

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование и исследование процесса плазменной иммобилизации отходов в расплавах хлоридов металлов

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Егоров Станислав Викторович		

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
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017

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, оформлению законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

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

Институт ФТИ
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Шаманин И.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Егоров Станислав Викторович

Тема работы:

Моделирование и исследование процесса плазменной иммобилизации отходов в расплавах хлоридов металлов	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№ 769/с от 13.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	09.06.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Будет проведено моделирование и исследование процесса плазменной иммобилизации жидких радиоактивных отходов в расплавах хлоридов металлов в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Провести обзор литературы и анализ традиционных способов иммобилизации жидких радиоактивных отходов (ЖРО); 2. Расчет параметров водно-солеорганических композиций на основе отходов переработки отработавшего ядерного топлива (ОП ОЯТ), ацетона и хлорида натрия. Выбор оптимальных составов композиций (ВСОК), обеспечивающих энергоэффективную плазменную иммобилизацию ОП ОЯТ в расплавах хлорида натрия. 3. Термодинамический расчет процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК. Выбор оптимальных условий, обеспечивающих экологически безопасную иммобилизацию ОП ОЯТ в воздушной плазме в расплавах хлорида натрия. 4. Исследование процесса плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в расплавах хлорида натрия в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда. Экспериментальное подтверждение расчетных данных. 5. Экономическое обоснование проведения НИР. 6. Выводы по работе. Заключение
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Экспериментальная часть</p>	<p>Доцент кафедры «Техническая физика» Каренгин А.Г.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент кафедры «Менеджмента» Меньшикова Е.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.05.2017 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>доцент кафедры ТФ ФТИ</p>	<p>Каренгин А.Г.</p>	<p>к.ф-м.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>0А3Д</p>	<p>Егоров С.В.</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Егоров Станислав Викторович

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> 	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> 	<p>Оценочная карта конкурентных технических решений</p> <p>Иерархическая структура работ</p> <p>SWOT-анализ</p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i> 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры «менеджмента»	Е.В. Меньшикова	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Егоров Станислав Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Егоров Станислав Викторович

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	– вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ и ВЧФ-плазмотрона.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды в следующей последовательности:</i>	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ ФТИ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Егоров Станислав Викторович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 85 страниц, 20 рис., 22 табл., 23 источников, 29 формул.

Ключевые слова: иммобилизация, отходы переработки отработавшего ядерного топлива, водно-солеорганические композиции, высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, жидкие радиоактивные отходы.

Объектом исследования является процесс иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в плазме высокочастотного факельного разряда.

Цель работы – оценка возможности и эффективности процесса плазменной иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в воздушной плазме высоко-факельного плазмотрона.

В процессе исследования проводились расчет и оптимизация показателей горения водно-солеорганических композиций на основе ОП ОЯТ и режимов их плазменной иммобилизации в воздушной плазме.

В результате исследования определены оптимальные составы водно-солеорганические композиции на основе ОП ОЯТ и рекомендованы для практической реализации ресурсоэффективные режимы их плазменной иммобилизации, которые подтверждены экспериментальным путем на модельных отходах.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании оборудования и технологии для плазменной иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива на ФГУП «Горно-химический комбинат» и других отходов создаваемого российского ядерного топливного цикла.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленной комплексной переработки отходов отработавшего ядерного топлива и других отходов создаваемого российского ядерного топливного цикла.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

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

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков неравновесной плазмы.

Иммобилизация – перевод продуктов, относимых к категории радиоактивных отходов, в формы, препятствующие на современном техническом уровне извлечению ядерных материалов, входящих в состав радиоактивных отходов, и дальнейшему их использованию.

$T_{всп}$ – 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.

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

РАО – радиоактивные отходы

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы

ТРО – твердые радиоактивные отходы

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо

ОП ОЯТ – отходы переработки отработавшего ядерного топлива

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд;

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

НАО – низко активные отходы

ВАО – высоко активные отходы

ВСОК – водно-солеорганическая композиция

АЭС – атомная электростанция

Оглавление

РЕФЕРАТ	7
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	8
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	9
ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1 Битумирование	13
1.2 Цементирование	15
1.3 Остекловывание	16
2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОП ОЯТ.....	22
2.1 Расчет параметров водно-солеорганических композиций на основе водно-солевых отходов	22
2.2 Термодинамический расчет процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ.....	24
3 Экспериментальные исследования процесса	38
3.1 Лабораторная плазменная установка на базе ВЧФ-плазмотрона	38
3.2 Исследование процесса плазменной иммобилизации модельных отходов ОП ОЯТ в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда	42
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	46
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	47
4.1.3 SWOT-анализ.....	49
4.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	51
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР.....	53
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	54
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	55
4.3.1 Расчет материальных затрат	56

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	58
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	58
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	60
4.3.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки	61
4.3.6 Контрагентные расходы	61
4.3.7 Накладные расходы	61
4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	64
5 Социальная ответственность	68
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	69
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ	71
5.2.1 Организационные мероприятия	71
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.	72
5.2.3 Условия безопасности работы.....	74
5.3 Электробезопасность	77
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	80
Выводы.....	82
Заключение	83
Список литературы	84

ВВЕДЕНИЕ

Основной технологии переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на радиохимических заводах является PUREX-процесс, в котором экстракцию урана и плутония из водно-хвостовых растворов осуществляют трибутилфосфатом с использованием различных органических разбавителей (керосин, очищенные углеводороды, гексахлорбутадиен и др.) [1-3]. Оставшиеся после первого экстракционного цикла без урана и плутония отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) представляют собой ВСО, включающие продукты деления изотопа урана-235, изотопы плутония и целый ряд конструкционных (цирконий) и ценных металлов (РЗЭ, платиноиды). Полученные ОП ОЯТ выпаривают, добавляют химические реагенты (силикаты, фосфаты, бораты и др.) и направляют на операцию остекловывания с последующим захоронением. К недостаткам применяемых технологий переработки ОП ОЯТ следует отнести многостадийность, необходимость применения химических реагентов, значительные энерго- и трудозатраты. Для обработки таких ВСО перспективным является применение низкотемпературной плазмы [3-8]. Известно, что плазменная обработка диспергированных водных растворов солей или суспензий гидроксидов металлов является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения простых и сложных оксидов металлов. Основными достоинствами способа являются: высокая скорость процесса, большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов, компактность технологического оборудования. Однако плазменная обработка только водно-солевых растворов является дорогостоящим процессом из-за высоких затрат электрической энергии (2-4 МВт·ч/т). Значительное снижение энергозатрат может быть достигнуто при обработке ВСО в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных водно-солеорганических композиций (ВСОК), обеспечивающих их энергоэффективную обработку.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Битумирование

Битум, как наиболее применяемое термопластичное связующее, представляет собой продукт совместной перегонки каменного угля и нефти. Благодаря своей высокой термопластичности и гидростойкости позволяет при нагревании включать его в концентраты РАО с получением гомогенного продукта и обеспечивать надежную изоляцию включенных компонентов.

Битумирование применяется, в основном, для обезвреживания отходов низкой активности (НАО) которые разделяются на три класса (А, В, С) по мере роста в них содержания радионуклидов и ужесточения требований обращения. Существуют «гражданские» НАО, которые имеют содержание радионуклидов, больше чем в классе С. НАО производится при утилизации объектов АЭС, при утилизации коммерческих производств, которые используют для выпуска своей продукции радиоактивные материалы, при утилизации медицинского оборудования, использующего радионуклиды, установок, использующих радионуклиды в целях НИОКР. Обращение с НАО DOE определяется правилами, действующими в DOE. Коммерческие НАО отличаются большим разнообразием [3]:

- облученные компоненты, загрязненные материалы, жидкости для очистки и отстои атомных электростанций;
- загрязненные отходы элементов ядерного топливного цикла (например, при фабрикации ядерного топлива);
- промышленная активность (радиомедикаменты, производство источников);
- медицинские РАО;
- активность технологий, в основном, «трассеры» для биологических исследований или геологической разведки.

При введении в битум отходов его свойства изменяются в результате взаимодействия битума и наполнителей. При этом, битумные блоки обычно

наполняют сухими РАО на 40-60 %. Благодаря высоким гидроизолирующим свойствам битума, обычно скорость вымывания солей из композиций на основе битума характеризуется значением 10^{-4} - 10^{-5} г/см²·сут.

Включения в битумные композиции ионообменных смол и кристаллогидратов приводит к увеличению объема наполнителя и разбуханию композиций.

Присутствие в композициях синтетических моющих средств (сульфанол) пластифицирует битум, но в то же время нарушает его целостность и частично переводит его в коллоидный раствор. Из-за этих явлений уменьшаются водоустойчивость композиций на основе битума. Для уменьшения вымываемости радионуклидов из битумных композиций их стремятся перевести в нерастворимую форму или закрепить на каком-либо носителе – селективном сорбенте. Например, при введении в битумную композицию ферроцианида никеля для связывания цезия, его вымываемость заметно уменьшается.

Скорость выщелачивания радионуклидов зависит от свойств используемых битумов. При облучении битумов скорость выщелачивания радионуклидов изменяется незначительно.

Битумные блоки устойчивы лишь до температуры 350 °С. Увеличение содержания солей в битумной смеси может вызывать ее расслаивание в разогретом состоянии при транспортировке или в начальном периоде хранения. Битумная смесь также может являться пищей для бактерий, живущих в почве в районе хранения. Это может привести к разрушению битумных блоков и высвобождению хранящихся в них радионуклидов.

1.2 Цементирование

Цементирование – это один из главных

Цементирование, являясь одним из основных методов отверждения как гомогенных, так и гетерогенных отходов [3], имеет целый ряд преимуществ:

- негорючесть и отсутствие пластичности у отвержденного продукта;
- простота осуществления процесса смешивания концентрата;
- отходов с цементом;
- способность сохранять неизменной форму цементных блоков.

Однако цементирование имеет ряд существенных недостатков:

- сравнительно невысокая степень включения отвержденных компонентов в цементные матрицы, что приводит к увеличению объема продукта;

- значительная вымываемость из цементной матрицы включенных в него компонентов;

- наличие большого количества воды в отвержденном продукте;

- при большом количестве солей прочность цементной матрицы заметно снижается, что приводит к опасности раскалывания цементных блоков при транспортировке [3].

Использование практически сухих концентратов способствует увеличению степени наполнения цементной матрицы, но при этом уменьшается прочность отвержденного продукта и усложняется технология процесса.

Для уменьшения вымываемости радионуклидов из цементной матрицы их обычно переводят в нерастворимые соединения или сорбируют на специальных добавках, которыми часто служат различные глинистые материалы или сланцы.

Другой путь сокращения вымываемости – уменьшение пористости цементной матрицы, для чего добавляют специальные полимерные вещества

и проводят цементирование под вакуумом. Однако такие меры уменьшают вымываемость не более чем на порядок, но в то же время сильно усложняют технологию.

Добавки к цементу силиката натрия улучшают практически все основные показатели цементирования: прочность, степень наполнения, текучесть, совместимость с основными компонентами отходов.

Сам цемент обладает высокой радиационной стойкостью. Однако сильному радиационному воздействию в цементованных отходах подвержены такие радиационно-нестойкие компоненты: содержащаяся там вода и нитраты.

1.3 Остекловывание

Остекловывание имеет ряд важных преимуществ по сравнению с другими технологиями обращения с РАО:

- стабильность (прочность) иммобилизации отходов в стекле
- стекло исключительно устойчиво к выщелачиванию;
- возможность иммобилизации в стекле самых различных материалов, которые не приводят к нарушению его качества;
- применимо для неорганических и органических материалов;
- может уменьшаться объем отходов.

Эти преимущества определили особую роль остекловывания в качестве метода иммобилизации РАО.

Технология остекловывания имеет ряд существенных недостатков и предполагает выполнение ряда условий или ограничений:

- значительные энергозатраты на проведение работ, в том числе в виде электроэнергии;
- летучесть отдельных видов загрязнителей, приводит к их миграции в окружающий расплав и грунт.

Остекловывание жидких ВАО с применением прямого электрического (джоулева) нагрева [9]. В России для промышленного остекловывания жидких ВАО основное распространение получили керамические плавители прямого электрического (джоулева) нагрева. Одностадийный процесс реализуется в печи прямого электрического нагрева, осуществляемого за счет прохождения переменного тока между электродами, погруженными в стекло. Плавитель (печь) изготавливают из огнеупорных материалов.

В России реализован процесс остекловывания ВАО с одновременным получением алюмофосфатного стекла: фосфорная кислота (стеклообразователь) подается в плавитель вместе с упаренным раствором ВАО, чем достигается гомогенизация расплава.

Основой плавителя является электропечь, выложенная брусками из плавленной керамики и размещенная в металлическом водоохлаждаемом корпусе. Печь имеет три зоны – варочную, переточную и накопительную. В поде печи каждой зоны смонтированы на водоохлаждаемых токоотводах стержневые молибденовые электроды.

По мере наработки стекломасса периодически сливается в бидоны (канистры) и далее, после охлаждения и герметизации, бидоны комплектуются в пеналы (по три бидона), которые направляются во временное хранилище. Проектная производительность плавителя 450 ± 50 л/ч.

Созданная промышленная одностадийная установка отверждения ВАО вступила в эксплуатацию в 1987 году. За период эксплуатации было переработано более 20000 м^3 жидких ВАО с общей активностью более 0,45 ГКи и было получено более 4000 тонн стекломассы, которой заполнены около 8800 бидонов, поступивших на временное хранение.

Наиболее перспективными материалами для отверждения жидких ВАО, для их последующего хранения и захоронения, представляются различные типы керамики и минералоподобные композиции – аналоги

природных минералов, доказавших свою долговременную стабильность (структурную, термическую, радиационную и т.д.).

В последние годы большой интерес вызывает фракционирование отходов – переработка жидких ВАО с разделением отводов на фракции групп радионуклидов, близких по свойствам. В выделенных фракциях радионуклиды концентрируются в относительно небольших объемах, фракции практически не содержат балластных компонентов и могут быть иммобилизованы в индивидуальные, специфичные для данной фракции матрицы. Достигнутый уровень разработки технологий фракционирования позволяет выделять из смеси жидких ВАО фракции щелочных и щелочноземельных металлов, редкоземельных элементов и актиноидов. Конечная цель обращения с фракционированными отходами – включение их в специфические твердые матрицы, пригодные для последующего захоронения в геологических формациях.

Остекловывание жидких ВАО в установке с плазменным реактором [2]. На рисунке 1 показана испытанная в НПО «Радон» схема пилотного завода для переработки жидких РАО с плазменным реактором с различными вариантами выпуска расплава в контейнер: прямоточным (а); через наклонный керамический канал (б); через бассейн с противотоком (в).

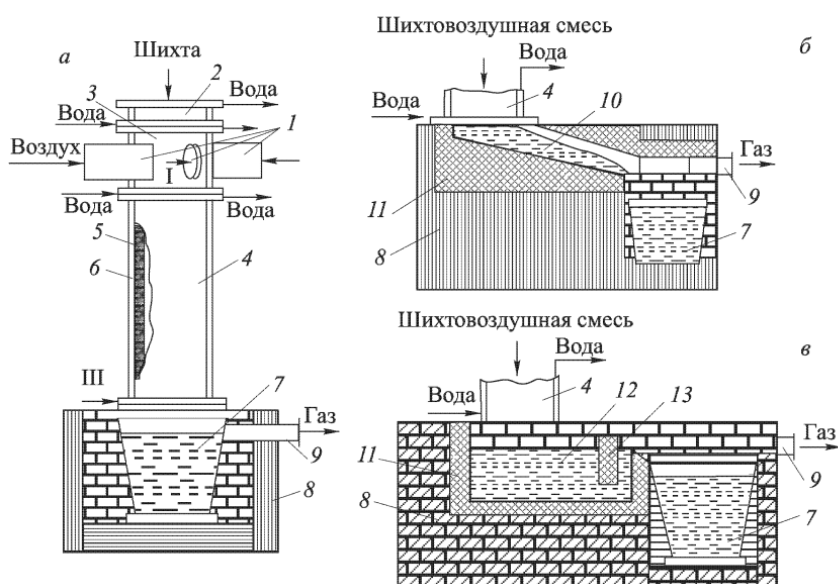


Рисунок 1 – Схема установки для переработки (ЖРО) с плазменным реактором; выпуск расплава в контейнер: а) прямоточный; б) через наклонный керамический канал; в) через бассейн с протоком; 1 – плазмотроны; 2 – крышка с осевой фурмой для подачи шихты; 3 – камера смешения; 4 – плазменный реактор; 5 – шипы; 6 – огнеупорная обмазка; 7 – контейнер с расплавом; 8 – теплоизолирующая кладка; 9 – газоход; 10 – прямоточный керамический канал; 11 – огнеупорная футеровка; 12 – бассейн; 13 – порог

В качестве базовой модели плазменного реактора выбрана прямоточная водоохлаждаемая схема с тангенциальными вводами плазменных потоков, включающая плазмотроны 1; крышку с осевой фурмой для подачи шихты 2; медную водоохлаждаемую камеру смешения 3; плазменный реактор 4; футерованный электрокорундом; контейнер с расплавом 7; систему отвода и очистки газовых продуктов (газоход 9). Удельные энергозатраты – $4 \div 8$ кВт·ч/кг стекла; массовые скорости загрузки шихты – 10-70 кг/ч, выпуска расплава – 7-45 кг/ч. На пилотном заводе перерабатывали РАО среднего уровня активности (~ 1 ГБк/м³). В качестве стеклообразующих добавок использовали датолит, кремнезем, суглинок в соотношении соли/датолит/кремнезем/суглинок = 40/30/15/15.

При использовании камеры смешения с тангенциальными фурмами циклонный эффект имел место на расстоянии 0,07-0,08 м от сопел плазмотронов; в остальной части реактора процесс протекал в объеме. Увеличение длины плазменного реактора более чем до 0,25 м не приводит к повышению качества стекла из-за падения температуры на его стенках. При использовании прямоточной схемы (рис. 1, а) стекло не оказалось полностью проваренным и осветленным.

Наиболее высокое качество стекла было достигнуто при гомогенизации в бассейне (рис. 1, в). В этом случае плазменный реактор можно использовать как кальцинатор, соединенный с плавильным агрегатом. Производительность такого завода составляет 70-100 кг/ч при потребляемой

мощности 100-150 кВт. При использовании предварительного фритования шихты процесс протекает еще более эффективно.

На НПО «Радон» проведено сравнение характеристик установок остекловывания ЖРО содержащих печь сопротивления прямого нагрева, индукционный плавитель с «холодным тиглем» и плазменный реактор.

Остекловывание ЖРО средней и высокой активности

Остекловывание считается способом отверждения, обеспечивающим достаточно надежную локализацию радионуклидов ЖРО среднего и высокого уровней активности [1]. Битумирование и цементирование ЖРО при сравнительной простоте технологии и аппаратного оснащения не позволяют получить конечный продукт отверждения высокого качества и не обеспечивают заметного сокращения исходного объема ЖРО (а в случае цементирования объем конечного продукта зачастую превосходит исходный объем ЖРО). Кроме того, конечный продукт битумирования пожароопасен, а цементный продукт подвержен заметному выщелачиванию радионуклидов.

В случае остекловывания радиоактивных отходов коэффициент уменьшения объема достигает 4-6 при высоком качестве конечного продукта и минимальной скорости выщелачивания.

Сначала остекловывание РАО применялось для высокоактивных отходов (РАО топливного цикла и регенерации ядерного топлива), а затем оно стало использоваться и для отходов среднего уровня активности. Работы велись в направлении определения оптимальных технологии процесса, состава стеклянной матрицы и режимов остекловывания: разрабатывались технологические процессы получения фосфатных и силикатных стекломатериалов. В качестве примера на рисунке 2 представлена схема установки КС-КТ-100, которая включает в себя узлы приготовления выпаренного раствора, кальцинации, плавки и газоочистки.

При температуре кальцинации 350-400 °С и скорости псевдооживления 1,5 м/с производительность установки по исходному продукту составляет 100 л/ч, по выпаренному – 65 л/ч, по стеклу – 20 кг/ч.

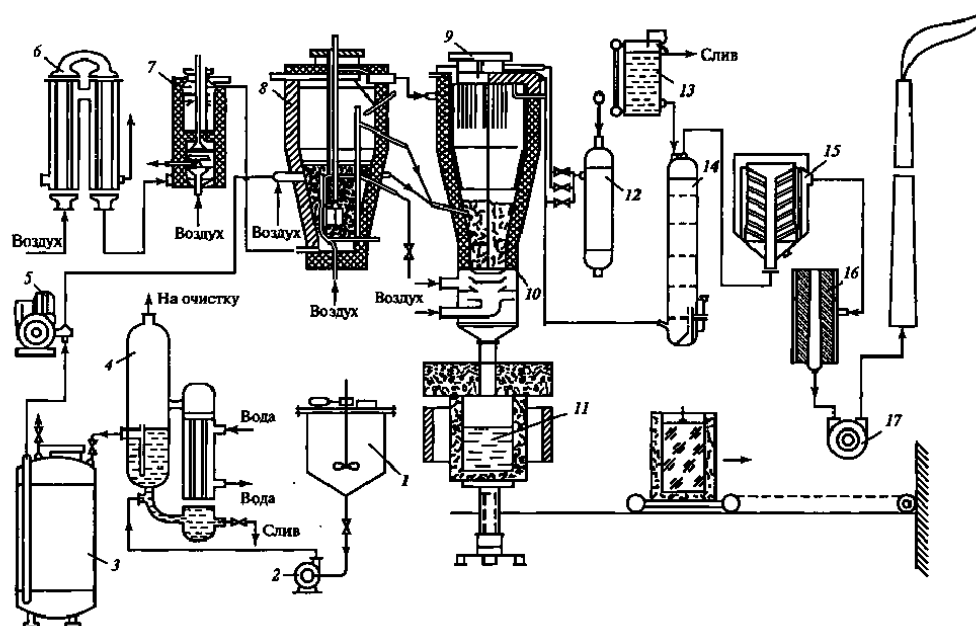


Рисунок 2 – Схема установки остекловывания ЖРО КС-КТ-100:

1 – монжюс; 2 – насос; 3 – емкость выпаренного раствора; 4 – выпарной аппарат; 5 – насос-дозатор; 6 – трубчатый теплообменник; 7 – калорифер; 8 – сушилка; 9 – фильтр МКФ; 10 – тарельчатый пневмопитатель; 11 – тигель; 12 – ресивер; 13 – бачок; 14 – барботажно-абсорбционная колонка; 15, 16 – фильтры грубой и тонкой очистки; 17 – вакуум-насос

Газоочистка обеспечивает снижение активности газового сброса в $10^7 - 10^9$ раз. Опытную проверку проходил способ остекловывания в электропечах, в которых стекломасса разогревалась за счет пропускания через расплав переменного тока (рис. 2).

Испытания проводились на модельных растворах, меченных различными радионуклидами.

Для получения фосфатного стекла в раствор добавлялась фосфорная кислота в количестве, необходимом для образования качественной стекломассы; при получении боросиликатного стекла подавался борсодержащий минерал датолит. Одновременно в плавитель поступал восстановитель – меласса.

2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОП ОЯТ

2.1 Расчет параметров водно-солеорганических композиций на основе водно-солевых отходов

Низшая теплотворная способность водно-солеорганической композиции зависит от низшей теплотворной способности горючих компонентов композиции и принадлежности их к тем или иным классам соединений. Низшая теплотворная способность таких композиций определяется по формуле [2]:

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

где Q_H^C – низшая теплотворная способность горючей компоненты 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 [3], что низшая теплотворная способность композиций не является надежным показателем их горючести, поскольку не связана однозначно с жаропроизводительностью $T_{жс}$, рассчитываемой по формуле:

$$T_{жс} = \frac{Q_H^P}{\left(\nu \cdot c + \frac{W \cdot c_W}{100} + \frac{A \cdot c_A}{100} \right)}, \quad (2.2)$$

где ν и c – соответственно выход и средняя объемная теплоемкость продуктов сгорания горючих компонентов композиции, м³/кг и МДж/(м³·град); c_W и c_A – средняя массовая теплоемкость соответственно водяных паров и негорючих минеральных веществ композиции при $T_{жс}$, МДж/(кг·град).

Рекомендация относится к горючим композициям при $Q_H^P \geq 8,4$ МДж/кг является завышенной для многих композиций, содержащих горючие

компоненты с низкими значениями нижней теплотворной способности Q^c , но с высокой жаропроизводительностью $T_{жс}$ [2].

Более объективным показателем горючести композиций является их адиабатическая температура горения [2]:

$$T_{ad} = \frac{Q_H^p + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \nu_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{\nu \cdot c + \frac{W \cdot c_{H_2O}}{100} + \frac{A \cdot c_A}{100}}, \quad (2.3)$$

где $c_{отх}$ – средняя массовая теплоемкость отхода в виде 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 массовая теплоемкость окислителя, кДж/(кг·град); $t_{ок}$ – температура окислителя, °С.

Как показали опыты по сжиганию жидких горючих композиций некоторых органических веществ, достаточное и полное их сгорание в камерах с небольшими потерями тепла в окружающую среду наблюдается при $T_{ad} \geq 1200$ °С, причем эта температура необходима и достаточна для самостоятельного горения таких композиций [11].

Продукты плазменной обработки будут представлять многокомпонентную систему, включающую одновременно твердые, жидкие и газообразные продукты. С учетом этого определение T_{ad} для водно-солеорганических композиций осуществлялось по формуле:

$$T_{ad} = \frac{Q_H^p + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \nu_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{V_{yd} \cdot C_{yd}}, \quad (2.4)$$

где V_{yd} и C_{yd} соответственно удельный объем и удельная равновесная теплоемкость продуктов плазменной обработки водно-солевых отходов в виде оптимальных по составу водно-солеорганических композиций, м³/кг и МДж/(м³·град);

Для сравнительной оценки энергоэффективности процессов плазменной обработки ОП ОЯТ в виде ВСОК производился расчет удельных энергозатрат на 1 кг ОП ОЯТ:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = (I_{\text{T}} - I_{300}) / Z_{\text{отх}}, \quad (2.5)$$

где I_{300} и I_{T} – полные энтальпии продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ при температурах 300 К и T; $Z_{\text{отх}}$ – массовая доля отхода в композиции ВСОК при оптимальной исходной массовой доле воздуха.

2.2 Термодинамический расчет процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ

Были проведены термодинамические расчеты процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде водно-солеорганических композиций различного состава на основе ОП ОЯТ и ацетона ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), обладающего высокой теплотворной способностью (таблица 2.1) и высокой взаимной растворимостью. Для расчётов использовался следующий модельный состав ОП ОЯТ (% масс): H_2O – 81,43; HNO_3 – 18,0; Fe – 0,07; Mo – 0,1; Nd – 0,11; Y – 0,06; Zr – 0,058; Na – 0,04; Ce – 0,039; Cs – 0,036; Co – 0,031; Sr – 0,026 [14].

В таблице 2.1 приведены исходные параметры горючих компонентов, используемых для расчета водно-солеорганических композиций.

Таблица 2.1 – Исходные параметры горючих компонентов водно-солеорганических композиций [10]

Наименование	Q_{H}^{c} , МДж/кг	$T_{\text{всп}}$, °С	$T_{\text{восп}}$, °С	$T_{\text{самовосп}}$, °С
Ацетон	28,55	-18	-5	535

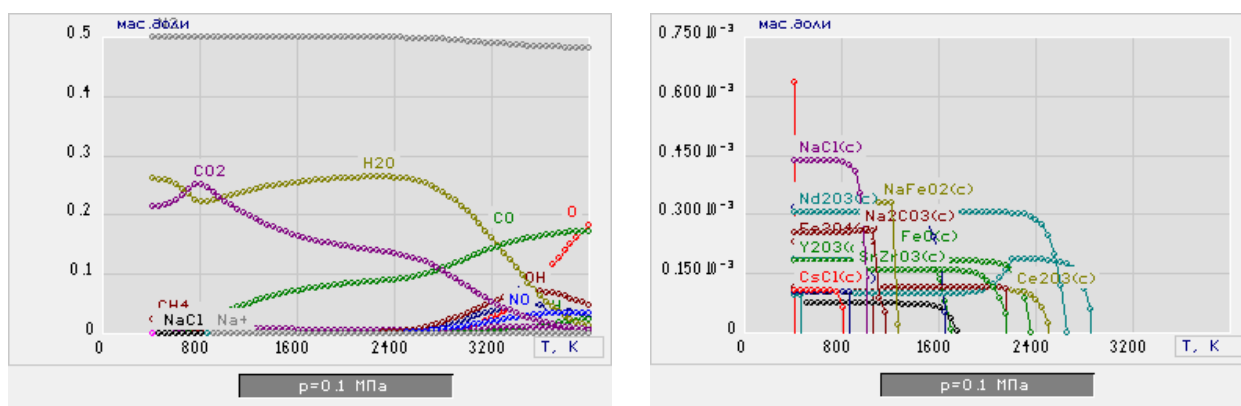
В результате проведенных расчётов по формуле (2.1) определены и представлены в таблице 2.2 оптимальные по составу водно-солеорганические композиции (ВСОК) на основе ОП ОЯТ, ацетона и хлорида натрия.

Таблица 2.2 – Оптимальные по составу водно-солеорганические композиции на основе ОП ОЯТ, ацетона и хлорида натрия

№ п/п	Состав композиции	Q_n^p , МДж/кг
1.	ВСОК-1 (65,87 % ОП ОЯТ : 0,13 % NaCl : 34,00 % Ацетон)	≈8,4
2.	ВСОК-2 (65,67 % ОП ОЯТ : 0,33 % NaCl : 34,00 % Ацетон)	≈8,4
3.	ВСОК-3 (65,83 % ОП ОЯТ : 0,67 % NaCl : 33,5 % Ацетон)	≈8,4

Были проведены термодинамические расчеты процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде в виде оптимальных по составу ВСОК на основе ацетона (C_3H_6O), и хлорида натрия.

На рисунке 2.1 показано влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-1, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах при исходной массовой доле воздуха 64 %



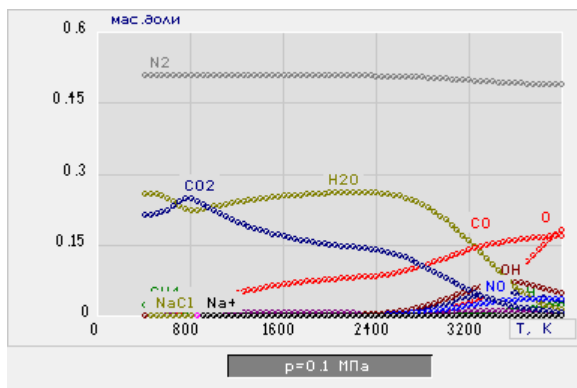
а)

б)

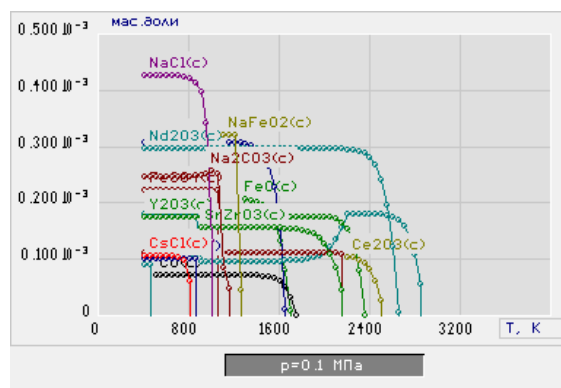
Рисунок 2.1 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-1, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(64 % Воздух: 36 % ВСОК-1)

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздуха 60 % и температурах до 960 К основными продуктами в газовой фазе

(рис. 2.1, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.1, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$ и углерод $C(c)$, содержание которого резко возрастает при дальнейшем снижении массовой доли воздуха.



а)

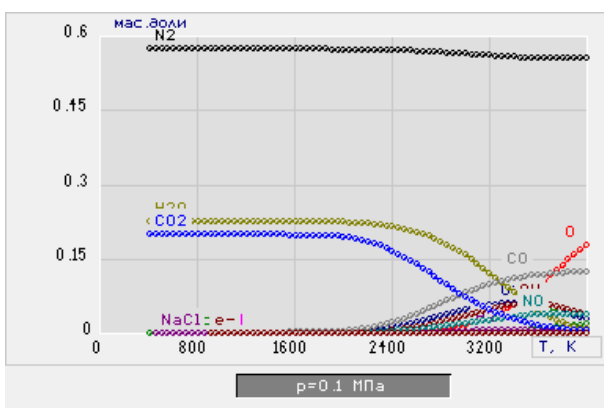


б)

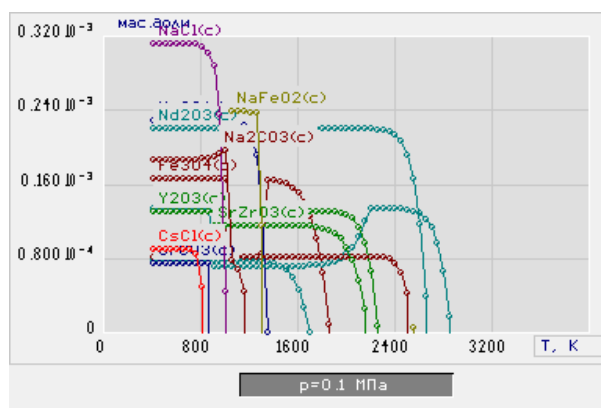
Рисунок 2.2 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-1, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:

(65 % Воздух: 35 % ВСОК-1)

Увеличение массовой доли воздуха вплоть с 65 до 74 % (рисунок 2.2) не оказывает существенного влияния на состав основных продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению $C(c)$.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-1, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:

(74 % Воздух: 26 % ВСОК-1)

Из анализа равновесных составов следует, что при температурах до 1184 К основными продуктами в газовой фазе (рис. 2.3, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.3, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$. Повышение массовой доли воздуха с 74 до 75 % (рисунок 2.4) не изменяет состав продуктов в газовой фазе, но приводит к образованию в конденсированной фазе немагнитного оксида железа $Fe_2O_3(c)$.

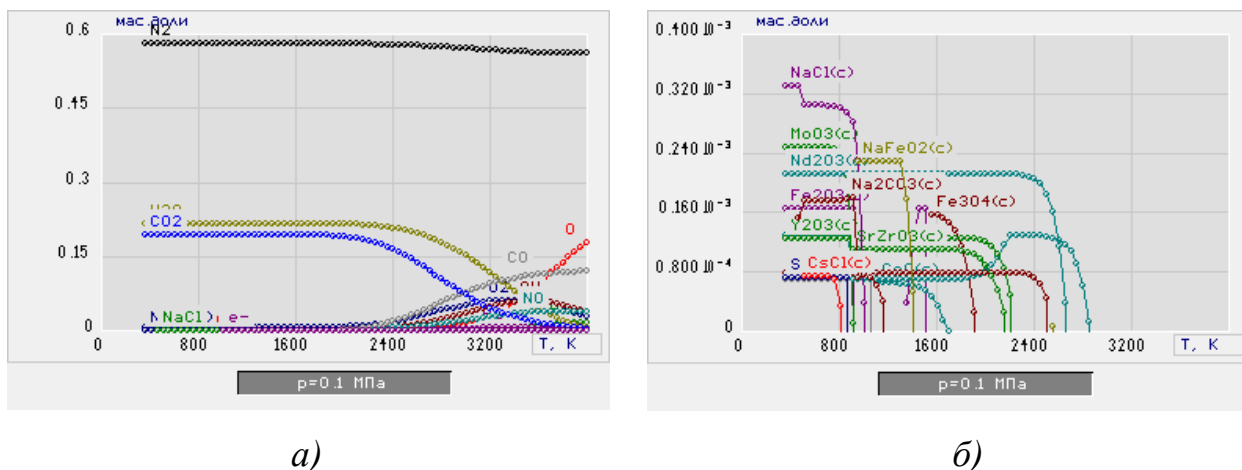


Рисунок 2.4 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-1, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:

(75 % Воздух: 25 % ВСОК-1)

В таблице 2.3 показано влияние массовой доли воздуха на адиабатическую температуру горения $T_{ад}$ композиции ВСОК-1 и наличие (+) или отсутствие (-) в конденсированной фазе $C(c)$, $Fe_2O_3(c)$ и $Fe_3O_4(c)$ в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ.

Таблица 2.3 – Влияние массового отношения фаз на состав продуктов в конденсированной фазе при плазменной обработке ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-1

Массовое отношение фаз	$T_{ад}$, °С	$C(c)$	$Fe_3O_4(c)$	$Fe_2O_3(c)$
64 % Воздух : 40 % ВСОК-1	960	+	+	-

65 % Воздух : 39 % ВСОК-1	979	-	+	-
74 % Воздух : 26 % ВСОК-1	1184	-	+	-
75 % Воздух : 25 % ВСОК-1	1195	-	-	+
76 % Воздух : 24 % ВСОК-1	1199	-	-	+
77 % Воздух : 23 % ВСОК-1	1205	-	-	+
80 % Воздух : 20 % ВСОК-1	1263	-	-	+

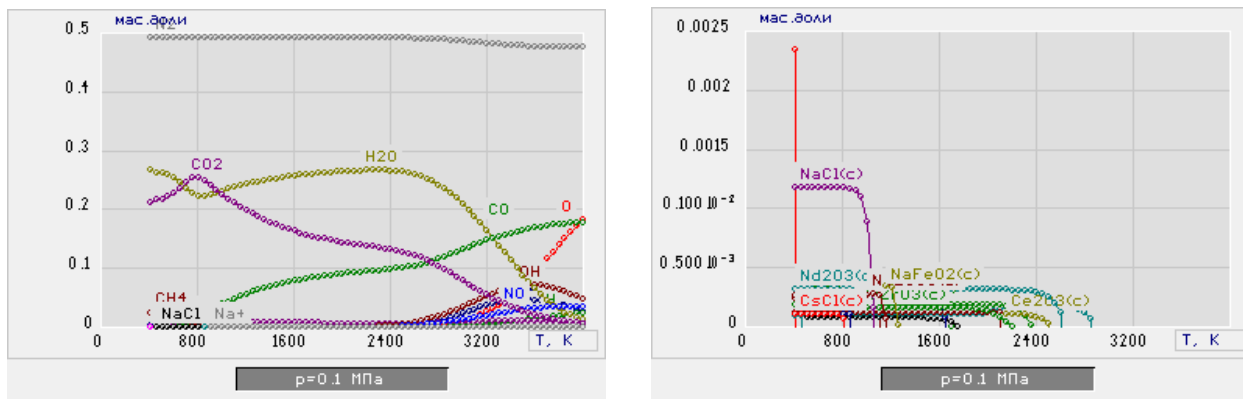
Из анализа полученных данных (табл. 2.3) следует, что повышение массовой доли воздуха приводит к росту $T_{ад}$ композиции ВСОК-1, которая достигает ≈ 1200 °С (≈ 1500 К) при массовой доле воздуха 77 %. Эти условия обеспечивают проведение процесса иммобилизации без образования углерода С(с) в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ. Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 77 % приведет только к уменьшению производительности процесса по ОП ОЯТ.

В таблице 2.4 приведены результаты расчетов по формуле (2.5) удельных энергозатрат на процесс плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-1 при оптимальной массовой доле воздуха 77 %.

Таблица 2.4 – Удельные энергозатраты на процесс плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-1.

T, К	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$Z_{отх}$	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
300	-4600	0	0,164	0
500	-4410	190	0,164	1,2
1000	-3740	860	0,164	5,2
1500	-2990	1610	0,164	9,8
2000	-2150	2450	0,164	14,9
2500	-807,1	3792,9	0,164	23,1
3000	1880,1	6480,1	0,164	39,5

На рисунке 2.5 показано влияние температуры на равновесный состав основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-2 при исходной массовой доле воздуха 63 %



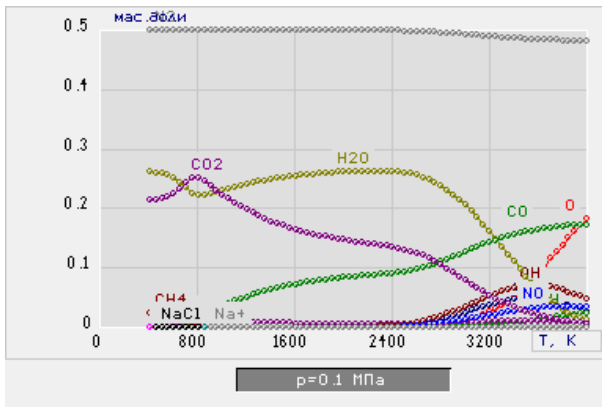
а)

б)

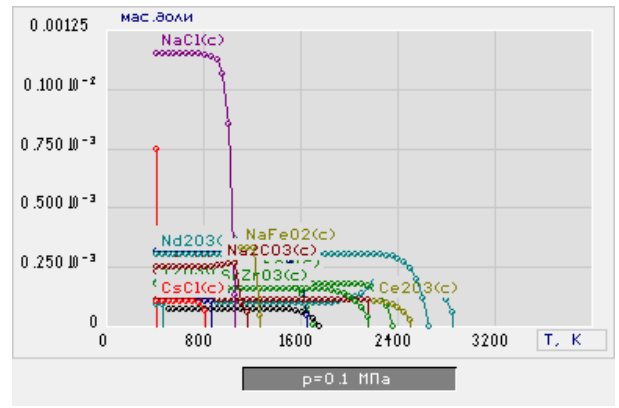
Рисунок 2.5 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-2, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах: (63 % Воздух: 37 % ВСОК-2)

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздуха 63 % и температурах до 949 К основными продуктами в газовой фазе (рис. 2.5, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.5, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$ и углерод $C(c)$, содержание которого резко возрастает при дальнейшем снижении массовой доли воздуха.

Увеличение массовой доли воздуха вплоть с 63 до 64 % (рисунок 2.6) не оказывает существенного влияния на состав основных продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению $C(c)$.



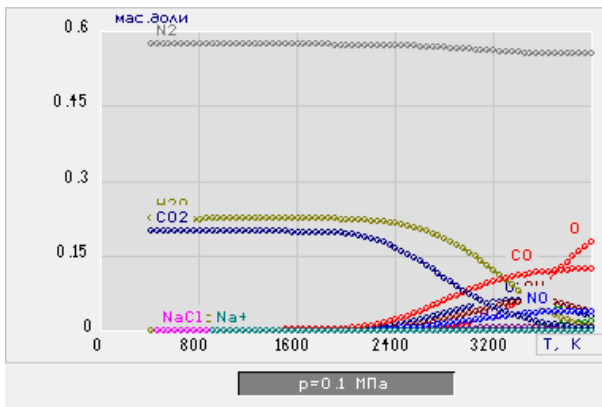
а)



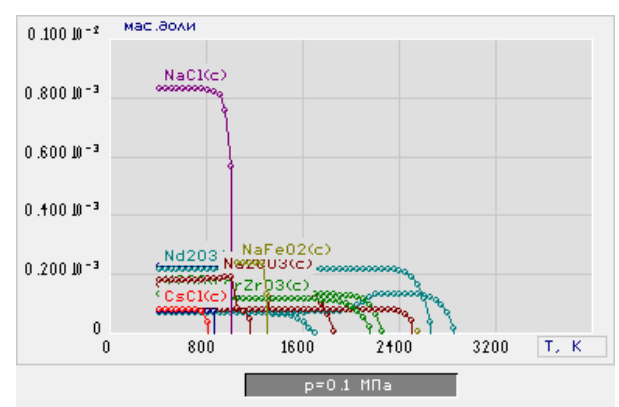
б)

Рисунок 2.6 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-2, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(64 % Воздух: 36 % ВСОК-2)

Дальнейшее увеличение массовой доли воздуха вплоть с 64 до 74 % (рисунок 2.6) не оказывает существенного влияния на состав основных продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению углерода С(с).



а)



б)

Рисунок 2.7 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-2, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(74 % Воздух: 26 % ВСОК-2)

Из анализа равновесных составов следует, что при температурах до 1193 К основными продуктами в газовой фазе (рис. 2.7, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.7, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$.

Повышение массовой доли воздуха с 74 до 75 % (рисунок 2.8) не изменяет состав продуктов в газовой фазе, но приводит к образованию в конденсированной фазе немагнитного оксида железа $Fe_2O_3(c)$.

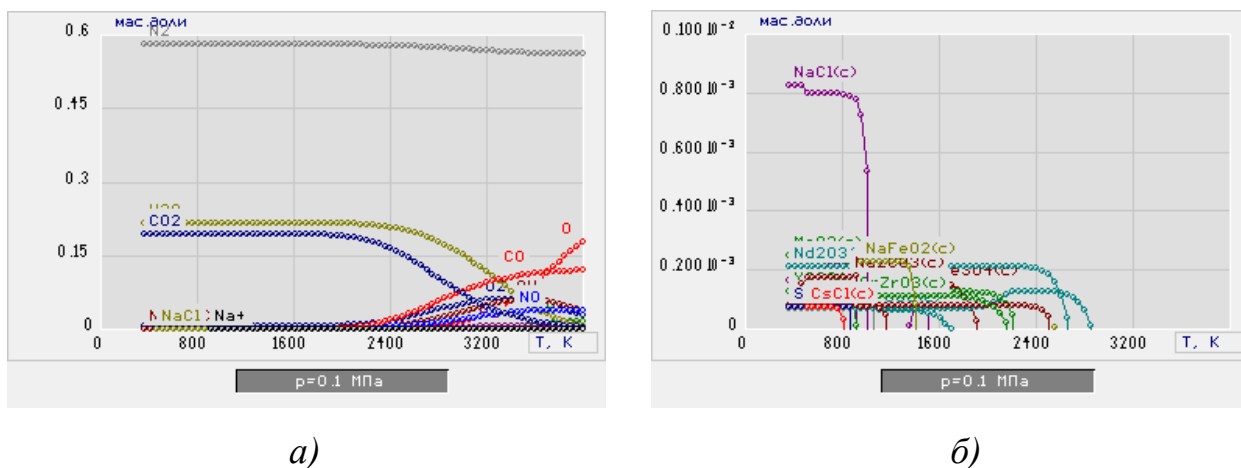


Рисунок 2.8 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-2, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(75 % Воздух: 25 % ВСОК-2)

В таблице 2.5 показано влияние массовой доли воздуха на адиабатическую температуру горения $T_{ад}$ композиции ВСОК-2 и наличие (+) или отсутствие (-) в конденсированной фазе $C(c)$, $Fe_2O_3(c)$ и $Fe_3O_4(c)$ в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ.

Из анализа полученных данных (табл. 2.5) следует, что повышение массовой доли воздуха приводит к росту $T_{ад}$ композиции ВСОК-2, которая достигает ≈ 1200 °С (≈ 1500 К) при массовой доле воздуха 77 %. Эти условия обеспечивают максимальный выход магнитного оксида железа $Fe_3O_4(c)$ в конденсированной фазе без образования углерода $C(c)$ в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ.

Таблица 2.5 – Влияние массового отношения фаз на состав продуктов в конденсированной фазе при плазменной обработке ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-2

Массовое отношение фаз	$T_{ад}, ^\circ\text{C}$	C(c)	Fe_3O_4 (c)	Fe_2O_3 (c)
63 % Воздух : 40 % ВСОК-2	949	+	+	-
64 % Воздух : 39 % ВСОК-2	967	+	+	-
74 % Воздух : 26 % ВСОК-2	1193	-	+	-
75 % Воздух : 25 % ВСОК-2	1210	-	-	+
76 % Воздух : 24 % ВСОК-2	1185	-	-	+
77 % Воздух : 23 % ВСОК-2	1205	-	-	+
80 % Воздух : 20 % ВСОК-2	1273	-	-	+

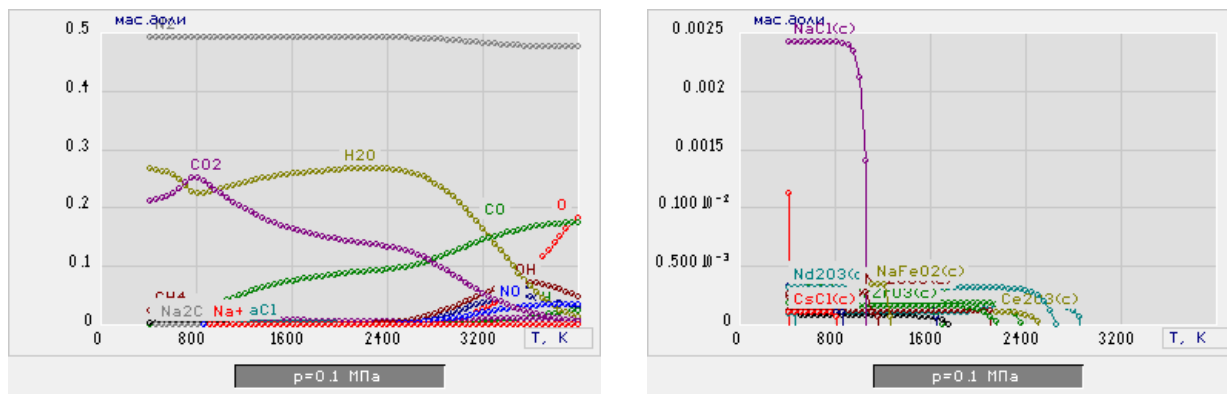
Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 77 % приведет только к уменьшению производительности процесса по ОП ОЯТ.

В таблице 2.6 приведены результаты расчетов по формуле (2.5) удельных энергозатрат на процесс плазменной обработки ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-1 при оптимальной массовой доле воздуха 77 %.

Таблица 2.6 – Удельные энергозатраты на процесс плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-2.

T, К	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$Z_{отх}$	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
300	-4600	0	0,164	0
500	-4410	190	0,164	1,2
1000	-3740	860	0,164	5,2
1500	-2990	1610	0,164	9,8
2000	-2140	2460	0,164	14,9
2500	-803,1	3796,9	0,164	23,1

На рисунке 2.9 показано влияние температуры на равновесный состав основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-3 при исходной массовой доле воздуха 63 %



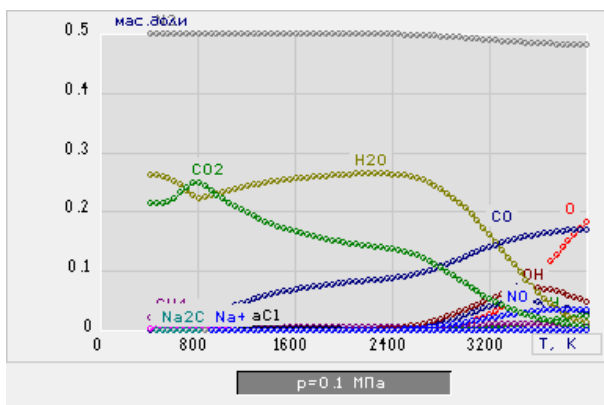
а)

б)

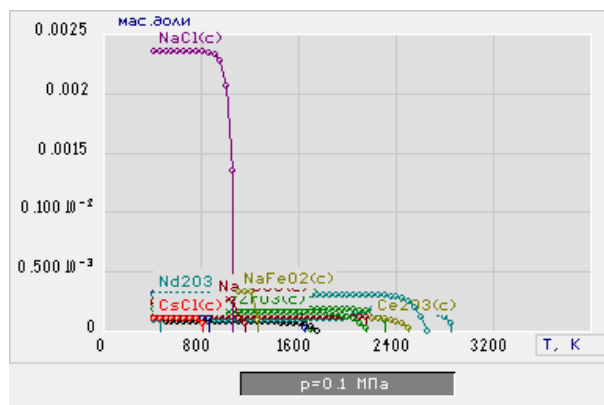
Рисунок 2.9 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-3, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(63 % Воздух: 37 % ВСОК-3)

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздуха 63 % и температурах до 1500 К основными продуктами в газовой фазе (рис. 2.9, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.9, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$ и углерод $C(c)$, содержание которого резко возрастает при дальнейшем снижении массовой доли воздуха.

Дальнейшее увеличение массовой доли воздуха вплоть с 63 до 64 % (рисунок 2.10) не оказывает существенного влияния на состав основных продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению углерода $C(c)$.



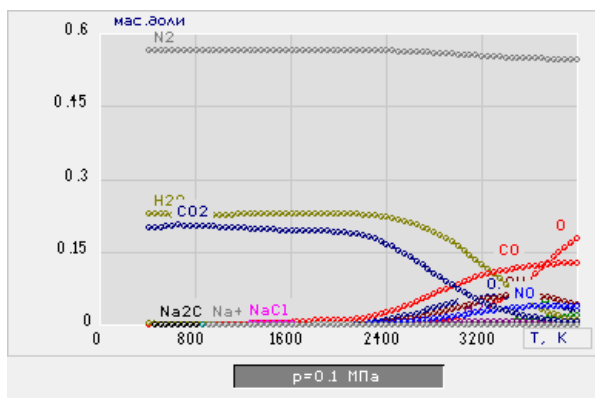
a)



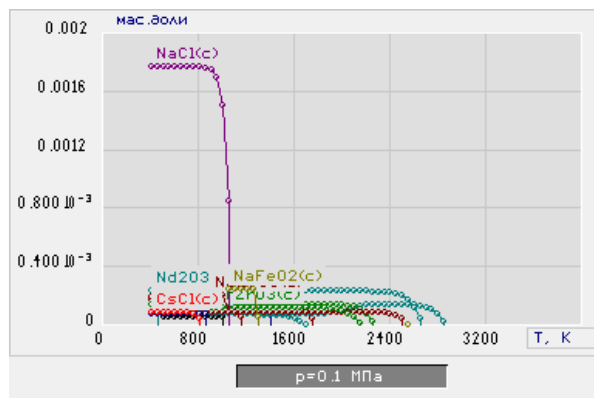
б)

Рисунок 2.10 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-3, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(64 % Воздух: 36 % ВСОК-3)

Дальнейшее увеличение массовой доли воздуха вплоть с 64 до 73 % (рисунок 2.10) не оказывает существенного влияния на состав основных продуктов в газовой и конденсированной фазах, но приводит к исчезновению углерода С(с).



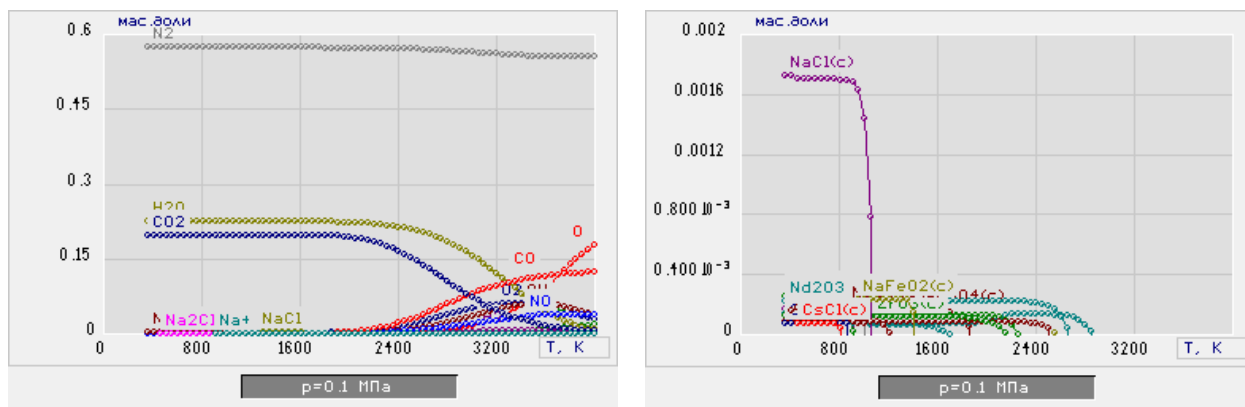
a)



б)

Рисунок 2.11 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-3, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:
(73 % Воздух: 27 % ВСОК-3)

Из анализа равновесных составов следует, что при температурах до 1500 К основными продуктами в газовой фазе (рис. 2.11, а) являются N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе (рис. 2.11, б) – простые и сложные оксиды металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$. Повышение массовой доли воздуха с 73 до 74 % (рисунок 2.12) не изменяет состав продуктов в газовой фазе, но приводит к образованию в конденсированной фазе немагнитного оксида железа $Fe_2O_3(c)$.



а)

б)

Рисунок 2.12 – Влияние температуры на равновесный состав основных продуктов плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК-3, находящихся в газовой (а) и конденсированных (б) фазах:

(74 % Воздух: 26 % ВСОК-3)

В таблице 2.7 показано влияние массовой доли воздуха на адиабатическую температуру горения $T_{ад}$ композиции ВСОК-3 и наличие (+) или отсутствие (-) в конденсированной фазе $C(c)$, $Fe_2O_3(c)$ и $Fe_3O_4(c)$ в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ.

Из анализа полученных данных (табл. 2.7) следует, что повышение массовой доли воздуха приводит к росту $T_{ад}$ композиции ВСОК-3, которая достигает ≈ 1200 °С (≈ 1500 К) при массовой доле воздуха 77%. Эти условия обеспечивают максимальный выход магнитного оксида железа $Fe_3O_4(c)$ в конденсированной фазе без образования углерода $C(c)$ в составе продуктов плазменной обработки ОП ОЯТ.

Таблица 2.7 – Влияние массового отношения фаз на состав продуктов в конденсированной фазе при плазменной обработке ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-3

Массовое отношение фаз	$T_{ад}, ^\circ\text{C}$	C(c)	Fe_3O_4 (c)	Fe_2O_3 (c)
63 % Воздух : 37 % ВСОК-3	949	+	+	-
64 % Воздух : 36 % ВСОК-3	967	-	+	-
73 % Воздух : 27 % ВСОК-3	1165	-	+	-
74 % Воздух : 26 % ВСОК-3	1185	-	-	+
76 % Воздух : 24 % ВСОК-3	1185	-	-	+
77 % Воздух : 23 % ВСОК-3	1205	-	-	+
80 % Воздух : 20 % ВСОК-3	1245	-	-	+

Дальнейшее повышение массовой доли воздуха свыше 74 % приведет только к уменьшению производительности процесса по ОП ОЯТ.

В таблице 2.8 приведены результаты расчетов по формуле (2.5) удельных энергозатрат на процесс плазменной обработки ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-5 при оптимальной массовой доле воздуха 75 %.

Таблица 2.8 – Удельные энергозатраты на процесс плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-3.

T, K	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$Z_{отх}$	$\mathcal{E}_{уд}$, МДж/кг
300	-4750	0	0,164	0
500	-4560	190	0,164	1,2
1000	-3890	860	0,164	5,2
1500	-3130	1620	0,164	9,8
2000	-2260	2590	0,164	14,9
2500	-890,6	3859,4	0,164	23,1

Из анализа и сравнения полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации следующие оптимальные условия плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в воздушной плазме:

- состав композиции ВСОК-2: (53,5 % ОП ОЯТ: 46,5 % Ацетон);
- массовое отношение фаз: (76 % Воздух: 24 % ВСОК-2);
- рабочая температура: (1500±100 К).

3. Экспериментальные исследования процесса

3.1 Лабораторная плазменная установка на базе ВЧФ-плазмотрона

Лабораторная плазменная установка на базе ВЧФ-плазмотрона представлена на рисунке 3.1 и предназначена для генерирования потоков неравновесной воздушной плазмы с температурой до 4000 К.

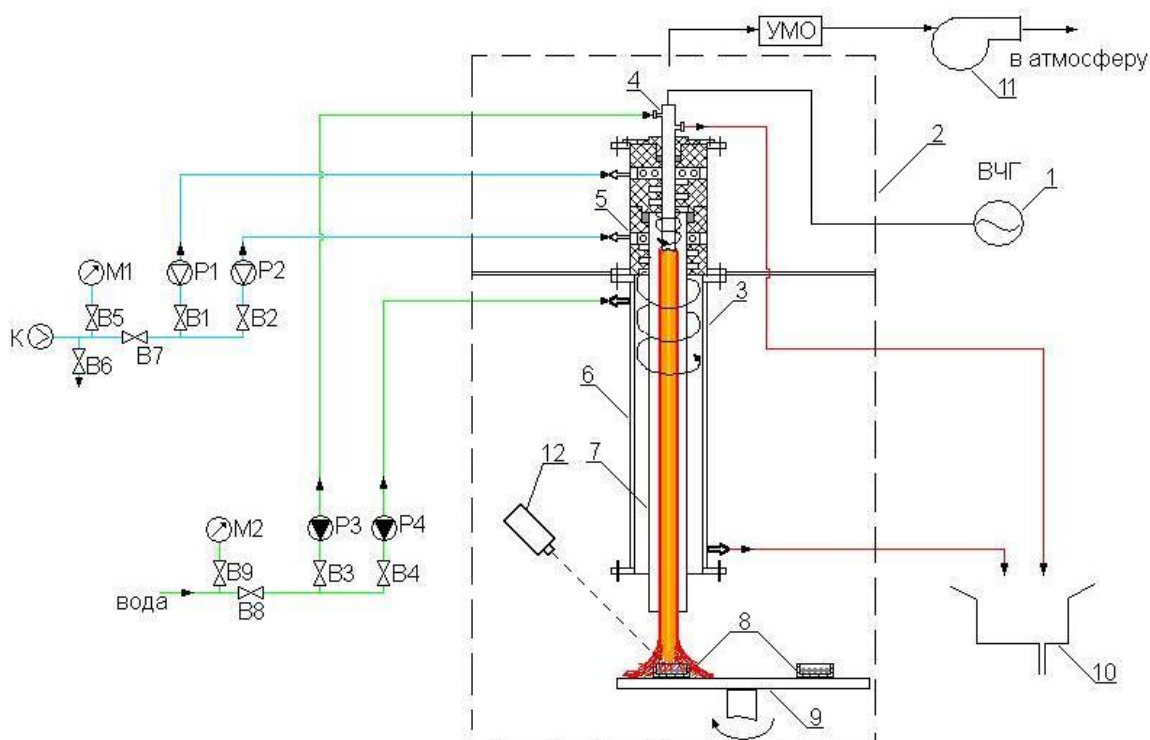


Рисунок 3.1 - Схема лабораторной плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона: 1 – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13; 2 – технологический блок; 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – водоохлаждаемый медный электрод; 5 – узел ввода плазмообразующего и охлаждающего газа; 6 – водоохлаждаемый корпус плазмотрона; 7 – кварцевая разрядная камера; 8 – тигель; 9 – подставка; 10 – слив охлаждающей воды; 11 – вытяжной вентилятор; 12 – пирометр инфракрасный М90L; УМО – узел мокрой отчистки; К – компрессор; М1, М2 – манометры; Р1-Р4 – ротаметры; В1-В9 – вентили.

Высокочастотный генератор (1) размещён в экранированном металлическом шкафу, обеспечивающем надёжную защиту от электромагнитного излучения, и предназначен для питания электромагнитной энергией ВЧФ-плазмотрона (3).

При расчёте теплофизических режимов работы ВЧФ-плазмотрона использовались следующие расчётные соотношения.

Электрическая мощность, потребляемая генератором ВЧГ от промышленной сети

$$P_o = I_a \cdot U_a \text{ [кВт]},$$

где I_a - ток анода [А]; U_a - напряжение анода [кВ].

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы генератора ВЧГ

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186 \text{ [кВт]},$$

где m_a - массовый расход воды, [кг/с]; Δt_a - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, [°С]; C_p - теплоемкость воды, [ккал/кг·°С].

Тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности генератора ВЧГ

$$P_a = m_c \cdot C_c \cdot \Delta t_c \cdot 4,186 \text{ [кВт]},$$

где m_c - массовый расход воды, [кг/с]; Δt_c - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, [°С]; C_p - теплоемкость воды, [кКал/кг·°С].

Тепловая мощность, рассеиваемая на электроде ВЧФ-плазмотрона

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4,186 \text{ [кВт]},$$

где $m_{эл}$ - массовый расход воды, [кг/с]; $\Delta t_{эл}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, [$^{\circ}\text{C}$]; C_p - теплоемкость воды, [ккал/кг· $^{\circ}\text{C}$].

Тепловая мощность, рассеиваемая на корпусе ВЧФ-плазмотрона

$$P_{кн} = m_{кн} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кн} \cdot 4,186, \text{ [кВт]},$$

где $m_{кн}$ - массовый расход воды, [кг/с]; $\Delta t_{кн}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, [$^{\circ}\text{C}$]; C_p - теплоемкость воды, [ккал/кг· $^{\circ}\text{C}$].

Тепловая мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{\vartheta}) \text{ [кВт]},$$

Тепловая мощность плазменной струи есть разность между тепловой мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, рассеиваемой на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кн} \text{ [кВт]},$$

Энтальпия плазменной струи определялась из выражения

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_2}, \text{ [кВт]},$$

где Q_2 - массовый расход плазмообразующего газа [кг/с].

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

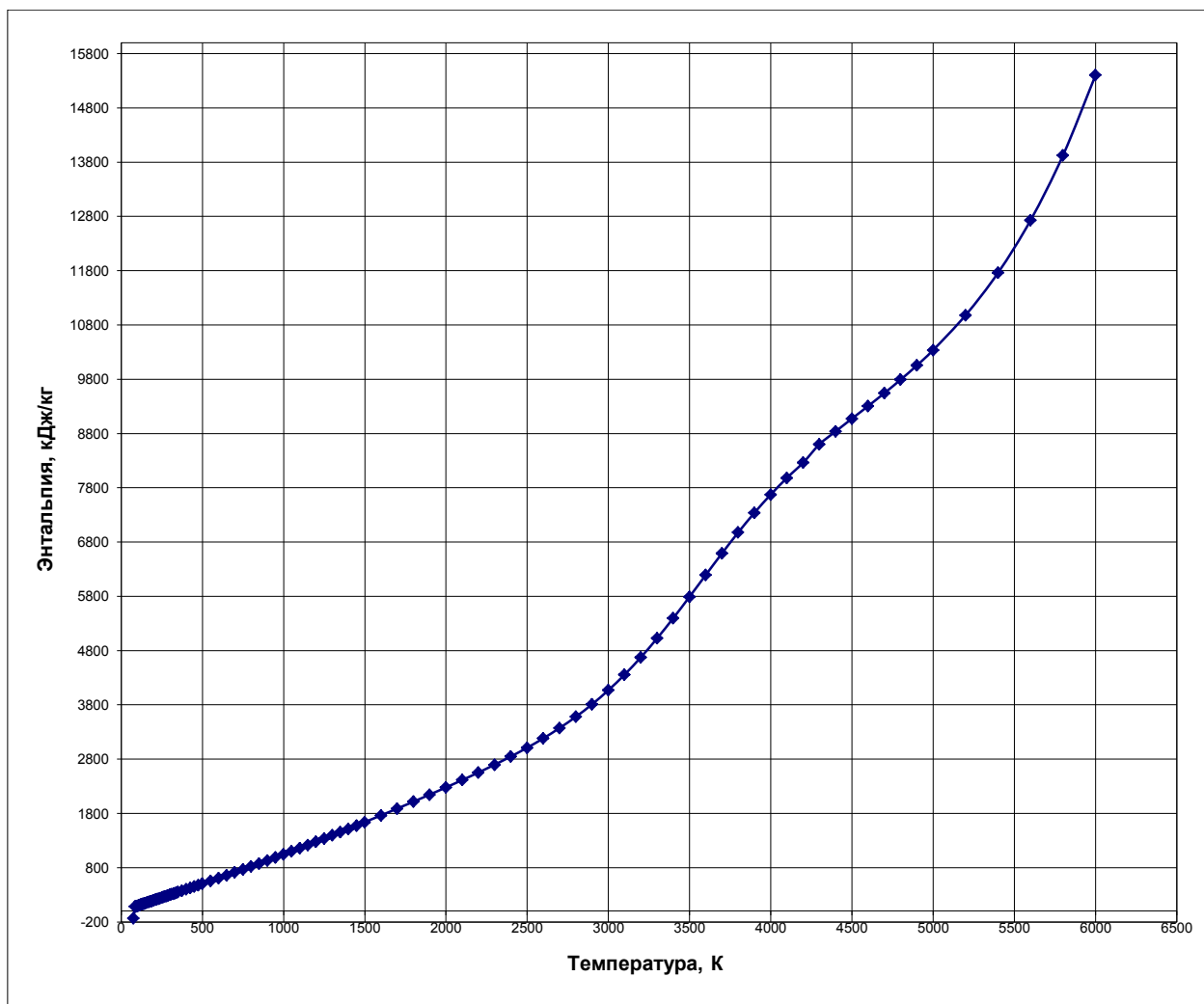


Рисунок 3.2 - Зависимость энтальпии воздуха от его температуры

В таблице 4 приведены режимы работы генератора ВЧГ и ВЧФ-плазмотрона, которые позволяют регулировать среднемассовую температуру воздушной плазменной струи в пределах 2800-3600 К.

Таблица 3.1 – Режимы работы генератора ВЧГ и ВЧФ-плазмотрона

№ оп	U_a , кВ	I_a , А	I_c , А	$P_{стр}$, кВт	$m_{пг} \cdot 10^{-3}$, кг/с	H_T , кДж/кг	$T_{стр}$, К
1	11,0	2,5	1,2	10,4	3,4	4200	2600
2	11,0	2,7	1,2	12,3	3,4	4200	2800
3	10,5	3,3	1,2	19,8	3,4	5820	3500
4	10,6	3,3	1,2	20,4	3,4	6000	3550
5	10,6	3,3	1,2	20,6	3,4	6060	3600

3.2 Исследование процесса плазменной иммобилизации модельных отходов ОП ОЯТ в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда

Вначале из химических реактивов в фарфоровой чашке готовился исходный раствор модельного состава ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 (табл. 3.1) массой 100 г, которая помещалась в тигель 8 из кварцевого стекла ($\varnothing=90$ мм и $h=120$ мм), основной объём которого до $h=90$ мм был заполнен асбестом и имел углубление по центру (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Тигель с модельным составом ОП ОЯТ в виде ВСОК-2

Далее тигель помещался на подставку 9 под воздушную плазменную струю, генерируемую ВЧФ-плазмотроном 3 (рис. 3.1). Затем с помощью переносного пирометра 12 (диапазон измеряемых температур 600-2200 °С, погрешность $\pm 1\%$) определялась температура нагретой поверхности расплава хлорида натрия с продуктами плазменной иммобилизации модельного состава в виде ВСОК-2.

В таблице 3.2 представлены результаты плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 под воздушно-плазменной струей.

Таблица 3.2 – Режимы плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 под воздушно-плазменной струей.

№ оп.	$T_{стр}, K$	$T_{про}, ^\circ C$	$m^H_{про}, Г$	$m^K_{про}, Г$	$t_{оп}, мин$
1	3500	850	100,0	18,4	5
2	3500	860	100,0	14,6	10
3	3500	870	100,0	9,8	15
4	3500	900	100,0	4,7	20



Рисунок 3.4 – Тигель с модельным составом ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 под воздушной плазменной струей ВЧФ-плазмотрона.

В начальный момент за время ≈ 1 мин происходит интенсивное испарение и отвод из тигля паров воды, после чего ВСОК-2 переходит в расплав. При температуре поверхности расплава менее $750\text{ }^\circ C$ процесс плазменной иммобилизации модельного состава ОП ОЯТ протекает с низкой интенсивностью. Дальнейшее повышение мощности воздушной плазменной струи (табл. 3.1, оп. 3, 4 и 5) приводит к повышению температуры нагретой поверхности расплава до $850\text{-}900\text{ }^\circ C$ (рис. 3.4).

На рисунке 3.5 показан характерный внешний вид тигля после плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 под

воздушно-плазменной струей. Отчетливо видно, что внутренняя поверхность стенок и дно тигля покрыты расплавом хлорида натрия с включенными продуктами плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ.



Рисунок 3.5 – Внешний вид расплава хлорида натрия после плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ

Из анализа полученных результатов следует, что за первые 5 мин происходит испарение и унос более 80% от исходной массы ПРО. Через 10 мин масса расплава ПРО снижается до 14,6 г (потери 85,4%), через 15 мин – до 9,8 г (потери 90,2%), через 20 мин – до 4,7 г (потери 95,3%).

Снижение массы остатка ПРО до 9,8 г и менее указывает на то, что отсутствует избирательное испарение и унос только расплава NaCl.

На рисунке 3.6 представлен внешний вид застывшего расплава из тигля после плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в виде ВСОК-2 под воздушно-плазменной струей.



Рис. 3.6 – Внешний вид застывшего расплава хлорида натрия после плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ

В результате проведенных исследований при рекомендованных условиях осуществлен процесс плазменной иммобилизации модельных ОП ОЯТ в виде композиции ВСОК-2 и получен под воздушно-плазменной струей, генерируемой ВЧФ-плазмотроном, расплав хлорида натрия с полученными продуктами иммобилизации.

Таким образом, экспериментально подтверждена при рекомендованных условиях возможность и эффективность процесса плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование процесса плазменной иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в расплавах хлоридов натрия и калия. Отходы иммобилизируются посредством обработки водно-солеорганических композиций, включающих помимо отходов органический растворитель для обеспечения энергоэффективности процесса. На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Однако, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе технологии иммобилизации жидких отходов.

В данном разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе выполнения данной работы были определены оптимальные по составу водно-солеорганических композиции на основе этилового (C_2H_6O) спирта и ацетона (C_3H_6O), обладающих высокой взаимной растворимостью и обеспечивающих энергоэффективную обработку отходов в воздушной плазме. Разработка в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком предприятия ядерно-топливного цикла, входящие в госкорпорацию

«Росатом». В частности, ФГУП «ПО Маяк» (г.Озерск, Челябинская область), ФГУП ФИАО «Горно-химический комбинат» (г.Железногорск, Красноярский край).

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

На сегодняшний день на предприятиях ГК «Росатом» уже накоплены тысячи тонн отходов в бассейнах-хранилищах ЖРО, при этом по последним оценкам ОЯТ занимают около трети объема данных бассейнов. Однако до сих пор отсутствуют эффективные технологии по переработке таких отходов, а традиционные технологии энергозатратны и экологически небезопасны. Поэтому необходимо создание ресурсоэффективной и экологически безопасной технологии иммобилизации таких отходов.

Одним из перспективных решений данной проблемы может быть прямая иммобилизация таких отходов в условиях воздушной плазмы, что делает разрабатываемую технологию уникальной.

Сегодня применяют следующие варианты обращения с ОЯТ:

- иммобилизация ОЯТ (B_{ϕ});
- остекловывание ЖРО (K_1).

Остекловывание ЖРО – отверждение жидких или порошкообразных радиоактивных отходов путем смешения их со стеклообразующими материалами, нагрева смеси до 1000 градусов цельсия и розлива образующегося стекловидного продукта в толстостенные контейнеры из нержавеющей стали для застывания и последующего захоронения.

Иммобилизация РАО – перевод отходов в твердую форму, что снижает возможность миграции и (или) рассеяния радионуклидов в результате естественных процессов во время хранения, перевозки и захоронения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	0,5	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	0,75	0,6
3. Помехоустойчивость	0,1	5	5	0,5	0,5
4. Энергоэкономичность	0,15	5	3	0,75	0,45
5. Надежность	0,1	5	5	0,5	0,5
6. Уровень шума	0,05	4	5	0,2	0,25
7. Безопасность	0,05	5	5	0,25	0,25
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	4	0,5	0,4
9. Простота эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	0	0	0	0
11. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	0	0	0	0
Итого	1	43	40	4,35	3,85

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю 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:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

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 [12].

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой технологии иммобилизации можно назвать следующие свойства и особенности:

- Одностадийность процесса
- Малое время протекания процесса (десятые доли секунды)
- Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг
- Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды
- Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.
- Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

- Опытное оборудование не является ядерно-безопасным
- Отсутствие экономической мотивации у предприятий

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной технологии можно отнести:

- Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.
- Появление дополнительного спроса на новую технологию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности

в настоящем или будущем.

К угрозам по отношению к технологии можно отнести:

- Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.
- Несвоевременное финансовое обеспечение.

Далее проведем поиск соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и построим итоговую матрицу SWOT – анализа. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.1 Итоговая матрица SWOT– анализа.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Одностадийность процесса С2. Малое время протекания процесса (десятые доли секунды) С3. Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг С4. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды</p>	<p>Слабые стороны научно-Исследовательского проекта: Сл1. Опытное оборудование не является ядерно-безопасным Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий</p>
--	---	---

	<p>С5. Экологичность метода. При работе на установке, не происходит загрязнения окружающей среды.</p> <p>С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.</p>	
<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>В1С1С2С3С4С5, В2С1С2С3С5.</p> <p>Сильные стороны будут благотворно влиять на возможность создания рынка по переработке жидких радиоактивных отходов и появление дополнительного спроса на продукты, которые появляются после переработки.</p>	<p>В1Сл2, В2Сл1Сл2.</p> <p>Анализ показывает, что создание рынка повлияет на появление дополнительного спроса, который может существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, оказывающих инженеринговые услуги.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>У1С1С3С5, У2С1С3С5С6.</p> <p>Экологичность нашей технологии дает нам преимущество перед нашими конкурентами. Наличие необходимого оборудования, а также минимальные затраты на электрическую затраты, также дает преимущество перед другими методами переработки ОЯТ.</p>	<p>У1Сл1, У2Сл2.</p> <p>Поиск зарубежного стратегического партнера. Стагнация исследований из-за отсутствия финансирования.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Экономическая часть настоящей работы включает в себя планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.3.

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр, Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр, Руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности	Бакалавр,

		полученных результатов	Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

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

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; 365
 $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; 52 (по 6-дневной рабочей неделе)
 $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. 14

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

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{оэси}$, чел-дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	5
2	10	15	12	Б	12	14
3	5	7	5,8	Б	5,8	7
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
6	10	15	12	Б	12	14
7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
8	5	7	5,8	Б	5,8	7
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
10	6	10	7,6	Б	7,6	9
11	4	7	5,2	Б	5,2	6
Итого:			66,2		60,3 Р/Б 9,7/56,5	73 Р/Б 13/68

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

- материальные затраты НТИ;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- 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:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований

(испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (7)$$

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

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

Π_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.

Высокочастотный генератор и модельные составы ОЯТ являются собственностью кафедры «технической физики», кроме того никаких ремонтных работ экспериментального стенда проведено не было, поэтому в расчет показателей затрат стоимость и вспомогательных, комплектующих материалов не берется. Стоимость сырья также не учитывается, так как в данном случае сырье- производственные отходы, которые предоставляются предприятием- заказчиком работ по исследованию процессов и иммобилизации.

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

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

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

4.3.3 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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.6)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.7.);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.8)$$

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

F_d – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 25).

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.5 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	56	56
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	243

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.9)$$

$$Z_M = 22052 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 43001,4 \text{ руб.}$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента Z_{TC} составляет 22300 руб.);

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

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	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	0,2	1,3	43001,4	1720	9,7	16684
Бакалавр	9893	0,3	0,2	1,3	15175,8	607	56,5	34295,5

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Таким образом выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (4.11)$$

$$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (50979,5) = 13815,44 \text{ руб.}$$

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

4.3.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

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

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

4.3.6 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.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часов (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.12)$$

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 100 \cdot 16 = 9280 \text{ руб.}$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.13)$$

$$C_{вд} = 24,66 \cdot 1,8 \cdot 16 = 710,2 \text{ руб.}$$

где, $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (24,66 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

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

Накладные затраты находятся по формуле:

$$C_{н} = C_{эл} + C_{вд} , \quad (4.14)$$

$$C_{н} = 9280 + 710,2 = 9990,2 \text{ руб.}$$

Прочие расходы составляют 5% от единовременных затрат на реализацию проекта и составят:

$$З_{пр} = k_{пр} \cdot (З_{н} + З_{зп} + З_{стр}), \quad (4.17)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент прочих расходов.

$$C_{пр} = 0,05 \cdot (9920,2 + 50979,5 + 13815,44) = 3735,75 \text{ руб.}$$

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	Пункт 4.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	Пункт 4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	50979,5	Пункт 4.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	13815,44	Пункт 4.3.4
5. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 4.3.5
6. Контрагентские расходы	0	Пункт 4.3.6
7. Накладные расходы	13725,95	Пункт 4.3.7
8. Бюджет затрат НИИ	78520,89	Сумма ст. 1- 8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 73 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 78520,89 рубля.

Производительность используемого экспериментального плазменного стенда для иммобилизации ОЯТ составляет 1000 кг/час. Для осуществления данного этапа создаваемой технологии полной переработки ОЯТ не используются дополнительные реагенты или вспомогательные материалы, таким образом затраты непосредственно на иммобилизацию отходов обусловлены лишь обслуживанием плазменного стенда, которые включают только водо- и энергопотребление.

С учетом вышеизложенного видно, что разрабатываемая технология полной иммобилизации ОЯТ уже на данном этапе становится многократно эффективнее, экологически безопаснее и менее капиталоемкой по сравнению с современными технологическими решениями, используемыми в этой сфере. Значительная эффективность обусловлена резким сокращением объема отходов и дезактивацией присутствующих в сырье токсичных соединений, что позволит заменить используемые в настоящее время полигоны на относительно небольшое складское помещение с оснащением оборудованием для хранения менее экологически небезопасных веществ, это приведет к значительному сокращению статьи расходов на содержание (обслуживание) складов (полигонов) и снижению требований со стороны экологических и радиационных надзорных органов.

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.18)$$
$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{78520,89}{78520,89} = 1.$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.19)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы таблицы 4.8.

Таблица 4.8 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7$$

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (4.20)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исн.1}}{I_{исн.2}} \quad (4.21)$$

Таблица 4.9 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.7
3	Интегральный показатель эффективности	0,21

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

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.

Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [18].

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности [19].

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 вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда и являются обязательными для исполнения рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками и руководящим составом.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно – исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а также использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13.

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

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

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

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами	Химическое воздействие	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества
Расчёт данных на	–	Электрический	ГОСТ 12.1.038-82

ПЭВМ. Работа на плазменной установке.		ток	ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы», СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эмир ч)»

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

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- температура оборудования;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- ионизирующее излучение.

Химические:

— вещества, которые различными путями проникают в организм человека (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, через кожные покровы и слизевые оболочки);

— вредные вещества (токсичные, наркотические, раздражающие, удушающие, сенсibiliзующие, канцерогенные, мутагенные, тератогенные и др., влияющие на репродуктивную функцию).

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 ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

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

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

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.

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

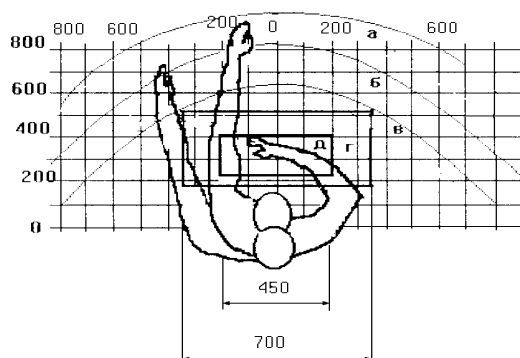


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть

шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

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

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать

неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [20] 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.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций [19].

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

Классы опасности:

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

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

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

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

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля.

Согласно [19] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час.

По нормам [19] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Электробезопасность

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

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

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

работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Опасность электрического тока в отличие от прочих опасных и вредных производственных факторов усугубляется тем, что органы чувств человека не обнаруживают на расстоянии грозящую опасность. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при прохождении его через тело. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого

возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [20]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

При выполнении данной ВКР, использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным

напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

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

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [22], 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.

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

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для

предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

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

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

Выводы

1. Проведен обзор и анализ существующих способов иммобилизации ОП ОЯТ. По их результатам выбран процесс плазменной иммобилизации ОП ОЯТ в виде ВСОК в расплаве хлорида натрия.

2. Проведён расчёт параметров различных по составу водно-солеорганических композиций на основе ОП ОЯТ, ацетона и хлорида натрия. По результатам расчетов определены оптимальные композиции:

– ВСОК-2 (65,67 % ОП ОЯТ: 0,33 % NaCl: 34,00 % Ацетон)

3. Проведен расчёт равновесных составов продуктов плазменной иммобилизации полученных оптимальных ВСОК в широком диапазоне температур и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя, а также проведена оценка удельных энергозатрат на процесс их иммобилизации (9,8 МДж/кг). По результатам расчетов рекомендованы следующие условия:

- плазмообразующий газ – воздух;
- массовое отношение фаз: (75% воздух: 25% ВСОК-2);
- $T = 1500 \pm 100\text{K}$.

4. Экспериментально подтверждена эффективность процесса плазменной иммобилизации при рекомендуемых условиях.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания оборудования и технологии для плазменной иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива на ФГУП «Горно-химический комбинат» и других предприятиях создаваемого ядерного топливного цикла в России.

Список литературы

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Кулагин В.А., Кулагина Т.А., Матюшенко А.И. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2013. – № 6. – С. 123-149.
3. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.
4. Плазмохимические реакции и процессы / под редакцией Л. С. Полака. – М.: Наука, 1977. – 427 с.
5. Плазмохимическая технология / Пархоменко В.Д., Сорока П.И., Краснокутский Ю.И. и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 392 с. – (Низкотемпературная плазма; Т. 4).
6. Пархоменко В.Д., Цыбулев П.Н., Краснокутский Ю.И. Технология плазмохимических производств. – Киев: Выща школа, 1991. – 256 с.
7. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: Химия, 1981. – 248 с.
8. Пантелеев Ю.А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Петров Е.Р., Богородицкий А.Б., Григорьева М.Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124-147
9. Андрюшин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
10. Справочник. Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. 2005.

11. Бернадинер М. Н., Шурыгин А. П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1999. – 448 с.
12. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2000, с.12-20.
13. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М.: Стройздат, 1978. – 160 с.
14. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 512 с.
15. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
16. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Под ред. д.т.н., проф. Б. Б. Бобовича. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2000. – 496 с.
17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
18. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
19. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
20. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
22. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.