода плазмообразующего газа через плазмотрон на установочный КПД плазменного стенда.

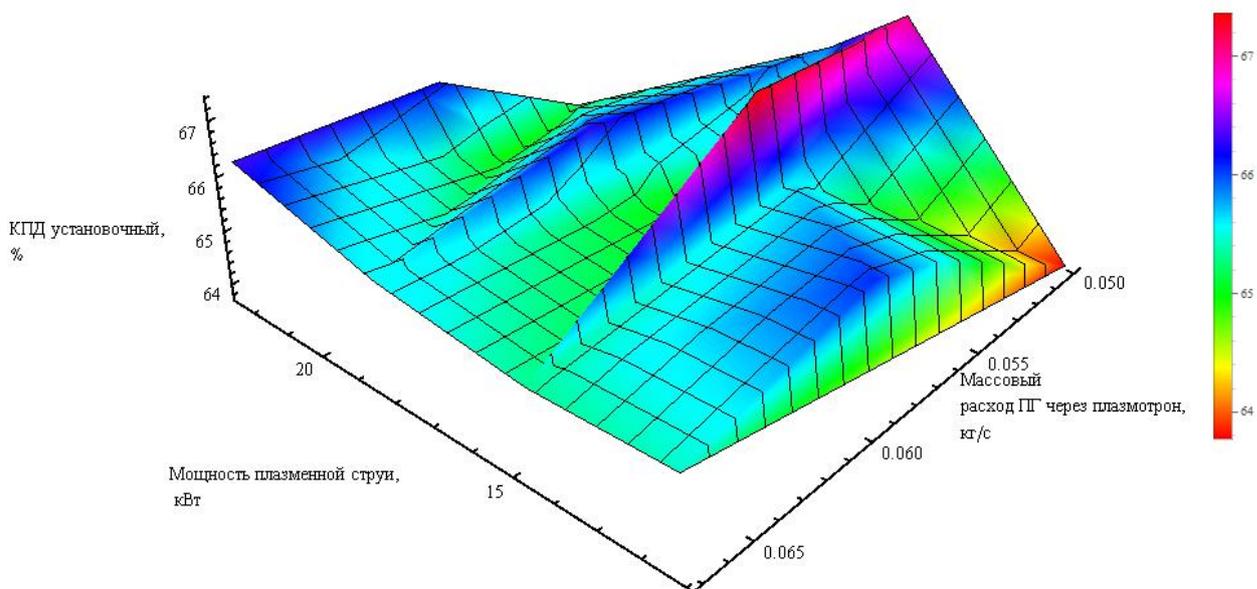


Рисунок 3.9 – Влияние мощности плазменной струи и массового расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазматрон на установочный КПД плазменного стенда

Из анализа полученной зависимости и таблицы 3.3 следует, что максимальный установочный КПД $\eta_{уст}=67,4$ % достигается в опытах при $I_a=3,5A$ и $S_{имп}=1320$ см² (при массовом расходе плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазматрон, равном 0,057 кг/с). При этом среднемассовая температура воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазматроном, достигает 552 К.

В таблице 3.4 приведены данные по показателям горения спирта этилового и ацетона – компонентов горючих ВСОК.

Таблица 3.4 – Показатели горения этилового спирта и ацетона

Наименование	$T_{всп}, ^\circ C$	$T_{восп}, ^\circ C$	$T_{самовосп}, ^\circ C$
Этанол	13	18	400
Ацетон	-19	-	465

Из сравнения этих данных следует, что плазменная струя, генерируемая ВЧФ-плазматроном, должна иметь температуру, которая обеспечит воспламенение горючих диспергированных ВСОК и «розжиг»

реактора с дальнейшим выходом на режим работы с температурой (1000÷1200) °С.

3.3 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки кубовых остатков

Для экспериментального подтверждения рекомендованных режимов были проведены на плазменном стенде (рис. 3.1 и 3.10,а) исследования процесса плазменной обработки модельных КО в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих композиций на основе ацетона.

После запуска ВЧФ-плазмотрона были установлены рекомендованные анодный ток генератора ВЧГ $I_a = 3,5$ А и входная площадь импеллера реактора $S_{\text{имп}} = 1320$ см², обеспечивающие среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемую ВЧФ-плазмотроном, равную 552 К. Затем был подан ацетон (2 л) через вентиль с расходной шайбой в узел диспергирования и далее в реактор, где произошло воспламенение диспергированной горючей композиции под действием воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном и «розжиг» реактора (рис. 3.10,б).



а)



б)

Рисунок 3.10 – Фотографии реактора плазменного стенда (а) и процесса «розжига» реактора (б)

Следом была подана предварительно подготовленная горючая водно-солеорганическая композиция (ВСОК-2) на основе модельного КО и ацетона (объем 10 л), расход которой через вентиль с расходной шайбой был доведен до максимального (800 л/ч), что обеспечило повышение температуры плазменного горения в реакторе до ≈ 1000 °С. Измерение температуры по линии поглощения диоксида углерода проводилось бесконтактным способом с применением высокоточного цифрового пирометра IPE 140/145. При плазменном горении ВСОК-2 в реакторе тепловая мощность достигла 170 кВт при потребляемой электрической мощности не более 35 кВт (почти в пять раз меньше).

Таким образом, экспериментальна подтверждена энергоэффективность предлагаемого процесса плазменной обработки кубовых остатков в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе эксплуатации атомных реакторов на АЭС образуются большое количество отходов, которые являются радиоактивными. В данной выпускной квалификационной работе рассматривается переработка жидких радиоактивных отходов при помощи ВЧФ-плазмотрона. В работе представлена информация в которой говорится, что эффективная утилизация таких отходов может быть достигнута при плазменной утилизации оптимальных по составу горючих водно-солеорганических композиций на основе кубового остатка и этилового спирта. Но это является только частью работы. Еще одним этапом в научном исследовании является поиск источников финансирования, для которого необходимо провести оценку коммерческой ценности работы. Также не стоит забывать, что научным сообществом постоянно ведутся изыскания по переработке кубовых остатков ЖРО, поэтому разработка должна быть конкурентоспособной. Т.е. 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:

- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно – исследовательской работы;
- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и

ресурсосбережения;

- 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

Одной из основных проблем дальнейшего развития атомной промышленности и снижение её себестоимости является огромное количество хранимых ЖРО, кубовых остатков, которым требуется технология для их безопасной переработки и уменьшения количества объемов. Проведение настоящих научно-технических исследований нацелено на переработку кубовых остатков ЖРО, поэтому целевым рынком результатов и разработок данных исследований являются предприятия ГК «Росатом», а именно, атомные электрические станции.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Как уже говорилось выше на сегодняшний день, в ходе эксплуатации атомных реакторов на АЭС накоплено большое количество жидких радиоактивных отходов в виде кубовых остатков. В настоящее время хранилища многих АЭС заполнены практически полностью. Применяемые методы отверждения таких отходов многостадийны, требуют значительных энерго- и трудозатрат, экологически небезопасны и не обеспечивают значительного сокращения объемов конечного радиоактивного продукта [3].

Рынок разработок постоянно растет и меняется, но есть такие отрасли, где постоянно работают над новыми технологиями, но пользуются все же пока

что старыми, которые не учитывают реалий современного мира. Однако, анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, все-таки необходимо проводить регулярно и тщательно. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [20].

Так одним из перспективных решений данной проблемы может быть переработка таких отходов в условиях воздушной плазмы, что делает разрабатываемую технологию уникальной.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 4.1.

Каждый показатель оценивается экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя [20].

Данный анализ предполагает отбор не менее трех-четырех конкурентных товаров либо разработок, но, т.к. технология уникальна, а идет выставление на рынок именно технологии плазменной переработки, то проведен анализ собственно самой технологии, без сравнения с конкурентами.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Удельные энергозатраты на 1т отходов	0,12	5	5	1	0,12
2. Простота эксплуатации	0,06	1	5	0,2	0,012
3. Стадийность	0,11	4	5	0,8	0,088
4. Мобильность	0,04	3	5	0,6	0,024
5.Наукоемкость	0,06	3	5	0,6	0,036
Экономические критерии оценки эффективности					
6. Конкурентоспособность продукта	0,12	4	5	0,8	0,096
7. Уровень проникновения на рынок	0,07	1	5	0,2	0,014
8. Перспективность рынка	0,14	4	5	0,8	0,112
9. Цена	0,1	2	5	0,4	0,04
10. Финансовая эффективность научной разработки	0,07	4	5	0,8	0,056
11. Срок выхода на рынок	0,06	2	5	0,4	0,024
12. Наличие сертификации разработки	0,05	4	5	0,8	0,04
Итого	1				0,662

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20].

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 4.2).

Таблица 4.2 – 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. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.	Сл2. Сложное финансовое положение.
С3. Более низкая стоимость переработки отходов по сравнению с другими технологиями.	Сл3. Невозможность работы с настоящими (не модельными) отходами в лабораторных условиях (На кафедре ТФ НИ ТПУ)
С4. Отличная от конкурентов технология.	Сл4. Отсутствие собственной сырьевой базы (отхода).
С5. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2МВт*ч/т) на бытовые технологические нужды	Сл5. Отсутствие возможности проверки полученных расчетов на практике.
С6. Слабая конкуренция технологий переработки кубовых остатков ЖРО.	
Возможности	Угрозы
В1. Создание рынка по переработке кубовых остатков ЖРО.	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 результаты исследований.	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

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 4.3). 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 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта.		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.	С6.
	В1.		+	+	+	+	+
В2.		+	+	+	0	+	+
Угрозы проекта.	У1.	0	-	+	-	+	0
	У2.	+	-	0	0	0	+
Слабые стороны проекта							
Возможности проекта.		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.	
	В1	0	+	-	-	0	
В2.		+	+	-	-	-	
Угрозы проекта.	У1.	-	-	-	-	-	
	У2.	-	-	0	-	0	

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT – анализа (таблица Г1 приложения Г). Она заполняется, исходя из анализа соответствия сильных и слабых сторон проекта с внешними факторами: возможностями и угрозами, результаты которого представлены в таблицы 4.3.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение контрольных событий;
- 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.

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

На рисунке 4.1 представлена иерархическая структура работ.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

4.2.2 Контрольные события проекта

В рамках выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» необходимо было определить

ключевые события проекта, их даты и форму отчетности. Данные занесены в таблицу Г2 приложения Г

4.2.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный план проекта.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Линейный график представлен в таблице Г3 приложения Г. Это является первым этапом построения плана проекта.

Следующим этапом планирования исследовательского проекта является построение календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ. Диаграмма представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ							
				Февраль		Февраль - Март	Март				
				1	2 - 15	16 - 9	10 -14	15 - 20	21 - 27	28 - 31	
1	Составление и утверждение технического задания	руководитель	1								
2	Изучение проблемы и подбор литературы	дипломник	13								
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	дипломник	23								
4	Календарное планирование работ по теме	дипломник	4								
5	Расчет показателей горения ВСОК на основе КО ЖРО. Выбор оптимальных составов	руководитель, дипломник	5								
6	ТД расчет плазменной переработки ВСОК с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов процесса переработки	руководитель, дипломник	6								
7	Оценка энергозатрат на процесс плазменной переработки КО ЖРО	руководитель, дипломник	3								

Продолжение таблицы 4.4

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ						
				апрель		Май		Июнь		
				1-15	16-30	1- 15	16-31	1- 6	7 - 20	
8	Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда.	руководитель, дипломник	14							
9	Экспериментальные исследования процесса переработки КО ЖРО в виде диспергированных ВСОК. Определение оптимальных составов ВСОК и режимов их утилизации в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	руководитель, дипломник	14							
10	Анализ и обработка полученных результатов	дипломник	14							
11	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, дипломник	15							
12	Оформление пояснительной записки и графических работ	дипломник	5							
13	Подготовка к защите темы	дипломник	13							



- руководитель



- инженер



- совместная работа

4.3 Бюджет научного исследования

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

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

- материальные затраты научного исследования;
- 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.

ВЧ-генератор, ПК и ПО, масла и реагенты являются собственностью кафедры «Техническая физика», поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 12 дней в среднем по 4 часа (48 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot T_{об} , \quad (4.2)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,93 руб за 1 кВт*ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

$$C_{эл} = 2,93 \cdot 100 \cdot 48 = 14064 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot T_{об} , \quad (4.3)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (23,27 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

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

$$C_{вд} = 23,27 \cdot 1,8 \cdot 48 = 2010,5 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{м} = C_{эл} + C_{вд} , \quad (4.4)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{м} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.5)$$

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.);

C_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.

$$Z_m = 14064 + 2010,5 = 16073,5 \text{руб.}$$

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

4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Так как оборудование находится на кафедре «Техническая физика» НИ ТПУ, то, следовательно, стоимость оборудования учитывается в виде амортизационных отчислений.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T}. \quad (4.6)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = \frac{2500000}{2920} = 856,2$$

Оборудование использовалось в течение 12 дней, но всего 48 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 856,2 \cdot 2 = 1712,4 \text{руб.}$$

4.3.3 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 НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} , \quad (4.7)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p , \quad (4.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} , \quad (4.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 2500 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 4.8).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.5 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	дипломник
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:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.10)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента Z_{tc} составляет 22052 руб.);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc} = 6690);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	Z_{tc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель		22052	0,3	-	1,3	37267,88	1544,17	60	92650,2
Дипломник		5674,6	-	-	-	5674,6	253,12	129	30330,85
Итого $Z_{осн}$									122981,05

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента.

В таблице 4.10 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.7– Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	92650,2	30330,85
Дополнительная зарплата, руб	13897,53	3033,085004
Зарплата исполнителя, руб	106547,73	33363,93504
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	139911,665	

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Дипломная работа выполнялась с 1.02.2016 по 20.06.2016. С 01.01.2010 страховые взносы осуществляются в государственные внебюджетные фонды. На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом 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 с 2014 года введена пониженная ставка – 27,1% [21].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

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

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 139911,7 = 37916,06 \text{ руб.}$$

4.3.6 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.

4.3.7 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.13)$$

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

$$Z_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 139911,665 = 41973,5 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 4.8.

Таблица 4.8. – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исполнители	
1. Материальные затраты НИИ	14064	Пункт 4.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	122981,05	Пункт 4.3.3
3. Затраты на специальное оборудование	1712,4	Пункт 4.3.2
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16912,6	Пункт 4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	37916,06	Пункт 4.3.5
6. Контрагентские расходы	-	Пункт 4.3.6
7. Накладные расходы	41973,5	Пункт 4.3.7
8. Бюджет затрат НИИ	235559,6	Сумма ст. 1- 7

Для выполнения данных исследований были задействованы два

исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 129 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 235560 рублей.

4.4 Организационная структура проекта

В управлении проектами, а выполнение ВКР является именно проектом, важная роль отводится разработке организационной структуры проекта.

Организационная структура проекта – соответствующая проекту временная организационная структура, включающая всех его участников и создаваемая для успешного управления и достижения целей проекта.

Необходимость разработки организационной структуры объясняется тем, что для выполнения проекта создается команда проекта – новый временный рабочий коллектив, состоящий из специалистов различных структурных подразделений компаний со стороны Исполнителя и со стороны Заказчика. Как и для любого нового коллектива, для членов команды проекта необходимо определить проектные роли (временные должности), функции, обязанности, ответственность, полномочия и правила взаимодействия, а также организационную схему, отражающую отношения подчиненности. При этом несущественно, на какой период времени будет создаваться команда проекта - на несколько месяцев или на несколько лет.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации.

Функциональная организация - иерархически выстроенная организация, в которой у каждого сотрудника есть один прямой начальник, сотрудники разделены на группы (отделы) по областям специализации. Каждая группа (отдел) управляется одним человеком, имеющим компетенцию

в данной области – функциональным руководителем (руководителем отдела).
Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 4.2

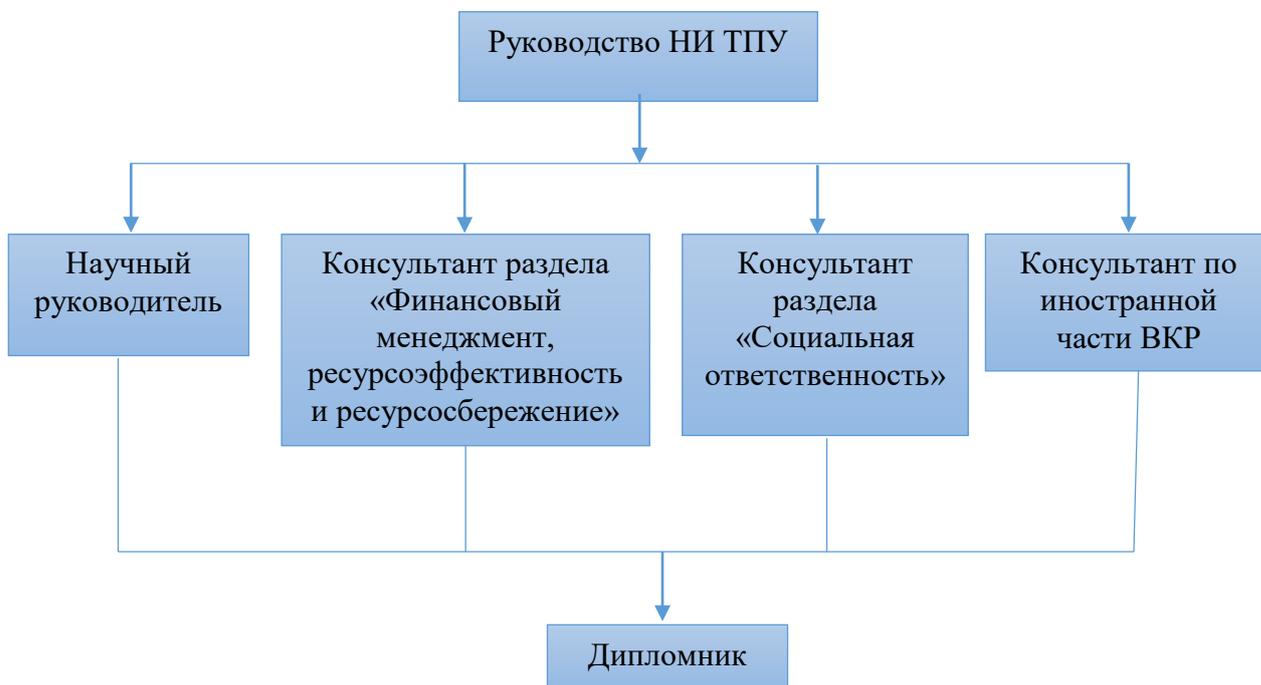


Рисунок 4.2 – Организационная структура научного проекта

4.5 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица Г4 приложение Г).

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Одновременно должно осуществляться последовательное повышение качества и эффективности всех средств коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов, увеличение объема их производства до полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и рациональное их использование.

В основе Законодательства Российской Федерации об охране труда лежит Конституция Российской Федерации и Трудовой кодекс Российской Федерации.

Обязанности по обеспечению *безопасных условий и охраны труда* в организации возлагаются на **работодателя**. 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.) поясним некоторые понятия [22].

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.

Безопасные условия труда – условия труда, при которых воздействие на работающих вредных или опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленные нормативы.

Рабочее место – место, в котором работник должен находиться или в которое ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя.

Сложность поставленных задач 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.

Успех в решении проблем охраны труда в большой степени зависит от качества подготовки специалистов в этой области, от их умения принимать правильные решения в сложных и изменчивых условиях современного производства.

Правила по охране труда и техники безопасности являются обязательными для исполнения рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками и руководящим составом.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно – исследовательская работа происходила на кафедре «Техническая физики». Расчеты и моделирование процесса производились на ПЭВМ с применением специализированных программ. Эксперимент велся на ВЧФ-плазменном стенде 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»
	-	Пожароопасность	ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность
Работа с химическими реактивами	Химическое воздействие	-	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества

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

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;

- наличие излучения.

Психофизиологические:

- физические перегрузка (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 ПЭВМ и плазменном стенде на базе ВЧФ-плазмотрона

5.2.1 Организационные и технические мероприятия

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

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

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

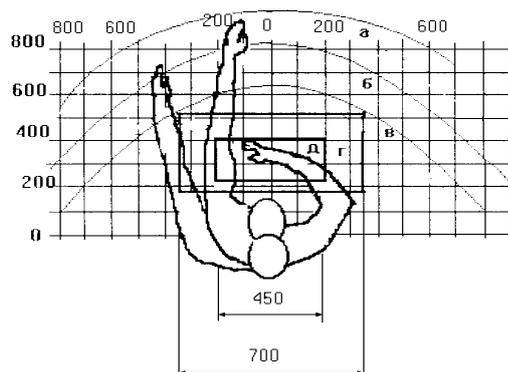


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: ДИСПЛЕЙ размещается в зоне а (в центре); КЛАВИАТУРА – в зоне г/д; СИСТЕМНЫЙ БЛОК размещается в зоне б (слева); ПРИНТЕР находится в зоне а (справа); ДОКУМЕНТАЦИЯ : в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) - литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

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 подъемно-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.

5.2.2 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 со [23] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность

- 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом (-20 – 25) °С, зимой (-13 – 5) °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 [23] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находится на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови,

увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [23] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более (7,7 – 10) А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 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

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. В связи с выше сказанным при работе на данной установке необходимо учитывать правила электробезопасности.

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[24]:

- 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°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

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 надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих

частей).

При работе на плазменном стенде на базе ВЧФ-плазмотрона строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В. Однако, бывают случаи, когда по неосторожности, либо в связи с неисправностью приборов, либо техники возникают ситуации где необходимо применять знания и навыки применения оказания первой помощи. Ниже приведены некоторые из правил, которым необходимо следовать в той либо иной ситуации.

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.

В случае поражения работающего персонала на установке электрическим током необходимо отключить установку от сети и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего, которые определяются путём проведения следующих мероприятий:

1. уложить пострадавшего спиной на твёрдую поверхность;
2. проверить наличие дыхания и пульса;
3. выяснить состояние зрачка.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока – обеспечить ему условия для полного покоя, следить за дыханием и пульсом, вызвать врача.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дышит и прощупывается пульс, необходимо привести его в сознание, дать понюхать

нашатырный спирт и обрызгивать водой, при необходимости делать искусственное дыхание и массаж сердца.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно нормам пожарной безопасности [25], 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.

5.5 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов – одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Она техническим образом связана со всей хозяйственной деятельностью человека, экологические и другие функции поступательного развития, сохранение равновесного природного состояния и т. д. В последнее время происходит формирование окружающей среды, не благоприятствующей нормальной жизни человека, растений и животных.

В настоящее время уничтожение твёрдых, жидких и газообразных отходов производства и быта становится таким же сложным делом, как и развитие самого производства.

Различают два вида источников загрязнения атмосферы: естественные и искусственные.

1. Естественное загрязнение окружающей среды происходит при извержении вулканов, выветривании горных пород, пыльных бурях, лесных пожарах, выносе морских солей.

2. Искусственное загрязнение окружающей среды характерно главным образом для городов и промышленных районов.

Основными источниками загрязнения воздуха являются тепловые электростанции, металлургические, химические, цементные заводы и автомобильный транспорт. При работе данных предприятий в воздух попадают такие вредные вещества, как: CO, NO, SO, NO₂, CH₄, H₂S, C₂H₄, C₂H₂.

В 1999 году был принят закон «Об охране атмосферного воздуха». В нем сказано: «Для оценки состояния атмосферного воздуха устанавливаются нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и

уровней вредных физических воздействий на атмосферу». В целях охраны атмосферного воздуха устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками загрязнения, а также нормативы предельно допустимых вредных физических воздействий.

Предприятия, учреждения и организации, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, обязаны принимать меры по снижению выбросов, обеспечивать бесперебойную работу очистных сооружений. Закон запрещает на территории населённых пунктов, предприятий, учреждений, организаций сжигание производственного, бытового мусора и других отходов.

Существуют следующие классы опасности:

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

При эксплуатации плазменной установки в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота, углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых значений вредных веществ, приведенных в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормы предельно-допустимых концентраций

№	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

Загрязнение биосферы и ухудшение экологических условий ландшафтной среды принимает угрожающие масштабы не только в отдельных районах, но и на планете в целом. Человек обнаруживает, что дальнейшая его

жизнь и прогресс находятся под большой угрозой недостатка ресурсов и “экологического кризиса”.

При проведении экспериментальной части настоящей ВКР, установлено, что экологически небезопасные газовые соединения, образуемые в ходе рассматриваемой технологии плазменной переработки, не попадают в атмосферу, все показатели по показаниям газоанализатора «Quintox» КМ 9106 находятся в пределах нормы.

Выводы

1. Проведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных переработки РАО ЖРО, в частности кубовым остаткам. По результатам анализа рекомендован процесс плазменной обработке кубовых остатков ЖРО в виде горючих водно-солеорганических композиций.

2. По результатам расчета показателей горения водно-солеорганических композиций на основе кубовых остатков ЖРО определили оптимальные составы композиций, обеспечивающие их энергоэффективную обработку.

3. В результате термодинамического моделирования процесса плазменной обработки кубовых остатков ЖРО в виде горючих композиций определили для практической реализации оптимальные режимы для их энергоэффективной и экологически безопасной обработки в воздушной плазме.

4. Провели экспериментальные исследования и оптимизацию режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона. Экспериментально подтверждена возможность энергоэффективной плазменной обработки кубовых остатков ЖРО в воздушной плазме в виде диспергированных водно-солеорганических композиций.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменной обработки кубовых остатков ЖРО АЭС в виде диспергированных водно-солеорганических композиций.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 50996-96. Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения.
2. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами // Серия учебных курсов МАГАТЭ. – Вена, МАГАТЭ, 2005
3. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 512 с.
4. Туманов Ю.Н., Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
5. Karengin A. G. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling / Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Y., Tundeshev N. V. // Advanced Materials Research. – 2014. - Vol. 1040. – P. 433-436.
6. Информационный бюллетень № 10-11(16-17) 2010. Серия: атомная энергетика. Радиоактивные отходы АЭС. [Электронный ресурс] // Национальная академия наук Беларуси. – Режим доступа: http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2012/09/bul_2010_10_11.pdf, свободный. – Заглавие с экрана.
7. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом / **И. А. Андрюшин**, Ю. А. Юдин ; Рос. федер. ядер. центр-Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики. – Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. - 138 с. : ил. ; 20 см. - Библиогр.: с. 136-138.
8. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. – : Издательский дом МЭИ, 2007. 448 с : ил.
9. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: справочник / В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов и др. М.: Энергоатомиздат, 1983.

10. Обращение с радиоактивными отходами АЭС Российской Федерации : Доклад на международной научнопрактической конференции «Радиоэкологическая безопасность современной цивилизации» / Мартыновченко, А.А. Резник, Л.П. Хамьянов и др. // Атом–пресса. 1996. №5. С.21-24.
11. Management of radioactive waste with regard to radioisotope application. IAEA International training course. Karlsruhe Nuclear Research Center, 1989.
12. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / А.А. Ключников [и др.]; под ред. Шигеры Ю.М. – Чернобыль, 2005.
13. Монахов В. Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1979
14. Шурыгин А.П., Черненко Н.А. Бернадинер М.Я.//Хим. Пром.№8. 1975.
15. Бернадинер М.Н. Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М. Химия 1990г. 304 с.
16. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. – 277с.
17. Пархоменко В. Д., Верещак В. Г., Голобородько В. П. // Вопр. химии и хим. технологии.- 1985.-Вып. 77.-С. 106-111.
18. Моссэ А. Л., Буров М. С. Обработка дисперсных материалов в плазменных реакторах.- Минск: Паука и техника, 1980.- 208 с.
19. Блюменталь У. Б. Химия циркония. Под редакцией Комиссаровой Л. Н. и Спицына В.И. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. — 256-260 с.
20. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

21. 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».

22. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.

23. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».

24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.

25. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.

26. Техническое описание системы (А1) изъятия ЖРО из емкостей хранения жидких радиоактивных отходов. № 0-10-23ТО-08.

27. Техническое описание системы очистки ЖРО от радионуклидов (системы А5). № 0-10-25ТО-08.

Приложение А

Section 1

MODELING AND RESEARCH OF PROCESS PLASMA RECYCLING VAT RESIDUE OF LRW

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Шеховцова А.П.		

Консультант кафедры _____ ТФ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Видяев Д.Г.			

Консультант – лингвист кафедры _____ ИЯ ФТИ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Ермакова Я.В.			

Annotation

This article presents results of thermodynamic modeling of plasma treatment process of liquid radioactive vat residue generated at NPP in the form of optimal composition (water-salt organic compositions). The calculations are performed in a wide range of temperatures (300-4000 K) and mass fractions of air plasma coolant (0.1 – 0.9). The results of the research could be used in the development of energy-efficient technologies of plasma treatment of evaporation products of liquid radioactive waste from NPP (particularly in the form of the vat residue).

Contents

Annotation.....	110
Introduction 112	
A1 Radioactive Waste Management.....	113
A1.1 The Principles and classification of radioactive waste resulting from the operation of nuclear power plants	113
A1.2 Operational waste of the NPP and methods of their processing	115
A1.3 LRW processing vat residue	116
A2 Modelling process of plasma recycling vat residues of LRW	118
A2.1 Calculation of indicators of burning water-saltorganic compositions based on vat residues of LRW.....	118
A2.2 Calculation of equilibrium consists of products formed during WSOC recycling	120
A3 Experimental confirmation of recommended modes for vat residue recycling in plasma.....	122
Conclusions	124
References:	125

Introduction

Scientific and technological progress is impossible without the development of nuclear science and technology. In various areas of human activity – industry, medicine, science, agriculture, etc. –. The use of radioactive isotopes and nuclear radiation increasingly expanding, and is accompanied by the growing number of environmentally hazardous radioactive waste. In this connection, neutralization and localization of radioactive waste is the largest technical, economic and social problem [1].

During the operation of nuclear reactors at the nuclear power plant has accumulated vast amounts of products residues of liquid radioactive waste in the form of vat residue. Storage cell of many nuclear power plants are filled to 80-90%. Methods for curing such waste multistage, require considerable energy and do not provide a significant reduction in the volume of final radioactive product [2].

A significant reduction of energy consumption for the process can be achieved using plasma recycling. In this case precipitations undergo recycling in form of inflammable water-salt organic compositions (WSOC) with optimal consist having adiabatic combustion temperature about 1200 °C [3]

A1 Radioactive Waste Management

A1.1 The Principles and classification of radioactive waste resulting from the operation of nuclear power plants

Radioactive waste - materials in gaseous, liquid or solid form for which no further use is foreseen, since they contain radionuclides in quantities exceeding those established by the applicable radiation safety standards [4].

The main requirement during the work with radioactive waste of all categories is that waste has to be always be monitored, i.e. should be handled, be recycled, stored, transported and buried. All these actions have to happen so that over all term of their possible danger to the person and environment as now, and for future generation, influence didn't exceed admissible limits which are set by normative documents.

Definition of radioactive waste are regulated by special rules adopted in each country.

In order to effectively ensure the primary objective of radioactive waste management has to be comply with a number of basic principles. Accepted at the international level they are formulated in the document of IAEA. In spite of the great differences in the origin and characteristics of radioactive waste (RW), their use is versatile enough for all kinds of radioactive waste.

Basic provisions of these documents consist in the following. When handling waste, regardless of their origin should be provided with:

1. Health protection of people.
2. Environmental protection.
3. Securing beyond national borders
4. Protection of future generations
5. Prevention of unreasonable burden on future generation
6. Existence of national legal structure.
7. Control of formation of radioactive waste.

8. The relationship between the stages of treatment of radioactive waste.
9. Security installations for radioactive waste management during their entire life cycle [1].

Principles 3, 4 and 5 are based on ethical considerations. Methods for applying these principles in practice depends on the type of waste and types of installations.

The above-stated principles of radioactive waste management based on the concept of system approach, which consists in the fact that all the stages are elements of the overall system.

The source of the radioactive waste of the NPP are processes of division of kernels of fuel and activation by neutrons of various materials, products of corrosion of constructional materials, kernels of the fuel, etc. The bulk of the radioactive substances formed during reactor operation, concentrated in the fuel.

Also radioactive waste includes waste from the of NPP decommissioning (dismantling equipment, demolition of buildings and structures, and so on.

Classification of radioactive waste is carried out at all stages of radioactive waste management. Currently there is no universal system of classification of radioactive waste. There are various quantitative and qualitative waste classification system, tailored to the radiation and environmental safety requirements, the technological features of processing, transportation, storage and disposal.

Radioactive nuclear waste from the point of view of their potential hazards are classified in several ways:

- The levels of activity and heat generation;
- The half-life of radionuclides;
- on character of the prevailing radiation.

Radioactive waste on the physical condition are divided into:

- solids;
- liquids;
- gaseous.

Such classification is based on the technological process from waste management in different states of aggregation, and is often associated with specific technologies.

A1.2 Operational waste of the NPP and methods of their processing

During the work of the NPPs is formed liquid, solid and gaseous radioactive waste. In this thesis will be considered treatment of liquid radioactive waste. Here are their characteristics and processing methods.

Liquid radioactive waste radioactive waste in the form of aqueous or liquid organic products containing radionuclides in dissolved form or in the form of suspensions [5].

Depending on physical and chemical structure of liquid radioactive waste are subdivided:

- on the homogeneous (aqueous or organic solutions);
- on heterogeneous (slurry, emulsions, suspensions);
- at high salt and low-salt [6].

Radioactive water solutions represent more than 99% of all formed LRW.

Liquid radioactive waste is stored at the NPP industrial site, in the storage of liquid radioactive waste and represents of highly mineralized solutions with a salt content 200–300 g / l, and also the fulfilled ion-exchange materials and sorbents. Their liquid phase irrespective of type of the reactor has alkaline reaction and high oxidability. The chemical composition of the liquid waste of nuclear power plants is mainly represented by various sodium salts.

LRW processing aimed at solving two main tasks: cleaning the main mass waste of radionuclides and concentration of radionuclides in the latter a minimum volume, intended for disposal or long-term storage under controlled storage.

In selecting the most productive and cost-effective way of reducing the amount of waste taking into account the amount of liquid waste, their chemical and

radiochemical composition, the level of total activity, a possibility of return of waste on repeated processing, presence into the waste liquid suspended solids [7].

For the treatment and recycling of liquid waste using the following methods at the NPP:

- thermal;
- sorption;
- membrane methods.

However, all these methods have been widely used on an industrial scale. Since none of known methods alone does not ensure effective cleaning, they are usually applied in a complex. Therefore, the system of cleaning of liquid radioactive waste at station represents a consecutive chain of various installations.

A1.3 LRW processing vat residue

Processing of LRW – an important stage of decommissioning of nuclear power out of operation. Type of radioactive waste and the amount determined by the type of output from the operation of the plant, the conditions and the duration of its work. For the power unit with WWER-type of the liquid radioactive waste includes:

- 1) the salt melt;
- 2) vat residue;
- 3) solution of boric acid;
- 4) pulps of pitches and sorbents, slimes;
- 5) decontamination solutions and condensates;
- 6) water special laundry and sanitary inspection rooms.

Processing bottoms LRW NPP is one of the most popular and major tasks in the field of processing and storage of radioactive waste.

Liquid radioactive waste (LRW) NPP in the form of bottoms s are salt solutions of high concentration (the amount of salt reaches 500 g/dm³).

Economically and environmentally sound solution to the problem is to clean up the vat residues of LRW from radionuclides and processing the latest in solid radioactive waste.

Radioactive substances in solutions bottoms LRW are in the form of simple and complex ions, neutral molecules and colloidal particles. The main radionuclides in the distillation residues are $^{134,137}\text{Cs}$, ^{60}Co , ^{54}Mn . For isotopes of cesium characteristic ion department. Radionuclides of cobalt and manganese in the distillation residues are in the form complexes with compounds that are widely used for decontamination of equipment. At nuclear power plants most often these substances are ethylene diamine tetraacetic sodium (EDTA) and oxalic acid. The presence of cobalt and manganese in an integrated form needs destroyed what I complexes to solve the release of these radionuclides from solutions.

Traditional methods of processing bottoms are deep evaporation, cementation and bituminization. These methods allow you to translate LRW in inert form suitable for disposal, but does not give a significant reduction in the volume of final radioactive product, and requires significant material costs.

Methods for curing such waste multistage, require considerable energy and do not provide a significant reduction in the volume of final radioactive product [2].

A significant reduction of energy consumption for the process can be achieved using plasma recycling. In this case precipitations undergo recycling in form of inflammable water-saltorganic compositions (WSOC) with optimal consist having adiabatic combustion temperature about 1200 °C.

A2 Modelling process of plasma recycling vat residues of LRW

A2.1 Calculation of indicators of burning water-saltorganic compositions based on vat residues of LRW

Liquid combustible compositions are compositions with a net calorific value of more than 8.4 MJ/kg [8]. Net calorific value of inflammable composition should calculate as net calorific value of liquid waste Q_l :

$$Q_l = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_d}{100} - \frac{2.5W}{100}, [MJ / kg], \quad (1)$$

where Q_d is net calorific value of dry waste [MJ/kg];

W and A are respectively content of water and solids [%];

2.5 is value of latent heat of vaporization of water at 0 °C [MJ/kg].

Recommendation to consider liquid compositions with $Q_l \geq 8.4$ MJ/kg as inflammable is overstated for many industrial compositions containing combustible components with low values of Q_d .

In contrast to the work [8], we proposed a more objective measure of flammability of liquid compositions in the form of an adiabatic combustion temperature T_{ad} :

$$T_{ad} = \frac{Q_l + C_{was} t_{was} + \alpha g_{ox}^0 C_{ox} t_{ox}}{\nu C}, [^{\circ}C], \quad (2)$$

where C_{was} is average mass heat capacity of liquid waste [kJ/kg];

t_{was} is temperature of liquid waste [°C]; α is oxidant flow coefficient; is theoretical flow of oxidant (air) [m³/m³];

C_{ox} is average heat capacity of an oxidizer [kJ/(m³·°C)];

t_{ox} is temperature of an oxidizer [°C];

ν are combustion gaseous products of inflammable components of liquid waste [m³/kg];

C is average volumetric heat capacity of combustion products of liquid waste [kJ/(m³·°C)].

In this paper we investigate the burning of model water-saltorganic compositions including vat residues, water, ethyl alcohol (C₂H₅OH). Vat residues have the following typical chemical composition (Table A2.1).

Table A2.1 - Typical composition of the vat residue [2]

Element	Content, %
KNO ₃	11,25
NaNO ₃	11,25
Na ₂ C ₂ O ₄	2,75
Na ₂ B ₄ O ₇	5,5
Na ₂ CO ₃	2,25
NaOH	2,75
H ₂ O	64,25

By the above procedure were calculated the heat of combustion of moist fuel, and the adiabatic combustion temperature.

In the first stage, we calculated indicators of combustion of various composition formulations based on vat residues, and ethyl alcohol. The results are summarized in Table A2.2.

Table A2.2.

The content of non-combustible mineral part VR, %	The water content of VR, %	The content C ₂ H ₆ O, %	QI, MJ/kg	T _{ad} , °C
35,75	64,25	0	-1,60625	-168,93
32,175	57,825	10	3,798375	547,2224
28,6	51,4	20	8,651	1190,231
25,025	44,975	30	12,951625	1760,096
21,45	38,55	40	16,70025	2256,816
17,875	32,125	50	19,896875	2680,393
14,3	25,7	60	22,5415	3030,825
10,725	19,275	70	24,634125	3308,113
7,15	12,85	80	26,17475	3512,258
3,575	6,425	90	27,163375	3643,258

Optimum composition WSOC: vat residue 80%: 20% ethyl alcohol.

A2.2 Calculation of equilibrium consists of products formed during WSOC recycling

To determine optimal modes of the plasma recycling there were calculated equilibrium consists of gaseous and condensed products recycling for recommended (optimal) WSOC. Licensed PC program TERRA was used to perform the calculations with following parameters: atmospheric pressure (0.1 MPa), temperature range (300–4000 K), mass fraction range of air heat transfer agent (0.1–0.95).

Figure A1 shows characteristic equilibrium consists of gaseous (a) and condensed (b) products of optimal WSOC recycling in plasma. Air mass fraction is 50 %.

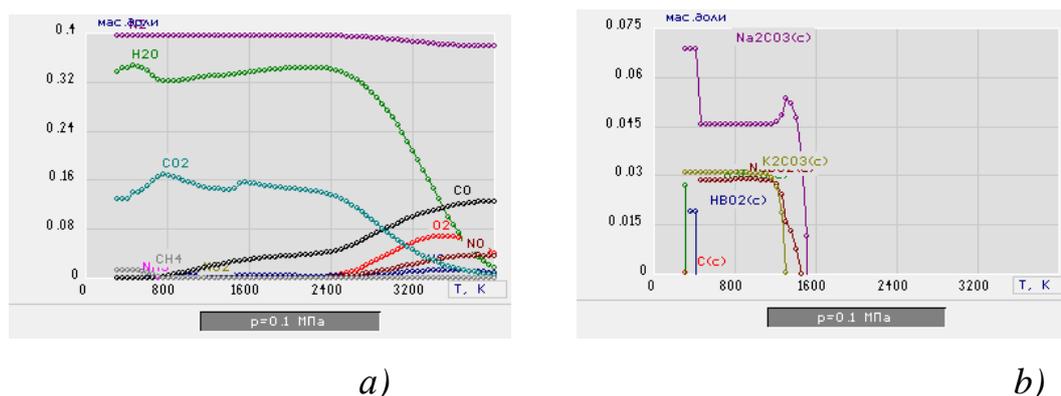


Figure A1 Equilibrium consists of gaseous (a) and condensed (b) products of optimal WSOC recycling in plasma (50 % air : 50 % WSOC)

The analysis of equilibrium consists (figure 1) shows main gaseous products of WSOC recycling at temperature lower 1500 K and 50 % of air mass fraction: N₂, H₂O and CO₂. This fact indicates a possibility to apply magnetic sedimentation.

In the temperature range of 800-1500 K form complex compounds HBO₂, H₃BO₃, Na₂CO₃, Na₂BO₂ and K₂CO₃ in the condensed phase, as well as a small amount of C (c) of soot.

Figure A2 shows characteristic equilibrium consists of gaseous (a) and condensed (b) products of optimal WSOC recycling in plasma. Air mass fraction is 70.

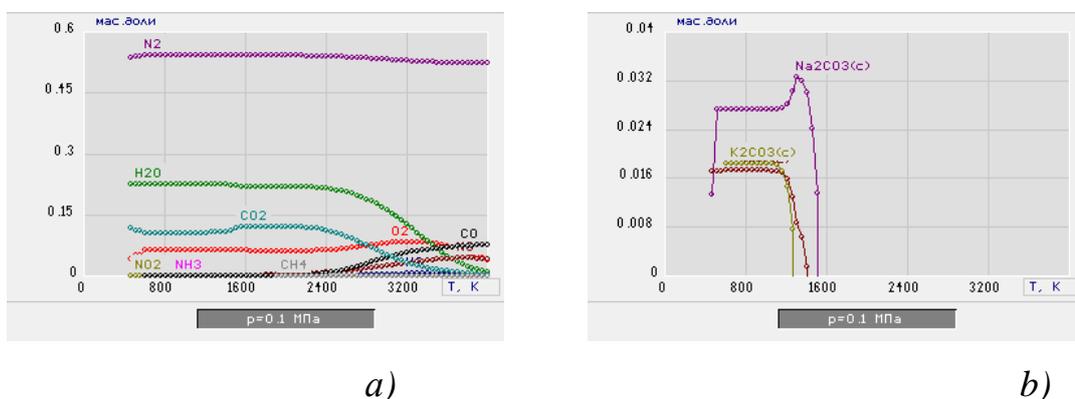


Figure A2 Equilibrium consists of gaseous (a) and condensed (b) products of optimal WSOC recycling in plasma (70 % air : 30 % WSOC)

Increasing the mass fraction of the coolant air to 70% does not significantly change in the composition of gaseous products, but results in complete disappearance of the carbon black C (c), HBO_2 , H_3BO_3 composed of condensed products.

Absence of soot C(c) and insignificant amount of gaseous CO, NO and NO_2 indicates that the plasma recycling of optimal WSOC occurs optimally.

Thus, on the basis of the thermodynamic process modeling of researched shows that their processing as WSOK optimal composition can provide not only their energy-efficient a single stage and the plasma treatment in air, but will greatly reduce the amount of waste in the form of vat residue.

A3 Experimental confirmation of recommended modes for vat residue recycling in plasma

Plasma stand «Plasma unit on the basis of high-frequency generator VChG 8-60/13-01» was used to experimentally verify recommended process conditions of joint plasma recycling wastes in high-frequency air plasma torch discharge. Figure 3 shows the scheme of this plasma unit.

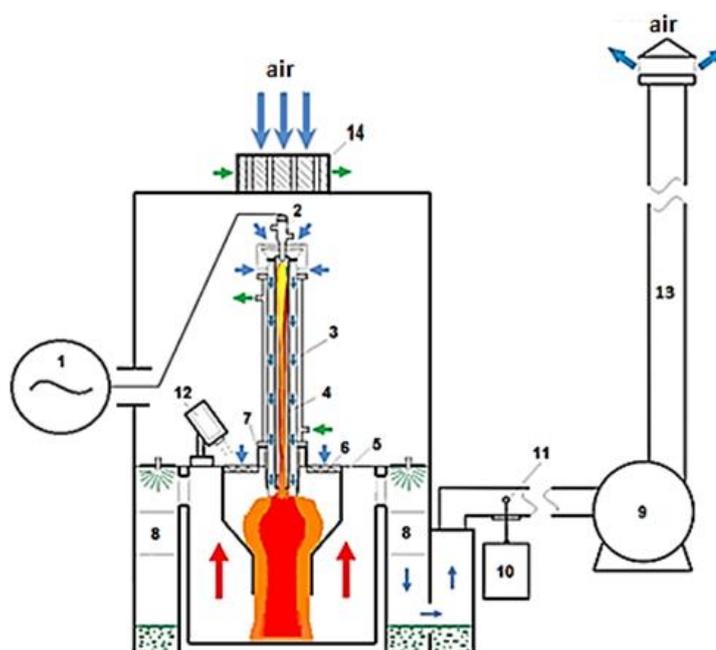


Figure 3 Scheme of laboratory plasma unit: high-frequency generator (1); copper electrode (2); high-frequency torch plasmatron (3); high-frequency torch discharge (4); reactor (5); reactor impeller (6); dispersant (7); unit for water scrubbing of exhaust gases (8); exhaust fan (9); gas analyzer (10); sampling device (11); pyrometer (12); gas duct (13); heater (14).

Plasma unit includes high-frequency generator VChG 8-60/13-01 (oscillatory power up to 60 kW, the operating frequency of 13.56 MHz). High-frequency energy from generator via coaxial output 6 is supplied to the water-cooled copper electrode 2 of high-frequency torch plasmatron 3. Plasmatron generates air plasma jets with temperature to 4000 K. Exhaust fan 9 provides a constant air flow through the plasmatron 3 and reactor 5.

Input unit of plasma gas (air) is provided with an impeller (input area $S_{imp} = 25 \text{ cm}^2$). It is placed at the entrance of the plasmatron and is designed for input and swirling the air heat transfer agent into the discharge chamber of the plasmatron. Discharge chamber is made of quartz tube with a diameter of 50 mm and a length of 860 mm.

Reactor impeller 6 is designed for swirling the air heat transfer agent entering the reactor and allows adjusting the input area of the impeller within 0–1650 cm^2 .

Gas analyzer 10 and sampling device 11 are made for determining the consist of the exhaust gases after unit for water scrubbing 8 and for measurements with Pitot tube of air heat transfer velocity through plasmatron and the reactor.

Pyrometer 12 is designed for non-contact temperature measurement (through absorption of produced carbon dioxide) of the plasma combustion of inflammable dispersed WSOC into reactor.

Conclusions

The results of the research could be used in the development of energy-efficient technologies of plasma treatment of evaporation products of liquid radioactive waste from NPP (particularly in the form of the vat residue).

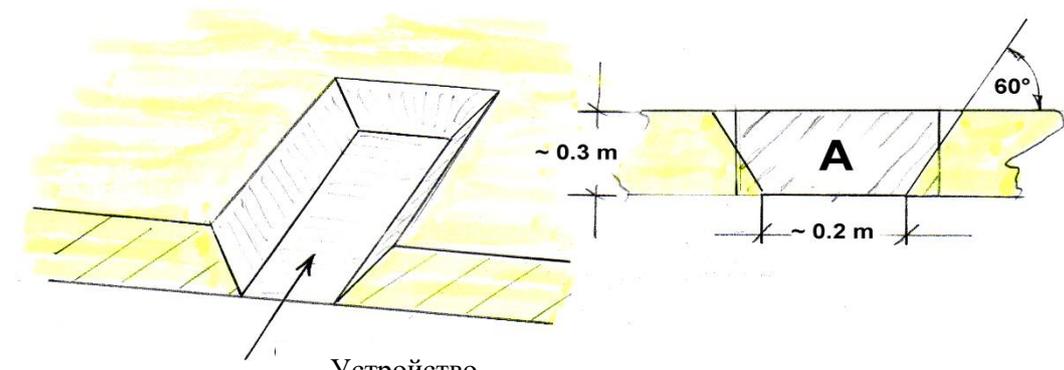
References:

1. Technological and organizational aspects of the IAEA Radioactive Waste Management, IAEA-TCS-27 ISSN 1018-5518 Vienna 2005.
2. Ryabchikov BE Purification liquid radioactive waste. - M : DeLi print, 2008. – 512.
3. Karengin A G, Tundeshev N V, Novoselov I Yu, Oreshkin E A 2015 Adv. Mater. Res. 1084 327–32.
4. Radioactive waste management glossary : 2003 ed. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2003.
5. GOST 50996-96 "The collection, storage, processing and disposal of radioactive waste. Terms and Definitions". [Electronic resource]. – Access: <http://vsegost.com/Catalog/93/9395.shtml>.
6. Skachek M. A. Management of spent nuclear fuel and radioactive nuclear waste: a manual for schools / MA Horse Racing. - Publishing House MEI, 2007. – 448.
7. Bernadiner M N, Shurygin A P Flame processing and disposal of industrial waste (Moscow: Chemistry).

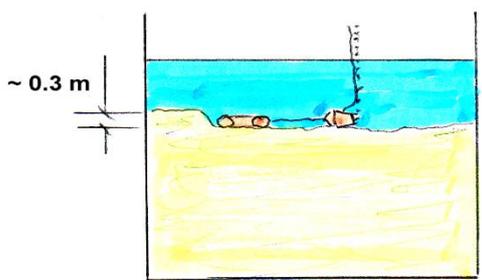
Приложение Б

Таблица Б1 – Стандартные технологии, применяемые для обработки радиоактивных отходов

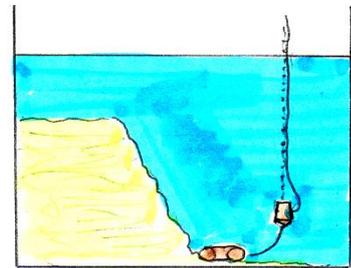
Виды отходов		Методы переработки
Твердые	<p>Сжигаемые</p> <p>Прессуемые Металлические Несжигаемые, непрессуемые</p>	<p>Сжигание в печах. Плазменное сжигание. Термохимическая переработка. Сжигание при остекловывании. Кислотное разложение.</p> <p>Компактирование и суперкомпактирование. Компактирование. Плавление. Контейнеризация.</p>
Жидкие	<p>Органические сжигаемые</p> <p>Органические несжигаемые</p> <p>Водные малосолевые</p> <p>Водные высокосолевые</p>	<p>Сжигание, совместное сжигание с твердыми отходами.</p> <p>Сорбция на порошках и включение в цементоподобную матрицу, термохимическая переработка.</p> <p>Очистка (концентрирование) выпаркой, химическим осаждением, сорбцией, селективной сорбцией, мембранным разделением.</p> <p>Цементирование.</p> <p>Очистка селективной сорбцией.</p> <p>Цементирование. Битумирование.</p> <p>остекловывание</p>
Газообразные		Улавливание сорбцией и химическими реагентами



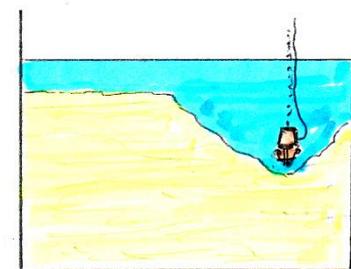
Устройство
размыва



Удаление твердых веществ слоями



Удаление осадков сверху вниз,
к днищу



Удаление осадков сверху вниз, к
днищу, с начальным использованием
специальной всасывающей головки
для погружного насоса

Рисунок Б1 – Способы расворения солей и извлечения раствора

Приложение В

Таблица В1 – Показатели горения композиций «КО–этанол»

Состав ВСОК на основе этанола, %			Q ^н _p , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание этанола		
35,75	64,25	0,00	-1,61	-169,04
35,39	63,61	1,00	-1,30	-128,99
35,04	62,97	2,00	-1,00	-88,94
34,68	62,32	3,00	-0,70	-48,89
34,32	61,68	4,00	-0,40	-8,83
33,96	61,04	5,00	-0,10	31,22
33,61	60,40	6,00	0,21	71,27
33,25	59,75	7,00	0,51	111,32
32,89	59,11	8,00	0,81	151,37
32,53	58,47	9,00	1,11	191,42
32,18	57,83	10,00	1,41	231,48
31,82	57,18	11,00	1,72	271,53
31,46	56,54	12,00	2,02	311,58
31,10	55,90	13,00	2,32	351,63
30,75	55,26	14,00	2,62	391,68
30,39	54,61	15,00	2,92	431,74
30,03	53,97	16,00	3,23	471,79
29,67	53,33	17,00	3,53	511,84
29,32	52,69	18,00	3,83	551,89
28,96	52,04	19,00	4,13	591,94
28,60	51,40	20,00	4,44	631,99
28,24	50,76	21,00	4,74	672,05
27,89	50,12	22,00	5,04	712,10
27,53	49,47	23,00	5,34	752,15
27,17	48,83	24,00	5,64	792,20
26,81	48,19	25,00	5,95	832,25
26,46	47,55	26,00	6,25	872,31
26,10	46,90	27,00	6,55	912,36
25,74	46,26	28,00	6,85	952,41
25,38	45,62	29,00	7,15	992,46
25,03	44,98	30,00	7,46	1032,51
24,67	44,33	31,00	7,76	1072,56
24,31	43,69	32,00	8,06	1112,62
23,95	43,05	33,00	8,36	1152,67

Продолжение таблицы В1

Состав ВСОК на основе этанола, %			Q ⁿ _p , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание этанола		
23,60	42,41	34,00	8,66	1192,72
23,24	41,76	35,00	8,97	1232,77
22,88	41,12	36,00	9,27	1272,82
22,52	40,48	37,00	9,57	1312,88
22,17	39,84	38,00	9,87	1352,93
21,81	39,19	39,00	10,17	1392,98
21,45	38,55	40,00	10,48	1433,03
21,09	37,91	41,00	10,78	1473,08
20,74	37,27	42,00	11,08	1513,13
20,38	36,62	43,00	11,38	1553,19
20,02	35,98	44,00	11,68	1593,24
19,66	35,34	45,00	11,99	1633,29
19,31	34,70	46,00	12,29	1673,34
18,95	34,05	47,00	12,59	1713,39
18,59	33,41	48,00	12,89	1753,45
18,23	32,77	49,00	13,19	1793,50
17,88	32,13	50,00	13,50	1833,55
17,52	31,48	51,00	13,80	1873,60
17,16	30,84	52,00	14,10	1913,65
16,80	30,20	53,00	14,40	1953,70
16,45	29,56	54,00	14,71	1993,76
16,09	28,91	55,00	15,01	2033,81
15,73	28,27	56,00	15,31	2073,86
15,37	27,63	57,00	15,61	2113,91
15,02	26,98	58,00	15,91	2153,96
14,66	26,34	59,00	16,22	2194,02
14,30	25,70	60,00	16,52	2234,07
13,94	25,06	61,00	16,82	2274,12
13,59	24,41	62,00	17,12	2314,17
13,23	23,77	63,00	17,42	2354,22
12,87	23,13	64,00	17,73	2394,27
12,51	22,49	65,00	18,03	2434,33
12,16	21,84	66,00	18,33	2474,38
11,80	21,20	67,00	18,63	2514,43
11,44	20,56	68,00	18,93	2554,48
11,08	19,92	69,00	19,24	2594,53
10,73	19,27	70,00	19,54	2634,58
10,37	18,63	71,00	19,84	2674,64
10,01	17,99	72,00	20,14	2714,69

Продолжение таблицы В1

Состав ВСОК на основе этанола, %			Q ^{нр} , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание этанола		
9,65	17,35	73,00	20,44	2754,74
9,29	16,70	74,00	20,75	2794,79
8,94	16,06	75,00	21,05	2834,84
8,58	15,42	76,00	21,35	2874,90
8,22	14,78	77,00	21,65	2914,95
7,86	14,13	78,00	21,95	2955,00
7,51	13,49	79,00	22,26	2995,05
7,15	12,85	80,00	22,56	3035,10
6,79	12,21	81,00	22,86	3075,15
6,43	11,56	82,00	23,16	3115,21
6,08	10,92	83,00	23,46	3155,26
5,72	10,28	84,00	23,77	3195,31
5,36	9,64	85,00	24,07	3235,36
5,00	8,99	86,00	24,37	3275,41
4,65	8,35	87,00	24,67	3315,47
4,29	7,71	88,00	24,98	3355,52
3,93	7,07	89,00	25,28	3395,57
3,57	6,42	90,00	25,58	3435,62
3,22	5,78	91,00	25,88	3475,67
2,86	5,14	92,00	26,18	3515,72
2,50	4,50	93,00	26,49	3555,78
2,14	3,85	94,00	26,79	3595,83
1,79	3,21	95,00	27,09	3635,88
1,43	2,57	96,00	27,39	3675,93
1,07	1,93	97,00	27,69	3715,98
0,71	1,28	98,00	28,00	3756,04
0,36	0,64	99,00	28,30	3796,09

Таблица В2 – Показатели горения композиций «КО–ацетон»

Состав ВСОК на основе ацетона, %			Q ^{н.р.} , МДж/кг	T _{ад.} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержани е воды	Содержани е ацетона		
35,75	64,25	0,00	-1,61	-178,60
35,39	63,61	1,00	-1,27	-132,16
35,04	62,97	2,00	-0,94	-85,73
34,68	62,32	3,00	-0,61	-39,29
34,32	61,68	4,00	-0,28	7,14
33,96	61,04	5,00	0,05	53,58
33,61	60,40	6,00	0,38	100,01
33,25	59,75	7,00	0,71	146,44
32,89	59,11	8,00	1,05	192,88
32,53	58,47	9,00	1,38	239,31
32,18	57,83	10,00	1,71	285,75
31,82	57,18	11,00	2,04	332,18
31,46	56,54	12,00	2,37	378,61
31,10	55,90	13,00	2,70	425,05
30,75	55,26	14,00	3,03	471,48
30,39	54,61	15,00	3,37	517,92
30,03	53,97	16,00	3,70	564,35
29,67	53,33	17,00	4,03	610,78
29,32	52,69	18,00	4,36	657,22
28,96	52,04	19,00	4,69	703,65
28,60	51,40	20,00	5,02	750,09
28,24	50,76	21,00	5,35	796,52
27,89	50,12	22,00	5,69	842,95
27,53	49,47	23,00	6,02	889,39
27,17	48,83	24,00	6,35	935,82
26,81	48,19	25,00	6,68	982,26
26,46	47,55	26,00	7,01	1028,69
26,10	46,90	27,00	7,34	1075,12
25,74	46,26	28,00	7,67	1121,56
25,38	45,62	29,00	8,01	1167,99
25,03	44,98	30,00	8,34	1214,43
24,67	44,33	31,00	8,67	1260,86
24,31	43,69	32,00	9,00	1307,29
23,95	43,05	33,00	9,33	1353,73
23,60	42,41	34,00	9,66	1400,16
23,24	41,76	35,00	9,99	1446,60
22,88	41,12	36,00	10,33	1493,03

Продолжение таблицы В2

Состав ВСОК на основе ацетона, %			Q ^н _p , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержани е воды	Содержани е ацетона		
22,52	40,48	37,00	10,66	1539,46
22,17	39,84	38,00	10,99	1585,90
21,81	39,19	39,00	11,32	1632,33
21,45	38,55	40,00	11,65	1678,77
21,09	37,91	41,00	11,98	1725,20
20,74	37,27	42,00	12,32	1771,64
20,38	36,62	43,00	12,65	1818,07
20,02	35,98	44,00	12,98	1864,50
19,66	35,34	45,00	13,31	1910,94
19,31	34,70	46,00	13,64	1957,37
18,95	34,05	47,00	13,97	2003,81
18,59	33,41	48,00	14,30	2050,24
18,23	32,77	49,00	14,64	2096,67
17,88	32,13	50,00	14,97	2143,11
17,52	31,48	51,00	15,30	2189,54
17,16	30,84	52,00	15,63	2235,98
16,80	30,20	53,00	15,96	2282,41
16,45	29,56	54,00	16,29	2328,84
16,09	28,91	55,00	16,62	2375,28
15,73	28,27	56,00	16,96	2421,71
15,37	27,63	57,00	17,29	2468,15
15,02	26,98	58,00	17,62	2514,58
14,66	26,34	59,00	17,95	2561,01
14,30	25,70	60,00	18,28	2607,45
13,94	25,06	61,00	18,61	2653,88
13,59	24,41	62,00	18,94	2700,32
13,23	23,77	63,00	19,28	2746,75
12,87	23,13	64,00	19,61	2793,18
12,51	22,49	65,00	19,94	2839,62
12,16	21,84	66,00	20,27	2886,05
11,80	21,20	67,00	20,60	2932,49
11,44	20,56	68,00	20,93	2978,92
11,08	19,92	69,00	21,26	3025,35
10,73	19,27	70,00	21,60	3071,79
10,37	18,63	71,00	21,93	3118,22
10,01	17,99	72,00	22,26	3164,66
9,65	17,35	73,00	22,59	3211,09
9,29	16,70	74,00	22,92	3257,53
8,94	16,06	75,00	23,25	3303,96

Продолжение таблицы В2

Состав ВСОК на основе ацетона, %			Q ^н , МДж/кг	T _{ад} , °С
Содержание негорючей минеральной части	Содержание воды	Содержание ацетона		
8,58	15,42	76,00	23,58	3350,39
8,22	14,78	77,00	23,92	3396,83
7,86	14,13	78,00	24,25	3443,26
7,51	13,49	79,00	24,58	3489,70
7,15	12,85	80,00	24,91	3536,13
6,79	12,21	81,00	25,24	3582,56
6,43	11,56	82,00	25,57	3629,00
6,08	10,92	83,00	25,91	3675,43
5,72	10,28	84,00	26,24	3721,87
5,36	9,64	85,00	26,57	3768,30
5,00	8,99	86,00	26,90	3814,73
4,65	8,35	87,00	27,23	3861,17
4,29	7,71	88,00	27,56	3907,60
3,93	7,07	89,00	27,89	3954,04
3,57	6,42	90,00	28,23	4000,47
3,22	5,78	91,00	28,56	4046,90
2,86	5,14	92,00	28,89	4093,34
2,50	4,50	93,00	29,22	4139,77
2,14	3,85	94,00	29,55	4186,21
1,79	3,21	95,00	29,88	4232,64
1,43	2,57	96,00	30,21	4279,07
1,07	1,93	97,00	30,55	4325,51
0,71	1,28	98,00	30,88	4371,94
0,36	0,64	99,00	31,21	4418,38

Таблица В3 – Энергозатраты процесса плазменной обработки в воздушной плазме

КО с этанолом				
Т, К	Јт, кДж/кг	Эобщ, кДж/кг	Z	Эуд, МДж/кг
300	-2180	0	0,185	0,0
500	-1910	270		1,5
1000	-1200	980		5,3
1500	-333,5	1846,5		10,0
2000	433,1	2613,1		14,1
2500	1435,3	3615,3		19,6
3000	3253	5433		29,4
3500	6936,4	9116,4		49,3
4000	11280	13460		72,8
КО без этанола				
300	-5090	0	0,185	0,0
500	-4810	280		1,5
1000	-4090	1000		5,4
1500	-3090	2000		10,8
2000	-2260	2830		15,3
2500	-933,2	4156,8		22,5
3000	1804,9	6894,9		37,3
3500	6945,6	12035,6		65,1
4000	12800	17890		96,8

Таблица В4 – Энергозатраты процесса плазменной обработки в воздушной плазме

КО с ацетоном				
Т, К	Јт, кДж/кг	Эобщ, кДж/кг	Z	Эуд, МДж/кг
300	-2280	0	0,207	0,0
500	-2010	270		1,4
1000	-1290	990		5,1
1500	-410,2	1869,8		9,7
2000	361,45	2641,45		13,7
2500	1373,2	3653,2		18,9
3000	3217,5	5497,5		28,5
3500	6979,4	9259,4		47,9
4000	11440	13720		71,0

Продолжение таблицы В4

КО без ацетона				
Т, К	It, кДж/кг	Эобщ, кДж/кг	Z	Эуд, МДж/кг
300	-5010	0	0,193	0,0
500	-4730	280		1,4
1000	-4050	960		5,0
1500	-3100	1910		9,9
2000	-2220	2790		14,4
2500	-860,3	4149,7		21,5
3000	1814	6824		35,3
3500	6687,9	11697,9		60,5
4000	12110	17120		88,6

Приложение Г

Таблица Г1 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность и энергоэффективность технологии С2. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. С3. Более низкая стоимость утилизации отходов по сравнению с другими технологиями. С4. Отличная от конкурентов технология С5. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2МВт*ч/т) на бытовые технологические нужды С6. Слабая конкуренция технологий переработки кубовых остатков ЖРО.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство промышленных установок под ключ. Сл2. Сложное финансовое положение. Сл3. Невозможность работы с настоящими (не модельными) отходами в лабораторных условиях (На кафедре ТФ НИ ТПУ). Сл4.Отсутствие собственной сырьевой базы (отходов водочистки). Сл5.Отсутствие возможности проверки полученных расчетов на практике.</p>
<p>Возможности: В1. Создание рынка по переработке кубовых остатков ЖРО. В2. Появление дополнительного спроса на результаты исследований.</p>	<p>В1С1С2С3С4С5С6, В2С1С2С3С5С6. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность создания рынка по переработке кубовых остатков и появление дополнительного спроса на результаты исследований.</p>	<p>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, а так же повысить интерес компаний, оказывающих инжиниринговые услуги..</p>

Продолжение таблицы Г1

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>С3. Более низкая стоимость утилизации отходов по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Отличная от конкурентов технология</p> <p>С5. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2МВт*ч/т) на бытовые технологические нужды</p> <p>С6. Слабая конкуренция технологий переработки кубовых остатков ЖРО.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство промышленных установок под ключ.</p> <p>Сл2. Сложное финансовое положение.</p> <p>Сл3. Невозможность работы с настоящими (не модельными) отходами в лабораторных условиях (На кафедре ТФ НИ ТПУ).</p> <p>Сл4.Отсутствие собственной сырьевой базы (отходов водоочистки).</p> <p>Сл5.Отсутствие возможности проверки полученных расчетов на практике.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>У1С3С5, У2С1С6. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования</p>	<p>-</p>

Таблица Г2 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Содержание работ		Дата	Результат
1	Разработка ТЗ на ВКР	Составление и утверждение технического задания		1.02.16	Приказ по ФТИ
2	Выбор направления исследования	Изучение проблемы и подбор литературы		2.02.16 - 14.03.16	Отчет и план работ
3		Изучение литературы и выбор методов решения проблемы			
4		Календарное планирование работ по теме			
5	Теоретические и экспериментальные исследования	Моделирование технологического процесса на компьютере	Расчет показателей горения ВСОК на основе КО ЖРО. Выбор оптимальных составов. ТД расчет процесса плазменной переработки ВСОК с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов процесса переработки. Оценка энергозатрат на процесс плазменной переработки КО ЖРО	15.03.16-31.03.16	Отчет
6		Экспериментальные исследования	Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда. Экспериментальные исследования процесса переработки КО ЖРО в виде диспергированных ВСОК. Определение оптимальных составов ВОК и режимов их утилизации в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	1.04.16-30.04.16	

Продолжение таблицы Г2

№	Контрольное событие	Содержание работ	Дата	Результат
7	Анализ и обобщение	Анализ и обработка полученных результатов	1.05.16-15.05.16	Отчет
8	полученных данных	Оценка эффективности полученных результатов	16.05.16-31.05.15	Отчет
9	Обобщение и	Оформление пояснительной записки (ПЗ)	1.06.16-6.06.16	Выкладка ПЗ в сеть
10	оценка результатов	Составление презентации и подготовка к защите	7.06.16-20.06.16	Готовая ВКР

Таблица Г3 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников	
1	Составление и утверждение технического задания	1	1.02.16	2.02.16	руководитель	
2	Изучение проблемы и подбор литературы	13	2.02.16	15.02.16	дипломник	
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	23	16.02.16	9.03.16		
4	Календарное планирование работ по теме	4	10.03.16	14.03.16		
5	Моделирование технологического процесса на компьютере	Расчет показателей горения ВСОК на основе КО ЖРО. Выбор оптимальных составов	5	15.03.16	20.03.16	руководитель, дипломник
6		ТД расчет плазменной переработки ВСОК с применением программы «TERRA». Определение оптимальных режимов процесса переработки	6	21.03.16	27.03.16	
7		Оценка энергозатрат на процесс плазменной переработки КО ЖРО	3	28	31.03.16	
8		Исследования режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ – плазмотрона. Определение оптимальных режимов плазменного стенда.	14	1.04.16	15.04.16	
9	Экспериментальные исследования	Экспериментальные исследования процесса переработки КО ЖРО в виде диспергированных ВСОК. Определение оптимальных составов ВСОК и режимов их утилизации в воздушной плазме ВЧФ – разряда.	14	16.04.16	30.04.16	
10	Анализ и обработка полученных результатов	14	1.05.16	15.05.16	дипломник	
11	Оценка эффективности полученных результатов	15	16.05.16	31.05.15	руководитель, дипломник	
12	Оформление пояснительной записки (ПЗ)	5	1.06.16	6.06.16	дипломник	

Продолжение таблицы Г3

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
13	Составление презентации и подготовка к защите	13	7.06.16	20.06.16	дипломник

Таблица Г4 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «ФМРиР»	Консультант раздела «СО»	Консультант иностранному языку	Дипломник
Составление и утверждение технического задания	О				
Изучение проблемы и подбор литературы	О				И
Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	С				И
Календарное планирование работ по теме	О				И
Моделирование технологического процесса на компьютере	С				И
Экспериментальные исследования	О				И
Анализ и обработка полученных результатов	С				И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Оформление пояснительной записки	С				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение иностранной части ВКР				С	
Составление презентации и подготовка к защите					И

Список научных работ

№ п/п	Наименование работы	Выходные данные	Соавторы
1	2	3	4
1	Моделирование процесса плазменной утилизации отходов водоочистки	Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Томск, 9-13 апреля 2013	А.Г. Каренгин
2	Плазменное получение нанодисперсных пигментов из отходов после очистки воды	Известия вузов. Физика. – 2014. - Т.57. - № 3/3. - С. 87-90.	В.А. Власов, А.Г. Каренгин А.А. Каренгин
3	Оценка возможности применения ВЧФ-плазмотронов для плазменной утилизации горючих отходов	Современные техника и технологии: сборник трудов XX Международной юбилейной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., г. Томск, 14-18 апреля 2014.	Н.В. Тундешев
4	Оценка возможности применения ВЧФ-плазмотронов для плазменной утилизации горючих отходов	Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых. г. Томск, 22-25 апреля 2014 г.	Н.В. Тундешев А.Г. Каренгин Е.А. Орешкин
5	Исследование процесса плазменной утилизации отходов после очистки воды	Международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение»: сборник тезисов докладов. г. Томск, 20-24 октября 2014 г.	А.Г. Каренгин А.А. Лютц
6	Исследование процесса плазменной утилизации отходов после очистки воды	VI Всероссийская конференция студентов Элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых». г. Томск, 22-24 апреля 2015 г.	А.Г. Каренгин

№ п/п	Наименование работы	Выходные данные	Соавторы
1	2	3	4
7	Моделирование и исследование процесса обработки в воздушной плазме радиационно-загрязненных иловых отложений бассейнов-хранилищ в виде ВСОК	Изотопы: технологии, материалы и применение: II Международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов. г. Томск, 19-23 октября 2015 г.	Е.А. Орешкин И.Ю.Новоселов
8	Efficiency assessment of using flammable compounds from water treatment and methanol production waste for plasma synthesis of iron-containing pigments	VII Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию физико-технического образования в г. Томске «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине». г. Томск 3 – 6 июня 2015г.	А.Г. Каренгин И.Ю.Новоселов
9	Моделирование и исследование процесса плазменной обработки кубовых остатков ЖРО.	«Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий» в рамках научной сессии НИЯУ МИФИ. г. Северск 21 – 25 марта 2016 года.	
10	Моделирование и исследование процесса плазменной обработки кубовых остатков ЖРО.	XIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». г. Томск 26 – 29 апреля 2016г.	А.Г. Каренгин
11	Оценка эффективности плазменного получения железосодержащих пигментов из горючих композиций на основе отходов очистки воды и отходов производства метанола	XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», посвященная 120-летию Томского политехнического университета». г.Томск, 17 – 20 мая 2016г..	А.Г. Каренгин