



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование процесса воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива

УДК 621.039.59:621.039.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ11	Портнов Леонид Игоревич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Ю.В.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	д.т.н., профессор		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Видяев Д.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Портнову Леониду Игоревичу

Тема работы:

Исследование процесса воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 27-77/С от 27.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. задание; 2. научно-технические источники по воздушно-плазменной утилизации отходов. 3. Программное обеспечение «Тerra».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. обзор литературы по традиционному обращению с РАО; 2. обзор литературы по воздушно-плазменной утилизации отходов; 3. анализ полученных результатов.

Перечень графического материала	<p>Графики:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 75% 2. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 76% 3. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 70%. 4. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 72% 5. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 73%
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н. Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Доцент Отделения ядерно-топливного цикла, к.т.н. Передерин Ю.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	27.01.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Каренгин Александр Григорьевич	к.ф.-м.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Портнов Леонид Игоревич		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2023	Обзор литературы по традиционному обращению с РАО	10
15.03.2023	Обзор литературы по воздушно-плазменной переработке отходов	5
20.03.2023	Расчёт показателей горения различных водно-органических композиций	25
10.05.2023	Анализ и обобщение полученных результатов	20
16.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2023	Социальная ответственность	15
26.05.2023	Оформление пояснительной записки и презентации	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Каренгин Александр Григорьевич	к.ф.-м.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Видяев Дмитрий Геннадьевич	д.т.н., профессор		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает в себя: 95 страницы, 27 таблицы, 7 рисунков, 33 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: плазма, ОЯТ, водоподготовка, РАО, плазменная утилизация.

Объектом исследования является процесс воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива.

Целью работы является оценка возможности эффективной утилизации в воздушной плазме отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива.

В ходе исследования была проведена аналитическая оценка различных методов утилизации отходов водоподготовки для хранилища отработавшего ядерного топлива. По результатам этого исследования был выбран процесс плазменной утилизации водно-солеорганических композиций, содержащих органический элемент. Был произведён расчёт показателей горючести различных водно-солеорганических составов на основе отходов водоподготовки, включающих этиловый и ацетоновый компоненты. В результате этих расчётов были получены оптимальные композиции, обеспечивающие энергоэффективную утилизацию и обладающие адиабатической температурой горения, равной приблизительно 1500 К.

В результате применения лицензированной программы TERRA был проведён расчёт процесса, который заключается в плазменной утилизации отходов в виде ВСОК, включающих ОВП ХОЯТ, в широком диапазоне температур от 300 до 4000 К и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя от 10% до 90%. Была оценена стоимость энергии, необходимой для проведения процесса утилизации, а также были определены оптимальные условия для эффективного проведения процесса утилизации в воздушной плазме.

Содержание

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	11
1 Ионообменные смол в обращении со среднеактивным РАО.....	13
1.1 Характеристика пульпы	13
1.2 Использование ионообменных смол в обращении со среднеактивной пульпой.....	15
2 Способы обращения с гидроксидной пульпой	17
2.1 Иммобилизация гидроксидной пульпы в цемент.....	17
2.2 Иммобилизация гидроксидной пульпы в битумы.....	19
2.3 Использование технологии остекловывания для иммобилизации гидроксидной пульпы.....	19
2.4 Воздушно-плазменная утилизация отходов водоподготовки	20
2.5 Включение гидроксидной пульпы в минеральные матричные материалы	21
3 Практическая часть	24
3.1 Расчет показателей горючести водно-солеорганических композиций на основе ОВП ХОЯТ.....	24
3.2 Термодинамический расчет процесса воздушно-плазменной утилизации ОВП ХОЯТ	25
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 30	
4.1 Предпроектный анализ.....	30
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	30
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	31
4.1.3 SWOT-анализ	33

4.2	Инициация проекта	36
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом	39
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	39
4.3.2.	Контрольные события проекта.....	39
4.4	Бюджет научного исследования.....	42
4.4.1	Расчет материальных затрат	42
4.4.2	Расчет амортизации оборудования	43
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	44
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	47
4.4.5	Накладные расходы	48
4.4.6	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	48
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	49
4.6	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	51
5	Социальная ответственность	53
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	53
5.1.1	Правовые нормы трудового законодательства.....	53
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	55
5.2	Производственная безопасность	57
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	57
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов	58
5.2.3	Отклонение показателей микроклимата.....	58

5.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	59
5.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	60
5.2.6 Превышение уровня шума	64
5.2.7 Психофизиологические факторы	66
5.2.8 Электробезопасность.....	66
5.2.9 Пожарная и взрывная безопасность.....	68
5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	71
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	72
Выводы	73
Список используемых источников.....	74
Приложение А	78

Обозначения и сокращения

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

РАО – радиоактивные отходы;

ОВП ХОЯТ – отходы водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива;

ВСОК – водно-солеорганическая композиция;

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ОТВС – отработавших тепловыделяющих сборок;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы.

Введение

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) возникает в результате цикла работы реактора АЭС. В состав ОЯТ входят недовыгоревший ^{235}U , остальные изотопы урана и трансурановые элементы, а также активированные конструкционные материалы. Тепловыделяющие сборки с ОЯТ содержат радиоактивные элементы и продолжают выделять тепло в течение длительного времени.

Для временного хранения ОЯТ используется специальный бассейн выдержки, заполненный водой. В этом бассейне тепловыделяющие сборки охлаждаются и временно хранятся до отправки на переработку или захоронение.

В процессе хранения ОЯТ необходимо обеспечить безопасность и защиту окружающей среды от радиоактивного загрязнения. Для этого применяются специальные технологии и меры безопасности, которые позволяют минимизировать риски для людей и окружающей среды.

Переработка ОЯТ также является важным этапом работы АЭС. В процессе переработки из ОЯТ извлекаются ценные ресурсы и обезвреживаются радиоактивные отходы. Это позволяет снизить уровень радиационной нагрузки на окружающую среду и повысить эффективность использования ядерной энергии.

Вода в бассейне является неотъемлемой частью процесса хранения отработанных ядерных топливных элементов (ОЯТ). Она не только защищает от радиационного излучения, но и принимает на себя сьем тепловыделений. Таким образом, вода становится важным элементом в поддержании безопасности при хранении ОЯТ.

При длительном хранении, активность ОЯТ может снизиться до 50 раз благодаря распаду короткоживущих радионуклидов. Но кроме этого, процесс хранения ОЯТ сопровождается и другими проблемами. Так, ТВЭЛы, в которых происходит хранение ОЯТ, могут подвергаться ядерному излучению

и приобретать трещины. И это в свою очередь может приводить к утечкам ОЯТ.

Чтобы избежать подобных ситуаций, проводятся мероприятия по водоподготовке. Они позволяют провести экстракцию ОЯТ из пульпы (смесь воды и ОЯТ). В конечном итоге, правильная водоподготовка является не только гарантией безопасности, но и позволяет более эффективно использовать процесс хранения ОЯТ.

При поиске эффективных методов очистки воды от растворенных металлов на сегодняшний день традиционно используют ионообменники. Эти смолы заменяют радиоактивные ионы на ионы, содержащиеся в ионообменной смоле. Однако, для получения органических ядерных токсинов из ионообменной смолы требуется ее регенерация, что приводит к многостадийности и высоким энергозатратам.

Помимо этого, применяют иммобилизацию гидроксильной пульпы в цемент либо в битумы, используют остекловывание для иммобилизации гидроксидной пульпы, включают гидроксидную пульпу в минеральные матричные материалы.

В данной работе предлагается использовать более эффективный метод – одностадийную плазменную переработку ОВП ХОЯТ. Она позволяет быстро и эффективно очистить воду от металлов без необходимости регенерации ионообменной смолы.

Плазменная переработка ОВП ХОЯТ – процесс, основанный на использовании плазмы, проходящей через систему реакторов. При этом происходит окисление металлов, что позволяет быстро очистить воду от опасных примесей. Использование этого метода имеет ряд преимуществ: он экономически выгоден, при правильно подобранном сырье, значительно уменьшает количество использованных ресурсов и затрат на энергию.

Таким образом, использование плазменной переработки ОВП ХОЯТ может стать более эффективным и экологически безопасным методом очистки воды от металлов, чем традиционные способы сорбции.

1 Ионообменные смол в обращении со среднеактивным РАО

1.1 Характеристика пульпы

Гидроксидная пульпа - это один из наиболее распространенных отходов в промышленности. Она состоит главным образом из частиц размером менее 0,08 мм, которые составляют 88% от общего объема. Самые крупные частицы осадка не превышают 1,2 мм.

Гидроксидная пульпа содержит гидроксиды кальция, натрия, магния и железа, которые являются основными компонентами этого отхода. Однако, помимо этих элементов, пульпа также содержит радионуклиды ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{154}Eu , которые влияют на ее активность.

Суммарная активность γ -излучающих радионуклидов в гидроксидной пульпе составляет $1,0\text{-}10^5$ кБк/ск. Пульпа в таком случае относится к среднеактивным радиоактивным отходам [1].

Физические свойства гидроксидной пульпы:

- плотность 1163 кг/м³;
- кинематическая вязкость 1,8 мм²/с;
- условная вязкость 1,08°ВУ.

Химический состав гидроксидной пульпы на килограмм сухого осадка представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Гранулометрический состав гидроксидной пульпы.

Компонент	Содержание, г/кг
Ca	314
Na	24
Mg	20,3
Fe	14,5
Si	1,7
Al	1,5
Ni	0,58
Mn	0,52
Cu	0,06

Гранулометрический состав гидроксидной пульпы представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Гранулометрический состав гидроксидной пульпы.

Размер фракции, мм	Содержание фракции, %
1,2	0
1,0 – 1,2	0,05
0,8 – 1	0,14
0,5 – 0,8	0,38
0,35 – 1,5	1,16
0,25 – 0,35	1,32
0,1 – 0,25	5,81
0,08 – 0,1	2,04
< 0,08	88,14

1.2 Использование ионообменных смол в обращении со среднеактивной пульпой

Потребность в повышении эффективности водоподготовки от радионуклидов возникла при наихудшем сценарии функционирования бассейнов выдержки, когда была нарушена герметичность пеналов для хранения дефектных ОТВС транспортных ЯЭУ. Суммарная объемная активность воды в бассейне, определяемая в основном ^{137}Cs , достигала $8,5 \cdot 10^8$ Бк/л. Содержание ^{90}Sr не превышало 20% от содержания цезия. В меньших количествах присутствовали также ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{85}Kr , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{144}Ce , $^{152,154,155}\text{Eu}$, $^{235,238}\text{U}$, $^{238,239}\text{Pu}$.

На первом этапе стабилизации ситуации рассматривались возможности рециркуляционной очистки воды при штатной загрузке ионообменных фильтров смесью катионита КУ-2-8 чС и анионита АВ-17-8 чС. Такая обработка обеспечила снижение суммарной объемной активности воды в бассейне до $3,0 \cdot 10^5$ Бк/л, а солесодержания – до 2–4 мг/л от исходного 400 мг/л. В процессе эксплуатации подобной водоподготовки было установлено, что при высоком солесодержании воды эффективность ее очистки от ^{137}Cs резко падает во времени. Контроль мощности дозы γ -излучения от фильтров и радиохимический анализ воды в бассейне показали, что после пропускания воды в объеме около 100 внутренних объемов фильтра наступал проскок ^{137}Cs через фильтр.

Наблюдаемый эффект является закономерным следствием низкой динамической обменной емкости катионитной загрузки фильтра по ^{137}Cs при высокой концентрации в воде солей натрия, приводящей к переводу катионита в Na^+ -форму. В то же время коэффициент очистки воды от ^{90}Sr на катионите составляет 10^4 при солесодержании до 0,7 г/л [2].

Решением проблемы явилась специальная технология модифицирования ионообменных смол гексацианоферратами [3]. Сущность этой технологии заключается в обработке смешанной шихты из анионита в OH^- -форме и катионита в H^+ -форме последовательно растворами

гексацианоферрата калия и сульфата никеля для перевода их в форму смешанного гексацианоферрата никелякалия. Сорбционная способность полученных после такой обработки фильтрующих материалов по отношению к Cs существенно выше, чем смеси ионитов, предварительно отдельно обработанных этими же растворами в тех же условиях. При выборе состава и соотношения ингредиентов для загрузки фильтров сорбционной очистки для технологических испытаний исходили из следующих предпосылок: очистка воды фильтром должна быть наиболее эффективной по радионуклидам ^{137}Cs и ^{90}Sr и практически независимой от солесодержания [4].

Полученные по предложенной технологии модифицированные сорбенты отвечают этому условию только в плане извлечения ^{137}Cs , а для последующего обессоливания и извлечения ^{90}Sr используется катионит КУ-2 в H^+ -форме.

2 Способы обращения с гидроксидной пульпой

Кондиционирование является одним из методов безопасного хранения РАО. Оно включает в себя ряд операций, которые позволяют превратить радиоактивные отходы в форму, которая обладает не только химической, но и термической и радиационной устойчивостью. Это позволяет сохранять стабильность отходов во время их перемещения, перевозки, хранения и захоронения.

Одной из таких операций является иммобилизация, которая включает в себя перевод отходов в твердую форму путем их отверждения, включения в матрицу или заключения в герметичные оболочки. Несмотря на то, что кондиционирование РАО является довольно сложным процессом, он является одним из наиболее эффективных способов обеспечения безопасности при работе с радиоактивными материалами.

Выбор матричного материала для иммобилизации РАО – сложный процесс, зависящий от многих факторов. Основными факторами являются характеристики и свойства отходов, которые необходимо учитывать при выборе метода кондиционирования. Важно, чтобы связующий материал обладал высокими изоляционными свойствами и стойкостью к выщелачиванию. Это обеспечивает безопасность и минимизирует риск загрязнения окружающей среды.

Изучение свойств и характеристик каждого из этих материалов, а также их совместимости с конкретными типами отходов, позволяет определить наиболее эффективный и безопасный метод кондиционирования.

2.1 Иммобилизация гидроксидной пульпы в цемент

Не всегда достаточно просто включить отходы в цементный блок. Для управления технологией цементирования и регулирования свойств компаунда часто используют химические добавки. Они являются одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов. С их помощью можно эффективно управлять процессом кондиционирования пульпы [5].

Перед началом цементирования пульпы необходимо оптимизировать состав вяжущей смеси. Химические добавки используются для регулирования свойств цементного раствора, таких как пластифицирующие, стабилизирующие и водоудерживающие. Они могут регулировать схватывание и твердение, плотность и пористость цементного компаунда, и придавать ему специальные свойства, такие как морозостойкость, радиационную устойчивость и повышенную степень связывания радионуклидов.

Как правило, оптимизация состава вяжущей смеси при цементировании пульпы связана с выбором правильных химических добавок и определением их количества. При этом необходимо учитывать, как добавки взаимодействуют друг с другом и с другими компонентами смеси.

Важное значение имеет выбор правильной химической добавки, которая обеспечивает необходимый эффект. Например, пластифицирующие добавки могут улучшить текучесть цементного раствора, что облегчит его нанесение и уменьшит вероятность образования трещин. А водоудерживающие добавки увеличат время схватывания и улучшат степень связывания компонентов цементного раствора.

При выборе метода цементирования ЖРО, часто доступность и дешевизна технологического оборудования и матричных материалов являются решающими факторами. В таких случаях, технологии цементирования характеризуются относительной простотой. При этом, производительность процесса оставляет желать лучшего. Степень наполнения ЖРО цементной матрицы не превышает 10-25%, что в свою очередь ведет к значительным затратам при строительстве и эксплуатации хранилищ РАО.

Наряду с методом цементирования, существует и другой доступный способ утилизации ЖРО – это метод битумирования.

2.2 Иммобилизация гидроксидной пульпы в битумы

Битумирование позволяет использовать дешевое сырье и не требует дополнительных затрат на увеличение объема отходов. Полученные компаунды, используемые при этом методе, не обладают высокой механической прочностью и могут иметь повышенную пожароопасность из-за температуры воспламенения битума, которая достигает 400°C. В связи с этим, затраты на обеспечение условий хранения конечного продукта могут быть довольно высокими [6].

Для того, чтобы снизить возможные риски, связанные с использованием данного метода, необходимо строго контролировать условия хранения материалов, используемых для остекловывания. Это может включать в себя контроль температуры, влажности и других параметров, которые могут повлиять на качество конечного продукта.

Можно использовать другие методы иммобилизации, которые обладают более высокой механической прочностью и меньшей пожароопасностью. Например, метод полимеризации может быть более эффективным в некоторых случаях.

2.3 Использование технологии остекловывания для иммобилизации гидроксидной пульпы

Остекловыванием можно переработать широкий спектр жидких и твердых РАО. Состав остеклованных радиоактивных отходов существенно отличается от состава матричных стекол, и это обусловлено разным соотношением компонентов. Вопрос количественного соотношения отходов и матричного стекла не имеет однозначного решения, поскольку увеличение количества радиоактивных отходов в стеклах может улучшать экономические показатели, но негативно влиять на удельную активность, тепловыделение, а также на химическую устойчивость и долговременную стабильность стекла. В связи с этим Федеральной службой по экологическому, технологическому и

атомному надзору были установлены ограничения на содержание нуклидов и трансурановых элементов в стеклоподобном компаунде. [7]

В современных технологиях содержание радиоактивных отходов в стеклах обычно составляет от 10 до 30 масс.%, как указывается в [8]. Следует учитывать, что при высоких температурах (более 350°C) кубовый остаток или солевой плав могут вызвать разложение нитратов натрия и калия. Нагрев до 700-800°C приведёт к возгонке щелочных оксидов (Na^+ , K^+ и Cs^+), поэтому требуется мощная система газоочистки [9]. Кроме того, методы цементирования, битумирования и остекловывания РАО не удовлетворяют принципу фазово-химического соответствия матрицы РАО и геологической формации, в которой они должны быть размещены.

2.4 Воздушно-плазменная утилизация отходов водоподготовки

В настоящее время необходимо решить вопрос повышения эффективности переработки отходов. Одним из перспективных решений может стать переработка НОП ОЯТ в виде водно-органических нитратных растворов (ВОНР), содержащих органические компоненты. Данная технология позволяет существенно снизить энергозатраты на этапе воздушно-плазменной утилизации, снизив их до 0,1 МВт·ч/т.

Одним из способов получения порошков металлических оксидов является использование процесса воздушно-плазменной иммобилизации ОП ОЯТ из растворов ВОНР. Данный подход позволяет не только решить проблему переработки отходов, но и уменьшить количество повторяющихся операций, емкостное оборудование, затраты на химические реагенты, а также энерго- и трудозатраты.

Предлагаемый процесс прямой воздушно-плазменной иммобилизации отходов производства ядерного топлива является многообещающим методом утилизации их безопасной фиксации. Он имеет перспективы для применения в различных отраслях промышленности, таких как металлургия, электроника, химическая промышленность и другие. Использование данного процесса

способствует значительному уменьшению воздействия отходов на окружающую среду и улучшению экологической обстановки. Кроме того, данный метод может обладать большей эффективностью и экономической выгодой по сравнению с другими существующими способами переработки отходов.

Для получения порошков простых и сложных оксидов металлов из растворов ВОНР, содержащих горючий органический компонент (этанол, ацетон), предлагается использовать процесс прямой воздушно-плазменной иммобилизации ОП ОЯТ. Это позволит значительно сократить стоимость переработки НОП ОЯТ, уменьшив количество передельных операций, объём емкостного оборудования, затраты на химические реагенты, энерго- и трудозатраты. [12-16].

2.5 Включение гидроксидной пульпы в минеральные матричные материалы

Для решения проблемы захоронения радиоактивных отходов необходимо выбрать природные минералы, которые обладают большой изоморфной емкостью и могут концентрировать тяжелые и радиоактивные элементы. Среди таких минералов можно назвать цирконит, цирконолит, перовскит, иттрий-алюминиевый гранат, бритоцит, монацит и пирохлор.

Важно отметить, что выбор материалов для матрицы должен соответствовать принципу фазово-химического соответствия для конкретной геологической формации. Это обеспечит эффективное и безопасное захоронение отходов.

Кроме того, при определении подходящих материалов необходимо учитывать их устойчивость к тяжелым и радиоактивным элементам. Ведь именно за счет этой устойчивости минералы смогут сохранять концентрацию РАО на высоком уровне, что позволит избежать их внешнего воздействия.

Таким образом, выбор природных минералов для захоронения РАО - это сложная задача, и требуется учитывать множество факторов, чтобы обеспечить максимальную безопасность и эффективность этого процесса.

Отличительная особенность керамической формы заключается в возможности использования кристаллической решетки керамических фаз для включения катионов долгоживущих радионуклидов. Это достигается путем замещения ионов растворителя, что делает материал подобным природным минералам. Керамические изделия, состоят из смеси твердых растворов на основе титанатов и цирконатов и обладают действительно высокой устойчивостью к процессам выщелачивания.

Более того, керамические матрицы обладают большой прочностью и долговечностью, что делает их отличным материалом для производства ядерных топливных элементов и отходов. А использование таких материалов в ядерных установках способствует более безопасному обращению с радиоактивными отходами и увеличивает эффективность работы ядерных электростанций.

При захоронении радиоактивных отходов в соляных формациях, можно использовать принцип фазово-химического соответствия геологической среды захоронения и матриц из магнезиально минерально-солевой композиции. Это позволяет более надежно и безопасно захоронять радиоактивные отходы, т.к. соль является эффективным барьером для распространения радиоактивных веществ.

Магнезиально минерально-солевая композиция более доступна для производства и не требует сложной технологической схемы, что позволяет снижать затраты. Магнезиально-минерально-солевая композиция - это универсальное решение для обезвреживания жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Иммобилизация ЖРО - одно из самых эффективных применений этой композиции. При этом солевые ЖРО являются не просто дополнительной жидкостью, а необходимым компонентом при приготовлении компаунда

отходами. Это способствует значительному повышению степени наполнения и уменьшению объемов обезвреживания.

Получение матриц с минералоподобной структурой требует развития процессов и соответствующей аппаратуры, что на данный момент значительно менее развито, чем другие методы кондиционирования. Тем не менее, такой подход может привести к новым возможностям и преимуществам в области обращения с отходами.

3 Практическая часть

3.1 Расчет показателей горючести водно-солеорганических композиций на основе ОВП ХОЯТ

Полученные после регенерации ионообменных смол ОВО ХОЯТ в виде водной пульпы из солей металлов имеют следующий элементный состав [17, 18]: H_2O – 62,284 %, Ca – 31,4 %, Pu – 0,00032 %, Na – 2,4 %, Mg – 2,03 %, Fe – 1,45%, Si – 0,017 %, Si – 0,017 %, Al – 0,015 %, Ni – 0,058 %, Mn – 0,0052 %, Cu – 0,006 %.

Выбранный нами органический компонент (ацетон) имеет следующие параметры: $Q_n^c = 31,54$ МДж/кг; $T_{вспышки} = 254$ °С; $T_{самовоспл.} = 738$ °С, а этанол: $Q_n^c = 26,8$ МДж/кг; $T_{вспышки} = 285$ °С; $T_{самовоспл.} = 619$ °С [19].

Низшую теплотворную способность водно-солеорганической композиции, включающей ОВП ХОЯТ и органический компонент, определяли по уравнению [20]:

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A)Q_n^c}{100} - \frac{2,5W}{100}, \quad (3.1)$$

где Q_n^c – низшая теплота сгорания органического компонента в составе водно-солеорганической композиции, кДж/кг; W и A – массовая доля воды и негорючих компонентов в составе композиции, соответственно, %; 2,5 – значение скрытой теплоты испарения воды при 273 К, кДж/кг.

Требование достижения значения показателя $Q_n^p \geq 8,4$ МДж/кг для того, чтобы композиция ВСОК считалась горючей, является завышенным для большого числа используемых в промышленности композиций, содержащих горючие компоненты с низкими значениями Q_n^c , но с высокой жаропроизводительностью.

Более объективным показателем горючести водно-солеорганической композиции является адиабатическая температура горения ($T_{ад}$), которую оценивали по формуле [20]:

$$T_{ад} = \frac{(100 - v_{ок})Q_n^p + v_{ок}C_{ок}t_{ок}}{100v}, \quad (3.2)$$

где $v_{ок}$ – массовая доля окислителя (воздуха), %; $C_{ок}$ – теплоемкость окислителя, кДж/(кг·К); $t_{ок}$ – температура окислителя, К; v – удельная равновесная теплоемкость продуктов плазменной утилизации композиции ВСОК, кДж/(кг·К).

Проведен расчет Q_p^n различных водно-солеорганических композиций на основе ОВП ХОЯТ и определены оптимальные по составу ВСОК, имеющие $T_{ад} \approx 1500$ К и обеспечивающие их энергоэффективную утилизацию в воздушной плазме:

1. Состав ВСОК-1: (65% ОВП ХОЯТ : 35% Этанол).
2. Состав ВСОК-2: (72% ОВП ХОЯТ : 28% Ацетон)

3.2 Термодинамический расчет процесса воздушно-плазменной утилизации ОВП ХОЯТ

С использованием лицензионной программы «TERRA» были проведены термодинамические расчеты равновесных составов продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиций ВСОК-1 и ВСОК-2.

Результаты расчетов приведены на рисунках 3.1 и 3.2, а также на рисунках 3.3 и 3.4.

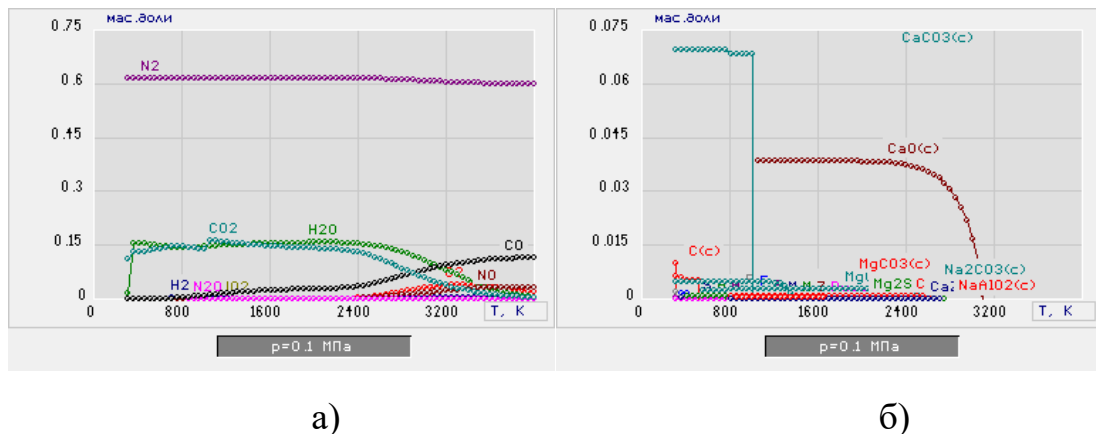
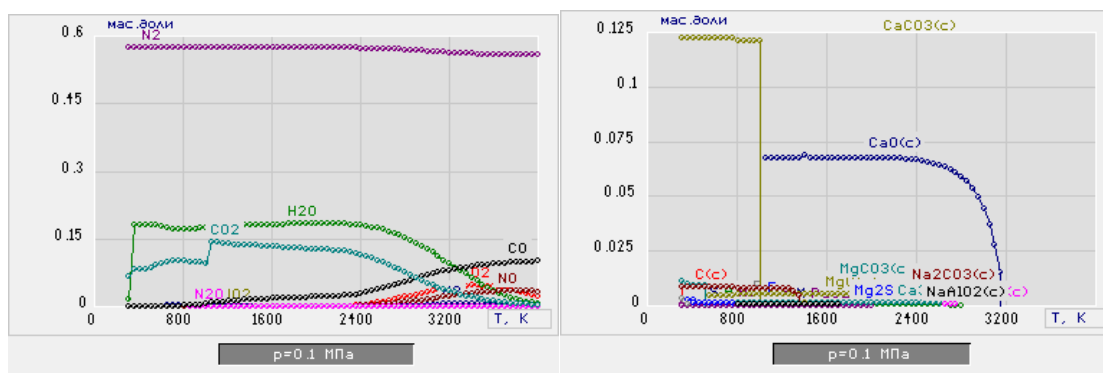


Рисунок 3.1 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 75%.

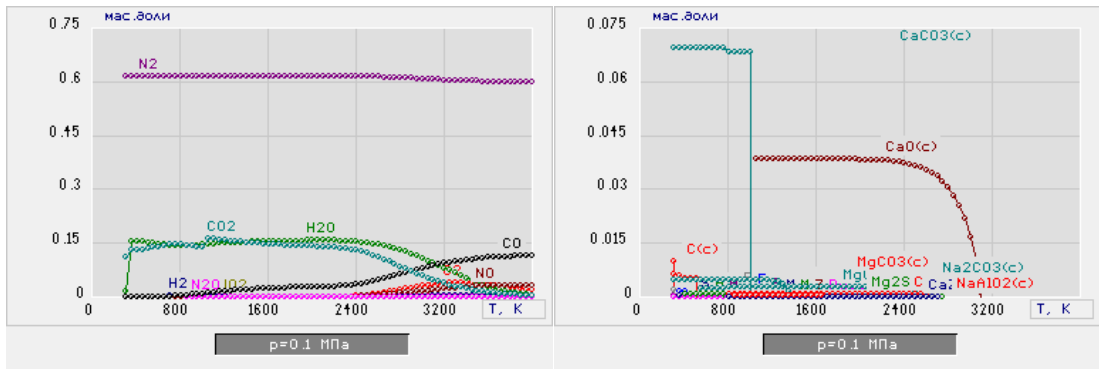


а)

б)

Рисунок 3.2 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 76%.

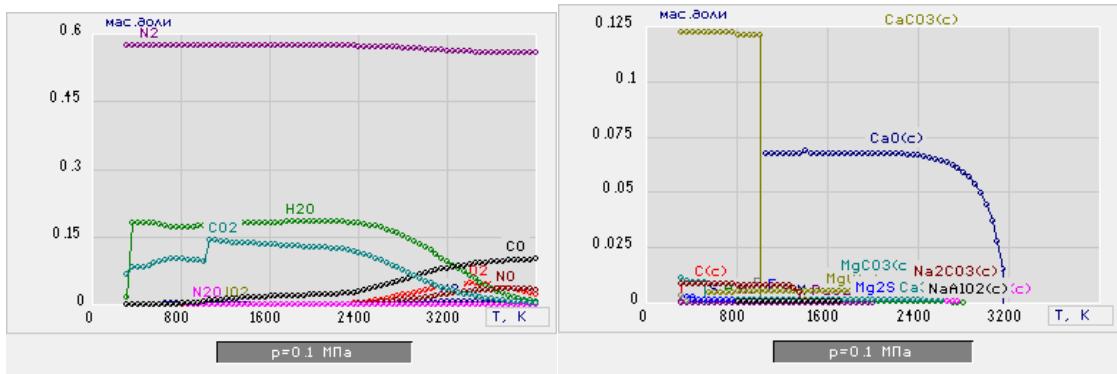
Из анализа графиков на рисунке 3.1 следует, что при массовой доле воздуха (75%) и температурах до 1600 К основными продуктами в газовой фазе являются N_2 , H_2O и CO_2 (рисунок 3.1а), а в конденсированной фазе (рисунок 3.1б) – в основном, простые и сложные оксиды металлов, включающие $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$ и др., а также углерод в конденсированной фазе $C(c)$. При увеличении массовой доли воздуха с 75% до 76% (рисунок 3.2) следует, что при температурах до 1600 К основными продуктами в газовой фазе также являются N_2 , H_2O и CO_2 , (рисунок 3.2а), а в конденсированной фазе (рисунок 3.2б) – простые и сложные оксиды металлов, включающие $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$ и др., но без образования углерода в конденсированной фазе $C(c)$.



а)

б)

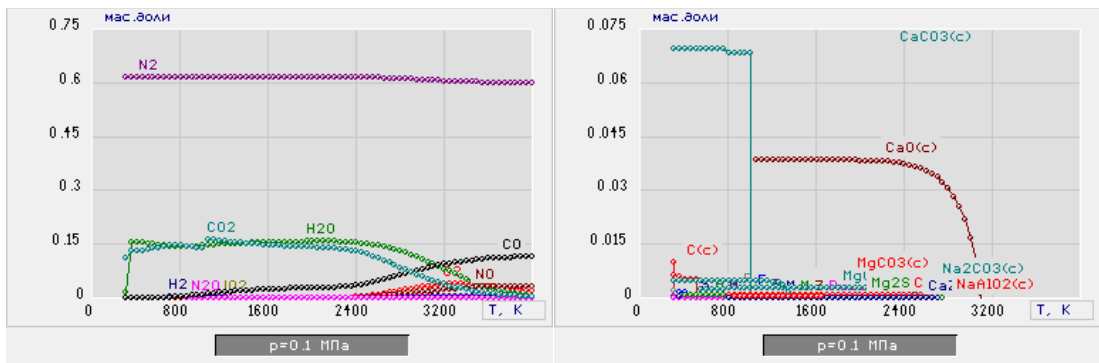
Рисунок 3.3 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 70%.



а)

б)

Рисунок 3.4 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 72%.



а)

б)

Рисунок 3.5 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ОВП ХОЯТ в виде композиции ВСОК-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 73%.

Из рисунков 3.3а и 3.4 следует, что при массовой доле воздуха, начиная с 70% и увеличиваясь до 73%, и температурах до 1600 К основными продуктами в газовой фазе являются N_2 , H_2O и CO_2 . А основными продуктами в конденсированной фазе (рисунок 3.3б и 3.4б) – простые и сложные оксиды металлов, такие как $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$ и другие. Кроме того, в конденсированной фазе присутствует углерод ($C(c)$).

После проведения исследования было установлено, что формирование углерода в сжатом состоянии $C(c)$ не является обязательным условием. Для практической реализации процесса можно следовать рекомендациям по параметрам:

- использование состава ВСОК-2 в сочетании с 72% ОВП ХОЯТ и 28% Ацетона;
- массовое отношение фаз Воздух : ВСОК-2 составляет 73% : 27%;
- работа при температуре $T = 1500 \pm 200$ К;
- средние затраты удельной энергии на процесс составляют примерно 3,5 МДж/кг.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ11	Портнову Леониду Игоревичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 400000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 100000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент для города Томска равен 1,3. Премияльный коэффициент равен 0,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды- 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; 2. SWOT-анализ.
1. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	1. Цели и результат проекта; 2. Организационная структура проекта; 3. Ограничения и допущения проекта.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: организация работ НИ; определение структуры работ; разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ: материальные затраты; заработная плата; отчисления во внебюджетные фонды.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности; 4. Оценка абсолютной эффективности НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сегментирование рынка*
2. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
3. *Матрица SWOT*
4. *Иерархическая структура работ*
5. *Календарный план-график проведения научного исследования*
6. *Диаграмма Ганта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ11	Портнов Леонид Игоревич		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка расчета процесса воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища ОЯТ в композиции с ацетоном.

В данном разделе приводятся решения следующих задач:

- оценка конкурентоспособность технических решений;
- SWOT-анализ;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- расчет и оценка сравнительной финансовой эффективности исследования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. Проведенная работа

направлена на следующие целевые рынки, основная цель которых – производство и применение стабильных изотопов:

- Атомная промышленность;
- Научно исследовательские центры;
- Иные производственные отрасли.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования результатов проведенных исследований. Результаты сегментирования представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка услуг по утилизации радиоактивных отходов

		Воздушно-плазменная утилизация отходов водоподготовки		
		Атомная промышленность	НИИ, исследовательские центры	Иные производственные отрасли
Потребность	Сильная			
	Слабая			

Как видно из таблицы 4.1. сильная заинтересованность в проведенной работе у атомной промышленности. Использование данной технологии в экспорте не предусмотрено.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данной работе рассмотрен процесс воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки, включающих органический компонент (ф). В качестве конкурента выбран традиционный метод водоподготовки (к).

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пяти балльной шкале. Веса показателей 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.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_f	B_k	K_f	K_k
Технические критерии					
1. Скорость расчёта	0,5	5	3	2,5	1,5
2. Удобство использования выбранной модели	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Простота понимания модели	0,1	5	5	0,5	0,5
4. Надежность модели	0,05	4	3	0,2	0,15
5. Сходимость модели	0,03	4	4	0,12	0,12
Экономические критерии					
1. Затраты на разработку	0,08	5	4	0,4	0,32
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	4	0,2	0,16
3. Финансирование разработанного метода	0,1	5	1	0,5	0,1
Итого	1			4,22	3,15

Таким образом, можно сделать вывод о том, что метод утилизации отходов водоподготовки в воздушно-плазменной среде является наиболее предпочтительным, чем традиционный метод водоподготовки.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [21, 22].

Составлена матрица SWOT-анализа (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Актуальность проекта. С2. Применение современного оборудования на стадии расчета С3. Бюджетное финансирование. С4. Получение результатов высокой точности. С5. Возможность оптимизации расчётной модели.</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Ограниченное применение конкретной модели. Сл2. Требуется экспериментальное подтверждение результатов. Сл3. Закрытость программного кода. Сл4. Ограниченный круг потребителей. Сл5. Ограниченные возможности расчёта (только для определенных компонентов).</p>
<p>Возможности: В1. Использование модели для исследований. В2. Расширение возможностей расчётной модели. В3. Возможность исследования различных по составу отходов водоподготовки. В4. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>		
<p>Угрозы: У1. Низкий спрос со стороны предприятий. У2. Вероятность разработки подобных расчётных моделей другими организациями. У3. Сложность в продвижении модели среди консервативно настроенных предприятий У4. Разработка новейших моделей расчёта.</p>		

В таблице 4.4 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	-	-	+	+
B2	+	-	-	-	+
B3	+	+	-	+	+
B4	+	-	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «+» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «-» – слабое соотношение, «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

В результате составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Актуальность проекта. С2. Применение современного оборудования на стадии расчета С3. Бюджетное финансирование. С4. Получение результатов высокой точности. С5. Возможность оптимизации расчётной модели.</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Ограниченное применение конкретной модели. Сл2. Требуется экспериментальное подтверждение результатов. Сл3. Закрытость программного кода. Сл4. Ограниченный круг потребителей. Сл5. Ограниченные возможности расчёта (только для определенных компонентов).</p>
<p>Возможности: В1. Использование модели для исследований. В2. Расширение возможностей расчётной модели. В3. Возможность исследования различных по составу отходов водоподготовки. В4. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>	<p>1. Полное обеспечение условий для создания и применения модели для расчётов. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики и использованием современных расчётных моделей. 3. Высокая точность получаемых результатов расчета распределения концентраций по ступеням позволяет повысить спрос на расчётную модель</p>	<p>1. Необходимо экспериментальное подтверждение, что возможно реализовать в условиях вуза. 2. Закрытость расчётной модели не отражается на точности результатов. 3. Круг потребителей можно увеличить с помощью увеличения количества элементов.</p>
<p>Угрозы: У1. Низкий спрос со стороны предприятий. У2. Вероятность разработки подобных расчётных моделей другими организациями. У3. Сложность в продвижении модели среди консервативно настроенных предприятий У4. Разработка новейших моделей расчёта.</p>	<p>1. Внедрение разработки в научные центры и институты позволит увеличить охват пользователей и заинтересованность предприятий. 2. Благодаря возможностям расчётной модели и своевременному финансированию продвижение на рынок может стать успешным. 3. Так как существует возможность оптимизации расчётной модели и расширения выбора изотопов, то это позволит конкурировать с новейшими разработками. 4. Дополнительное финансирование позволит продвинуть расчётную модель на рынок.</p>	<p>1. Создание подобных моделей другими организациями можно решить с помощью возможностей расчётной модели, которых нет у конкурентов. 2. Несовершенства разработанной модели можно решить с помощью оптимизации модели под требуемые составы отходов водоподготовки.</p>

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки, которыми являются: наличие необходимого оборудования для экспериментального подтверждения эффективности предлагаемой технологии на модельных растворах ВОНР и его компактность;

4.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 4.6.

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 4.7.

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ	Использование результатов моделирования для увеличения производительности плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона
Компании атомной промышленности	Создание научных основ технологии для энергоэффективной воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений

Таблица 4.7 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Моделирование и исследование процесса воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки в виде растворов ВОНР.
Ожидаемые результаты проекта:	Создание научных основ энергоэффективной технологии воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных растворов ВОНР.
Критерии приемки результата проекта:	Научные основы энергоэффективной технологии утилизации отходов водоподготовки.
Требования к результату проекта:	Экспериментальное подтверждение процесса воздушно-плазменной утилизации отходов водоподготовки на модельных растворах ВОНР.

2. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты час.
2	Каренгин А.Г., ТПУ, доцент	Консультации по основным вопросам темы	Научный руководитель (НР)	60
1	Портнов Л.И., ТПУ, магистр	Моделирование и исследование процесса утилизации отходов водоподготовки в воздушной плазме в виде растворов ВОНР	Исполнитель (И)	493
ИТОГО:				553

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта, руб.	не более 400 000
3.1.1. Источник финансирования	ТПУ
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2023
3.2.2. Дата завершения проекта	21.05.2023

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель (НР) и исполнитель (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Сравнительный анализ методов утилизации отходов водоподготовки	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (этанол, ацетон). Определение оптимальных по составу растворов ВОНР. Термодинамическое моделирование процесса утилизации отходов водоподготовки в воздушной плазме в виде растворов ВОНР. Выбор оптимальных условий утилизации. Исследование режимов работы установки на базе ВЧФ-плазмотрона. Экспериментальное подтверждение полученных результатов на модельных растворах ВОНР.	И, НР
	7	Анализ результатов работы	И, НР
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И, НР

4.3.2. Контрольные события проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Календарный план проекта представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	1	01.02.2023	02.02.2023	НР
2	Календарное планирование работ по теме	4	03.02.2023	07.02.2023	НР, И
3	Изучение материалов по теме	14	08.02.2023	22.02.2023	И
4	Сравнительный анализ методов утилизации отходов водоподготовки	5	24.02.2023	01.03.2023	И
5	Выбор метода выполнения работы	8	02.03.2023	10.03.2023	НР, И
6	Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (этанол, ацетон). Определение оптимальных по составу растворов ВОНР. Термодинамическое моделирование процесса утилизации отходов водоподготовки в воздушной плазме в виде растворов ВОНР. Выбор оптимальных условий утилизации. Исследование режимов работы установки на базе ВЧФ-плазмотрона. Экспериментальное подтверждение полученных результатов на модельных растворах ВОНР.	28	11.03.2023	09.04.2023	И
7	Анализ результатов работы	30	10.04.2023	10.05.2023	И
8	Составление отчета по работе	10	11.05.2023	21.05.2023	И

Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 4.12 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.12 – Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	НР	2	■														
2	Календарное планирование работ по теме	НР, И	4	■	■													
3	Изучение материалов по теме	И	14		■	■	■											
4	Сравнительный анализ методов утилизации отходов водоподготовки	И	5				■											
5	Выбор метода выполнения работы	НР, И	8				■	■										
6	Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов	И	28					■	■	■								
7	Анализ результатов работы	И	30							■	■	■	■					
8	Составление отчета по работе	И	10										■	■	■			

■ – НР

■ – И

Таким образом, построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы;
2. Затраты на оплату труда работников;
3. Отчисления во внебюджетные фонды;
4. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ;
5. Прочие прямые расходы;
6. Накладные расходы.

Данные расходы относятся к прямым затратам, величину которых, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного научно-технического исследования, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание общетехнических служб.

4.4.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на плазматроне и на компьютере. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на органический компонент для подготовки модельных растворов ВОНР. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Ацетон	60	250 л.	15000
Персональный компьютер	45000	1	45000
Итого:	60000 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 60000 рублей.

4.4.2 Расчет амортизации оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Все работы для ВКР проводились на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 и на персональном компьютере.

Таблица 4.14 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
Итого:	45000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.3:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.2)$$

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.4:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4.3)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

$$H_A = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Персональный компьютер:

$$A = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 4 = 4950 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 4950 \text{ руб.}$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 4950 рублей.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [23]:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.5)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата в рублях;

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается [23]:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}, \quad (4.6)$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [23]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\partial}}, \quad (4.7)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

T_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	И
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники): -выходные/праздничные.	66	66
Отпуск/невыходы по болезни	56	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Исполнитель во время написания диплома ежемесячно получает вознаграждение в размере МРОТ 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- доплата за работу во вредных условиях труда;
- оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула [23]:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_3, \quad (4.8)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.; k_3 – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 35000 рублей. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
НР	35000	45500	2240	8	17920
И	13890	18057	863	63	54369
Итого $Z_{осн}$	72289 руб.				

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной

заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	НР	И
Основная зарплата	17920	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2688	8155
Зарплата исполнителя, руб.	20608	62524
Итого по статье С _{зп} , руб.	83132 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 20608 руб, а исполнителя – 62524 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 83132 рублей.

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [23]:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет 30,2%.

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,302$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 20608 = 6223 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда исполнителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 62524 = 18882 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и исполнителя, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 6223 руб., а для исполнителя 18882 рубля.

4.4.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров [23].

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей 1-6}), \quad (4.10)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = (25105 + 15000 + 204950 + 83132) \cdot 0,16 = 52510 \text{ руб.}$$

4.4.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательского проекта, приведенная в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
4950 руб.	15000 руб.	72289 руб.	10843 руб.	25105 руб.	114687 руб.	52510 руб.	167197 руб.

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 167197 рублей.

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.11)$$

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^b – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в таблице 4.19. В качестве аналога выступает использование плазменной переработки на предприятии ФГУП «ГХК».

Таблица 4.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1.Экономичность	0,15	4	3
2.Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
3. Закрытость получаемых данных	0,15	4	4
4. Доступность	0,1	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Затраты на разработку	0,2	4	3
Итого	1	4,25	3,65

$$I_p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,25;$$

$$I_a = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,65.$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле $I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}$, где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{\max} –

максимальная стоимость исполнения НТИ.

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{312572}{350000} = 0,89;$$

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_a}{\Phi_{\max}} = \frac{180000}{200000} = 0,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя

по формулам $I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p}$, $I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a}$:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,25}{0,89} = 4,77;$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,65}{0,9} = 4.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_p} \text{ (таблица 4.20).}$$

Таблица 4.20 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	4,25
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4	4,77
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1,12

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

4.6 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Выполнен SWOT-анализ проекта;

2. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации метода утилизации отходов водоподготовки;

3. Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта;

4. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 167197 руб.;

5. Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Портнову Леониду Игоревичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места на предмет возникновения:</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы);
<i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022); – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды</i>	– электробезопасность (причины, средства защиты); – пожаро-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
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Портнов Леонид Игоревич		

5 Социальная ответственность

Целью работы является теоретическое исследование процесса утилизации отходов водоподготовки «мокрого» хранилища ОЯТ в воздушно-плазменной среде. В работе проводится изучение утилизации воздушной плазме оксидных композиций.

Выполнение ВКР проводилось в отделении ядерно-топливного цикла (ОЯТЦ) Инженерной школы ядерных технологий (ИЯТШ) Томского политехнического университета. Для выполнения теоретической части ВКР в качестве рабочего места использовался компьютерный стол с персональной электронно-вычислительной машиной, соответствующее периферийное оборудование (монитор, клавиатура, мышь) и программное обеспечение (Microsoft Word, Microsoft Excel, TERRA). Расчеты проводились в аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ.

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, каждый работник имеет право на:

- 1) рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

2) обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

3) получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

4) отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;

5) обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

6) обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

7) личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

8) внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

9) гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [24].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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 [25].

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1 [26].

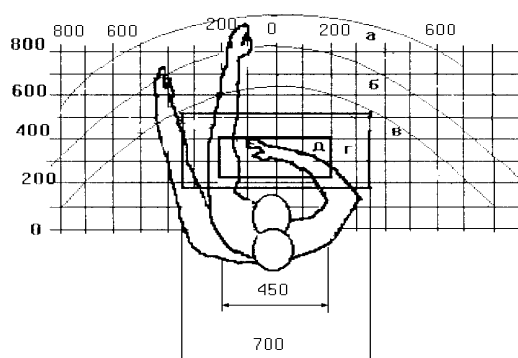


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

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 [26].

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 [26].

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 [26].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях [26].

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 [26].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ соблюдена компоновка рабочей зоны исследователя [26].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

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 опасные и вредные факторы в соответствии с проводимой работой в аудитории №001А.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы [25]

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [27]
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [28]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (от 28 января 2021 г. № 2) [25]
4. Превышение уровня шума	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [29]
5. Психофизиологические факторы	СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи : утв. Министерством юстиции Российской Федерации от 18.12.2020 № 61573 [26]
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [30]
7. Пожаровзрывоопасность	НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности [31].

На работника лаборатории, проводящего расчеты на ПЭВМ, могут воздействовать следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты, освещенность, наличие излучения;

– психофизиологические: физическая перегрузка (статическая,

динамическая), нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки) [25].

Биологические и химические вредные производственные факторы в аудитории №001А отсутствуют.

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м² [26].

5.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [27] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные параметры микроклимата в помещении

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию [27]. Параметры микроклимата, в используемой лаборатории № 001А–10

учебного корпуса ТПУ, регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура – 20-23 °С.

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. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [32]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$. Объем лаборатории составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad (5.1)$$

$$V = 6 \text{ м} \cdot 12 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 504 \text{ м}^3.$$

Данный вентилятор обеспечивает следующую кратность воздухообмена (BO) в лаборатории:

$$BO = \frac{Q}{V}, \quad (5.2)$$

$$BO = \frac{2400 \div 4400}{504} = 4,8 \div 8,7.$$

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой аудитории №001А корпуса № 10 ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [32].

5.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение

входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения [28].

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать допустимым уровням параметров электромагнитного поля (таблица 5.3) [28].

Таблица 5.3 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [28].

Таким образом установлено, что в лаборатории № 001А корпуса № 10 ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [28].

5.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

Согласно [25] в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном

нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда [25].

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина рабочего помещения $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно [25] необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь рабочего помещения:

$$S = A \cdot B, \quad (5.3)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 12 = 72 \text{ м}^2.$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50 \%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70 \%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

Выбираем светодиоды Varton 9w, световой поток которых равен $\Phi_{лд} = 2900$ Лм.

Выбираем светильники со светодиодами типа Diora LPO. Этот светильник имеет две светодиодные ленты мощностью 9 Вт каждая, длина светильника равна 1260 мм, ширина – 124 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для светодиодных светильников с защитным

рассеивателем лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (5.4)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухлентовых светильников Diora: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Из формулы

$$\Phi_l = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} \quad (5.6)$$

где E – минимальная нормированная освещенность; $K_3 = 1,5$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли; i – коэффициент использования светового потока; n – количество ламп в светильнике; Φ_l – световой поток одной лампы, находим число светодиодных лент N

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_l \cdot \eta} \quad (5.7)$$

η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 12}{2(6 + 12)} = 2. \quad (5.8)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для

светильников типа Diora со светодиодными лентами при $\rho_{\Pi} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$ и индексе помещения $i = 2$ равен $\eta = 0,52$.

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,52} = 23,6 \text{ лент.}$$

Принимаем количество светодиодных лент 12. При этом получается 6 светильников, т.е. 2 ряда по 3 светильника.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{23,6 \cdot 0,52} = 2904 \text{ Лм.}$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $\frac{L_1}{3}$,

L_2 и $\frac{L_2}{3}$ по следующим уравнениям:

$$6000 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 2 \cdot 124; L_1 = 3451 \text{ мм, } \frac{L_1}{3} = 1150 \text{ мм;} \quad (5.9)$$

$$6000 = 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 3 \cdot 1260; L_2 = 832 \text{ мм, } \frac{L_2}{3} = 277 \text{ мм;} \quad (5.10)$$

На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения светильников со светодиодными лентами лаборатории № 001А–10 корпуса ТПУ.

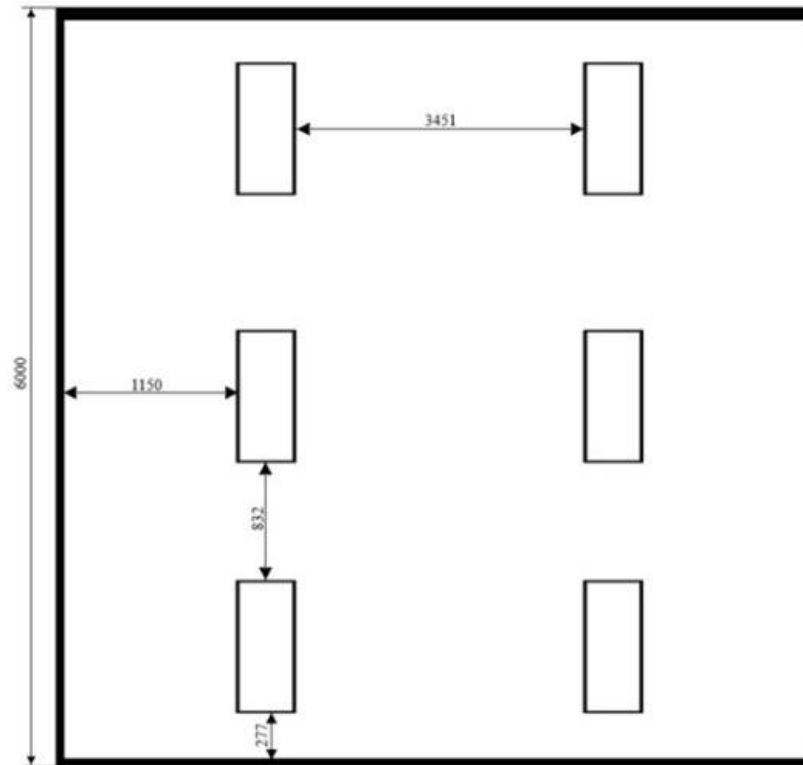


Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq \frac{(\Phi_{л\delta} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100 \% \leq 20 \% ; \quad (5.11)$$

$$\frac{(\Phi_{л\delta} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100 \% = \frac{(2904 - 2856)}{2904} \cdot 100 \% = 1,5 \%$$

Следовательно, необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 12 \cdot 9 = 108 \text{ Вт.}$$

Расчётное количество светильников соответствует установленным в помещении 001А–10 корпуса ТПУ.

5.2.6 Превышение уровня шума

Шум 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 [29]. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБА, что соответствует санитарным нормам [29]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБА, что также соответствует нормам.

Шум является общебиологическим раздражителем. Шум оказывает влияние на слуховой анализатор, действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

Выделяют следующие неблагоприятные воздействия шума на организм человека: снижение разборчивости речи; неприятные ощущения; развитие утомления; снижение производительности труда; появление шумовой патологии.

В таблице 5.4 приведены нормы уровня шума при различных видах работ [29].

Таблица 5.4 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБА), в полосах следующих октав (Гц)									
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ уровень шума не превышает 50 дБА [29].

5.2.7 Психофизиологические факторы

Трудовая деятельность работников непроизводственной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу [25].

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [25].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ нервно-психические перегрузки не возникают в связи с отсутствием монотонности труда [25].

5.2.8 Электробезопасность

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой [30].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки [30].

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды [25].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [30].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [30].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [30].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [30].

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 [30].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [30]:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [30].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

По электробезопасности аудитория № 001А корпуса № 10 ТПУ относится к 2 классу [30].

5.2.9 Пожарная и взрывная безопасность

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 [31]. Так как помещение лаборатории по степени пожаро-взрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [31]:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является этанол.

Все работы с ацетоном должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

Для тушения горящего ацетона применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29 % (по объему), азота – 43 % (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1 % (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену [31].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [31].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [31].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [25].

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 [33]:

- 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 [33]:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;
- принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Аварийные и чрезвычайные ситуации (АСиЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Рассмотрены аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

АСиЧС	Меры предотвращения АСиЧС	Меры по ликвидации последствий АСиЧС
Травмирование в результате падения с высоты	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Создание систем предупреждения падений; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи пострадавшему
Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи пострадавшему
Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112); Вызов скорой медицинской помощи Оказание первой помощи пострадавшему

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:

- микроклимат [25];
- шум [29];
- электромагнитное излучение [28];
- освещенность [25];
- психофизиологические факторы [25];
- электробезопасность [30];
- пожаро-взрывобезопасность [31, 33].

Помещение № 001А корпуса № 10 ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [30];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [31, 33].

Также рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Выводы

1. В ходе исследования были проанализированы различные методы утилизации отходов водоподготовки для «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива.

2. В рамках исследования были проведены расчеты показателей горючести различных вариантов таких композиций, включающих ОВП ХОЯТ и органический компонент (этанол, ацетон). В результате были определены композиции, которые максимально оптимальны по своему составу и имеют адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1500$ К.

3. В ходе проведения термодинамического расчета процесса плазменной утилизации композиции ВСОК, содержащей органические высокомолекулярные соединения ХОЯТ, был проанализирован широкий диапазон температур от 300 до 4000 К и массовые доли воздушного плазменного теплоносителя от 10% до 90%. Проведена оценка удельных энергозатрат на процесс утилизации и определены оптимальные условия для его проведения в воздушной плазме. Состав композиции ВСОК-2, используемой в качестве образца, составлял 72% ОВП ХОЯТ и 28% ацетона, массовое отношение фаз 73% воздуха и 27% ВСОК-2. Удельные энергозатраты на процесс плазменной утилизации составили 3,5 МДж/кг, при температуре $T = 1500 \pm 200$ К.

Список используемых источников

1. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) от 26 апреля 2010 г.
2. Никифоров А. С. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. / А.С. Никифоров, В.В. Куличенко, М.И. Жихарев. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Москвин Л. Н., Епимахов В. Н., Булыгин В. К. [и др]. А.с. РФ № 1679745 // Б.И. 1997. № 2.
4. Очистка воды бассейнов выдержки ОЯТ ионообменными смолами, модифицированными гексацианоферратами переходных металлов / В.Н. Епимахов, Л.Н. Москвин, В.В. Четвериков. // Радиохимия. – Т. 52, №6. – С. 513-513.
5. Переработка и кондиционирование РАО на АЭС для подготовки к окончательной изоляции. / М.Р. Стахив, Ф.М. Апаркин, С.Б. Хубецов [и др.]. // Международный атомный журнал «Безопасность ядерных технологий и окружающей среды», 2011. – №1. – С. 150-155.
6. Бекман И.Н. Ядерная индустрия : Курс лекций / И.Н. Бекман. – М.: МГУ им. МВ Ломоносова, 2005.
7. ИП-019-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности», от 25 июня 2015 г.
8. Князев О.А. Особенности структуры остеклованных радиоактивных отходов. / О.А. Князев, Б.С. Никонов, С.В. Стефановский // Перспективные материалы, 1996. – №6. – С. 92-98.
9. Технологические и организационные аспекты обращения радиоактивными отходами. МАГАТЭ, Вена 2008 г. Серия учебных курсов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27_R_web.pdf (Дата обращения 19.05.2023).

10. Куликов С.А. Низкотемпературная магний-калий-фосфатная матрица для иммобилизации радиоактивных отходов. / С.А. Куликов, С.Е. Виокуров // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т.30, №6. – С. 109-110.
11. Иноземцев С.В. Иммобилизация РАО в перовскитоподобную матрицу. / С.В. Иноземцев. – Томский политехнический университет, 2016.
12. Каренгин А.Г. Моделирование процесса плазменной утилизации жидких радиоактивных отходов / А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 2 (3). – С. 22–26.
13. Plasma Utilization of Liquid Radioactive Waste / A.G. Karengin, O.D. Shakhmatova, A.A. Karengin, [и др.]// The 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST–2012) : Proceedings of IFOST-2012. – Т. 2. – С. 440–443.
14. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива / В.А. Власов, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин А.А. и др. // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11/2. – С. 377–382.
15. Власов В.А. Оценка эффективности процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива / В.А. Власов, А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, № 4/2. – С. 91–96.
16. Исследование и оптимизация процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в воздушной плазме ВЧФ-разряда / В.А. Власов, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин и др. // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, № 11/3. – С. 205–210.
17. Андрюшин И.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом / И.А. Андрюшин, Ю.А. Юдин // – Саров, 1999. – 119 с.
18. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. / Ю.А. Пантелеев, А.М. Александрук, С.А. Никитина. // Л.: Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина, 2007. – Т. 12. – С. 124-147.

19. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. / В.В. Писаренко. – М.: Высшая школа, 1970.
20. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. / А.Г. Каренгин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.
21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение : учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев [и др.] : Томский политехнический университет. – Томск : НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
22. Кнышова, Е. Н. Экономика организации : учебник / Е.Н. Кнышова, Е.Е. Панфилова. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. – 335 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-8199-0696-5. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1911502> (дата обращения: 22.05.2023). – Режим доступа: по подписке.
23. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 192 с.
24. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 08.05.2023).
25. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (от 28 января 2021 г. № 2) // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.05.2023).
26. СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи : утв. Министерством юстиции Российской Федерации от 18.12.2020 № 61573 // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566085656> (дата обращения: 08.05.2023).

27. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений : утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21 // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 08.05.2023).
28. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> (дата обращения: 08.05.2023).
29. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 08.05.2023).
30. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 08.05.2023).
31. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051557> (дата обращения: 08.05.2023).
32. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Москва, 2004. – 60 с.
33. ГОСТ 12.1.044-2018 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 08.05.2023).

Приложение А

Investigation of the process of air-plasma disposal of waste water treatment for «wet» storage of spent nuclear fuel

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Портнов Леонид Игоревич		

Консультант лингвист Отделения иностранных языков ИЯТШ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Квашнина Ольга Сергеевна			

Designations and abbreviations

NFC - nuclear fuel cycle;

SNF - spent nuclear fuel;

RW - radioactive waste;

WFW SNF - water treatment waste for the «wet» storage of spent nuclear fuel;

WSOC - water-salt-organic composition;

VHF-plasma torch - high-frequency torch plasma torch;

FE - fuel element;

SFA - spent fuel assemblies;

NPP - nuclear power plant;

LRW - liquid radioactive waste.

Introduction

Spent nuclear fuel (SNF) is generated as a result of the operation cycle of a nuclear power plant reactor. SNF includes unburned ^{235}U , other uranium isotopes and transuranium elements, as well as activated structural materials. SNF fuel assemblies contain radioactive elements and continue to release heat for a long time.

For temporary storage of SNF, a special spent fuel pool filled with water is used. In this basin, the fuel assemblies are cooled and temporarily stored before being sent for processing or disposal.

In the process of SNF storage, it is necessary to ensure safety and protection of the environment from radioactive contamination. To do this, special technologies and safety measures are used to minimize risks to people and the environment.

SNF reprocessing is also an important stage in the operation of nuclear power plants. In the process of reprocessing, valuable resources are extracted from spent nuclear fuel and radioactive waste is neutralized. This makes it possible to reduce the radiation load on the environment and increase the efficiency of nuclear energy use.

The pool water is an integral part of the spent nuclear fuel element (SNF) storage process. It not only protects against radiation, but also takes on the removal of heat. Thus, water becomes an important element in maintaining the safety of SNF storage.

During long-term storage, the activity of SNF can decrease up to 50 times due to the decay of short-lived radionuclides. But besides this, the process of SNF storage is accompanied by other problems. Thus, fuel elements in which SNF is stored can be exposed to nuclear radiation and acquire cracks. And this, in turn, can lead to SNF leaks.

To avoid such situations, water treatment measures are taken. They allow the extraction of SNF from the pulp (a mixture of water and SNF). Ultimately, proper water treatment is not only a guarantee of safety, but also allows more efficient use of the SNF storage process.

When searching for effective methods of water purification from dissolved metals, ion exchangers are traditionally used today. These resins replace the radioactive ions with the ions contained in the ion exchange resin. However, to obtain organic nuclear toxins from the ion-exchange resin, its regeneration is required, which leads to a multi-stage and high energy consumption.

In addition, immobilization of the hydroxyl pulp in cement or bitumen is used, vitrification is used to immobilize the hydroxide pulp, and the hydroxide pulp is included in mineral matrix materials.

In this work, it is proposed to use a more efficient method - one-stage plasma processing of WFW SNF. It allows you to quickly and effectively purify water from metals without the need to regenerate the ion exchange resin.

Plasma processing WFW SNF is a process based on the use of plasma passing through a system of reactors. In this case, the oxidation of metals occurs, which allows you to quickly purify water from dangerous impurities. The use of this method has a number of advantages: it is cost-effective, with the right raw materials, significantly reduces the amount of resources used and energy costs.

Thus, the use of WFW SNF plasma processing can become a more efficient and environmentally friendly method of water purification from metals than traditional sorption methods.

1 Ion-exchange resins in handling medium-level radioactive waste

1.1 Pulp characterization

Hydroxide slurry is one of the most common industrial wastes. It consists mainly of particles smaller than 0.08 mm, which make up 88% of the total volume. The largest sediment particles do not exceed 1.2 mm.

Hydroxide pulp contains calcium, sodium, magnesium and iron hydroxides, which are the main components of this waste. However, in addition to these elements, the pulp also contains radionuclides ^{60}Co , ^{137}Cs and ^{154}Eu , which affect its activity.

The total activity of γ -emitting radionuclides in the hydroxide pulp is $1.0\cdot 10^5$ kBq/sc. The pulp in this case refers to medium-level radioactive waste [1].

Physical properties of hydroxide pulp:

- density 1163 kg/m^3 ;
- kinematic viscosity $1.8 \text{ mm}^2/\text{s}$;
- conditional viscosity 1.08°VU .

The chemical composition of the hydroxide slurry per kilogram of dry sludge is presented in Table 1.2.

Table 1.2 - Granulometric composition of the hydroxide pulp.

Component	Content, g/kg
Ca	314
Already	24
Mg	20.3
Fe	14.5
And	1.7
Al	1.5
In	0.58
Mn	0.52
Cu	0.06

The granulometric composition of the hydroxide pulp is presented in Table 1.3.

Table 1.3 - Granulometric composition of the hydroxide pulp.

Fraction size, mm	Fraction content, %
1,2	0
1.0 – 1.2	0.05
0.8 – 1	0.14
0.5 – 0.8	0.38
0.35 – 1.5	1.16
0.25 – 0.35	1.32
0.1 – 0.25	5.81
0.08 – 0.1	2.04
< 0.08	88.14

1.2 Use of ion exchange resins in medium activity pulp handling

The need to increase the efficiency of water treatment from radionuclides arose under the worst-case scenario for the operation of spent fuel pools, when the

tightness of canisters for storing defective SFAs from transport NPPs was broken. The total volumetric activity of water in the basin, determined mainly by ^{137}Cs , reached $8.5 \cdot 10^8$ Bq/l. The ^{90}Sr content did not exceed 20% of the cesium content. ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{85}Kr , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{144}Ce , $^{152.154.155}\text{Eu}$, $^{235.238}\text{U}$, $^{238.239}\text{Pu}$ were also present in smaller amounts.

At the first stage of the stabilization of the situation, the possibilities of recirculating water purification were considered with the standard loading of ion-exchange filters with a mixture of cation exchanger KU-2-8 chS and anion exchanger AV-17-8 chS. Such treatment ensured a decrease in the total volumetric activity of water in the pool to $3.0 \cdot 10^5$ Bq/l, and salt content - to 2–4 mg/l from the initial 400 mg/l. During the operation of such water treatment, it was found that at a high salinity of water, the efficiency of its purification from ^{137}Cs drops sharply with time. Monitoring the dose rate of γ -radiation from the filters and radiochemical analysis of the water in the pool showed that after passing water in a volume of about 100 internal volumes of the filter, ^{137}Cs slipped through the filter.

The observed effect is a natural consequence of the low dynamic exchange capacity of the cationite filter load for ^{137}Cs at a high concentration of sodium salts in water, leading to the conversion of the cationite into the Na^+ form. At the same time, the coefficient of water purification from ^{90}Sr on the cation exchanger is 10^4 at a salt content of up to 0.7 g/l [2].

The solution to the problem was a special technology for modifying ion-exchange resins with hexacyanoferrates [3]. The essence of this technology lies in the processing of a mixed charge of an anion exchanger in the OH^- form and a cation exchanger in the H^+ form successively with solutions of potassium hexacyanoferrate and nickel sulfate to convert them into the form of mixed nickel potassium hexacyanoferrate. The sorption capacity of the filter materials obtained after such treatment with respect to Cs is significantly higher than that of mixtures of ion exchangers previously treated separately with the same solutions under the same conditions. When choosing the composition and ratio of ingredients for loading sorption purification filters for technological tests, we proceeded from the following

prerequisites: water purification by a filter should be the most effective in terms of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides and practically independent of salinity [4].

The modified sorbents obtained by the proposed technology meet this condition only in terms of the extraction of ^{137}Cs , and for the subsequent desalination and extraction of ^{90}Sr , the KU-2 cation exchanger in the H^+ form is used.

2 Hydroxide slurry handling methods

Conditioning is one of the methods for the safe storage of radioactive waste. It includes a series of operations that make it possible to turn radioactive waste into a form that has not only chemical, but also thermal and radiation resistance. This allows you to maintain the stability of waste during their movement, transportation, storage and disposal.

One such operation is immobilization, which involves converting the waste into a solid form by solidifying it, incorporating it into a matrix, or encapsulating it in hermetic envelopes. Despite the fact that radioactive waste conditioning is a rather complicated process, it is one of the most effective ways to ensure safety when working with radioactive materials.

The choice of a matrix material for RW immobilization is a complex process that depends on many factors. The main factors are the characteristics and properties of the waste, which must be considered when choosing a conditioning method. It is important that the binder material has high insulating properties and resistance to leaching. This ensures safety and minimizes the risk of environmental pollution.

Studying the properties and characteristics of each of these materials, as well as their compatibility with specific types of waste, allows you to determine the most effective and safe method of conditioning.

2.1 Immobilization of hydroxide pulp in cement

It is not always enough to simply include the waste in the cement block. Chemical additives are often used to control the cementing process and control the properties of the compound. They are one of the most versatile, affordable and

flexible ways. With their help, it is possible to effectively control the process of pulp conditioning [5].

Before cementing the pulp, it is necessary to optimize the composition of the binder mixture. Chemical additives are used to control the properties of the cement slurry, such as plasticizing, stabilizing, and water-retaining. They can regulate the setting and hardening, the density and porosity of the cement compound, and give it special properties such as frost resistance, radiation resistance and an increased degree of radionuclide binding.

As a rule, the optimization of the composition of the binder mixture in pulp cementing is associated with the choice of the correct chemical additives and determining their amount. In this case, it is necessary to take into account how the additives interact with each other and with other components of the mixture.

It is important to choose the right chemical additive that provides the desired effect. For example, plasticizers can improve the flowability of a cement slurry, making it easier to apply and less likely to crack. And water-retaining additives will increase the setting time and improve the degree of binding of the cement slurry components.

When choosing a LRW cementing method, the availability and low cost of process equipment and matrix materials are often decisive factors. In such cases, cementing technologies are characterized by relative simplicity. At the same time, the performance of the process leaves much to be desired. The degree of LRW filling of the cement matrix does not exceed 10-25%, which in turn leads to significant costs in the construction and operation of RW storage facilities.

Along with the cementing method, there is another available method of LRW disposal - this is the bituminization method.

2.2 Immobilization of hydroxide pulp in bitumen

Bituminization allows the use of cheap raw materials and does not require additional costs to increase the volume of waste. The resulting compounds used in this method do not have high mechanical strength and may have an increased fire

hazard due to the ignition temperature of bitumen, which reaches 400°C. In this regard, the cost of ensuring the storage conditions of the final product can be quite high [6].

In order to reduce the possible risks associated with the use of this method, it is necessary to strictly control the storage conditions of materials used for vitrification. This may include controlling temperature, humidity, and other parameters that may affect the quality of the final product.

You can use other methods of immobilization, which have a higher mechanical strength and less fire hazard. For example, the polymerization method may be more efficient in some cases.

2.3 Use of vitrification technology to immobilize the hydroxide slurry

Vitrification can process a wide range of liquid and solid radioactive waste. The composition of vitrified radioactive waste differs significantly from the composition of matrix glasses, and this is due to a different ratio of components. The question of the quantitative ratio of waste and matrix glass does not have an unambiguous solution, since an increase in the amount of radioactive waste in glasses can improve economic performance, but negatively affect the specific activity, heat release, as well as the chemical resistance and long-term stability of the glass. In this regard, the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision established restrictions on the content of nuclides and transuranium elements in the glass-like compound. [7]

In modern technologies, the content of radioactive waste in glasses is usually from 10 to 30 wt.%, as indicated in [8]. It should be borne in mind that at high temperatures (more than 350 ° C), the distillation residue or salt melt can cause the decomposition of sodium and potassium nitrates. Heating to 700–800°C will lead to the sublimation of alkali oxides (Na⁺, K⁺ and Cs⁺), so a powerful gas cleaning system is required [9]. In addition, the methods of cementing, bituminization and vitrification of radioactive waste do not satisfy the principle of phase-chemical

correspondence between the matrix of radioactive waste and the geological formation in which they should be placed.

2.4 Air-plasma disposal of water treatment waste

At present, it is necessary to solve the issue of increasing the efficiency of waste processing. One of the promising solutions may be the processing of LOP SNF in the form of water-organic nitrate solutions (BONS) containing organic components. This technology allows to significantly reduce energy costs at the stage of air-plasma utilization, reducing them to 0.1 MWh/t.

One of the methods for obtaining powders of metal oxides is the use of the process of air-plasma immobilization of OP SNF from BORR solutions. This approach allows not only to solve the problem of waste processing, but also to reduce the number of repetitive operations, capacitive equipment, the cost of chemical reagents, as well as energy and labor costs.

The proposed process of direct air-plasma immobilization of waste from nuclear fuel production is a promising method for the disposal of their safe fixation. It has prospects for application in various industries such as metallurgy, electronics, chemical industry and others. The use of this process helps to significantly reduce the impact of waste on the environment and improve the environmental situation. In addition, this method may have greater efficiency and economic benefits compared to other existing methods of waste processing.

To obtain powders of simple and complex metal oxides from BORR solutions containing a combustible organic component (ethanol, acetone), it is proposed to use the process of direct air-plasma immobilization of SNF OP. This will make it possible to significantly reduce the cost of reprocessing SNF LRP by reducing the number of conversion operations, the volume of capacitive equipment, the cost of chemical reagents, energy and labor costs. [12-16].

2.5 Incorporation of hydroxide slurry into mineral matrix materials

To solve the problem of radioactive waste disposal, it is necessary to choose natural minerals that have a large isomorphic capacity and can concentrate heavy and radioactive elements. Such minerals include zirconite, zirconolite, perovskite, yttrium aluminum garnet, britholite, monazite, and pyrochlore.

It is important to note that the choice of materials for the matrix must comply with the principle of phase-chemical matching for a particular geological formation. This will ensure efficient and safe waste disposal.

In addition, when determining suitable materials, their resistance to heavy and radioactive elements must be taken into account. After all, it is precisely due to this stability that minerals will be able to maintain the concentration of radioactive waste at a high level, which will make it possible to avoid their external impact.

Thus, the choice of natural minerals for radioactive waste disposal is a complex task, and many factors must be taken into account in order to ensure maximum safety and efficiency of this process.

A distinctive feature of the ceramic mold is the possibility of using the crystal lattice of ceramic phases to include cations of long-lived radionuclides. This is achieved by displacing solvent ions, which makes the material similar to natural minerals. Ceramic products consist of a mixture of solid solutions based on titanates and zirconates and have a really high resistance to leaching processes.

Moreover, ceramic matrices have great strength and durability, making them an excellent material for the production of nuclear fuel cells and waste. And the use of such materials in nuclear installations contributes to the safer management of radioactive waste and increases the efficiency of nuclear power plants.

When radioactive waste is buried in salt formations, it is possible to use the principle of phase-chemical correspondence between the geological environment of the burial and matrices from the magnesian mineral-salt composition. This makes it possible to more reliably and safely bury radioactive waste, since salt is an effective barrier to the spread of radioactive substances.

The magnesian mineral-salt composition is more accessible for production and does not require a complex technological scheme, which makes it possible to reduce costs. Magnesium-mineral-salt composition is a universal solution for neutralization of liquid radioactive waste (LRW). LRW immobilization is one of the most effective applications of this composition. At the same time, salt LRW is not just an additional liquid, but a necessary component in the preparation of a compound with waste. This contributes to a significant increase in the degree of filling and a decrease in the volume of neutralization.

Obtaining matrices with a mineral-like structure requires the development of processes and appropriate equipment, which at the moment is much less developed than other conditioning methods. However, this approach may lead to new opportunities and benefits in the field of waste management.

3 Practical part

3.1 Calculation of flammability indices of water-salt-organic compositions based on WFW SNF

The SNF obtained after regeneration of WFW ion-exchange resins in the form of an aqueous pulp from metal salts have the following elemental composition [17, 18]: H₂O – 62.284%, Ca – 31.4%, Pu – 0.00032%, Na – 2.4%, Mg - 2.03%, Fe - 1.45%, Si - 0.017%, Si - 0.017%, Al - 0.015%, Ni - 0.058%, Mn - 0.0052%, Cu - 0.006%.

The organic component chosen by us (acetone) has the following parameters: $Q_{sn} = 31.54$ MJ/kg; $T_{flashes} = 254$ °C; $T_{Self-ignition} = 738$ °C, and ethanol: $Q_{sn} = 26.8$ MJ/kg; $T_{flashes} = 285$ °C; $T_{Self-ignition} = 619$ °C [19].

The net calorific value of the water-salt-organic composition, including WFW SNF and an organic component, was determined by the equation [20]:

$$Q_h^p = \frac{(100 - W - A)Q_h^c}{100} - \frac{2.5W}{100}, \quad (3.1)$$

where Q_h^c is the net calorific value of the organic component in the water-salt organic composition, kJ/kg; W and A are the mass fraction of water and non-combustible components in the composition, respectively, %; 2.5 is the value of the latent heat of water evaporation at 273 K, kJ/kg.

A more objective indicator of the combustibility of a water-salt-organic composition is the adiabatic combustion temperature (T_{ad}), which was estimated by the formula [20]:

$$T_{ad} = \frac{(100 - v_{ok})Q_h^p + v_{ok}C_{ok}t_{ok}}{100v}, \quad (3.2)$$

where v_{ok} is the mass fraction of the oxidizing agent (air), %; Juice is the heat capacity of the oxidizer, kJ/(kg·K); t_{ok} is the temperature of the oxidizer, K; v is the specific equilibrium heat capacity of the products of plasma utilization of the HSFA composition, kJ/(kg·K).

The calculation of Q_1 of various water-salt-organic compositions based on WFW SNF has been carried out and the compositionally optimal HQAS having T_{ad}

about 1500 K and ensuring their energy-efficient utilization in air plasma have been determined:

1. Composition of WSOK-1: (65% WFW SNF: 35% Ethanol).
2. Composition VSOK-2: (72% WFW SNF : 28% Acetone)

3.2 Thermodynamic calculation of the WFW SNF air-plasma disposal process

Using the TERRA licensed program, thermodynamic calculations of the equilibrium compositions of the utilization products in the WFW SNF air plasma in the form of VSOK-1 and VSOK-2 compositions were carried out.

The calculation results are shown in Figures 3.1 and 3.2, as well as in Figures 3.3 and 3.4.

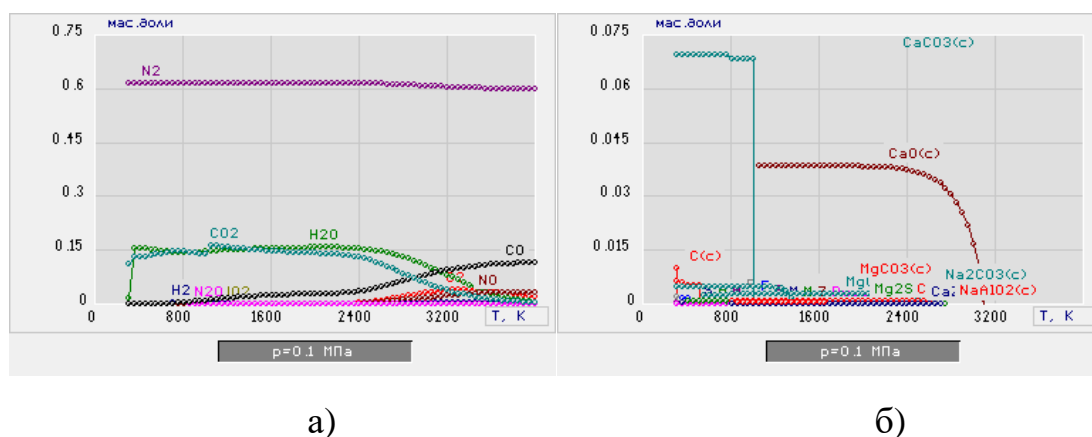
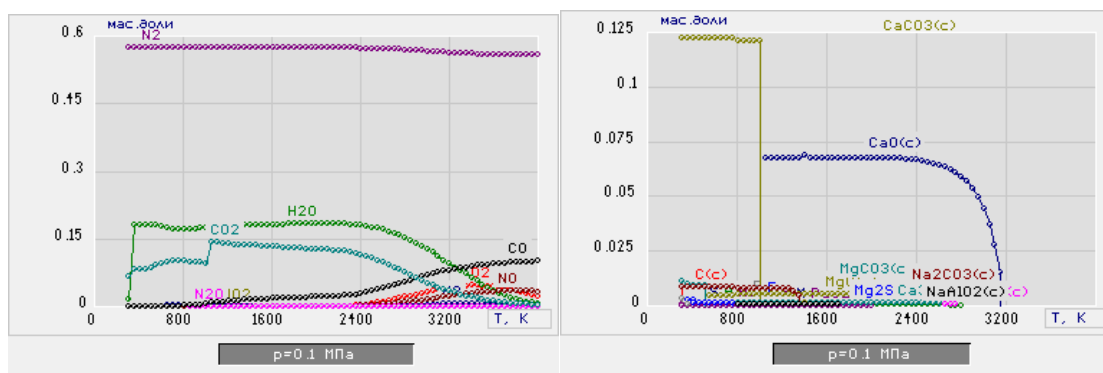


Figure 3.1 - The effect of temperature on the equilibrium composition of the utilization products in air plasma WFW SNF in the form of a composition of VSOK-1 (based on ethanol) at a mass fraction of air of 75%.

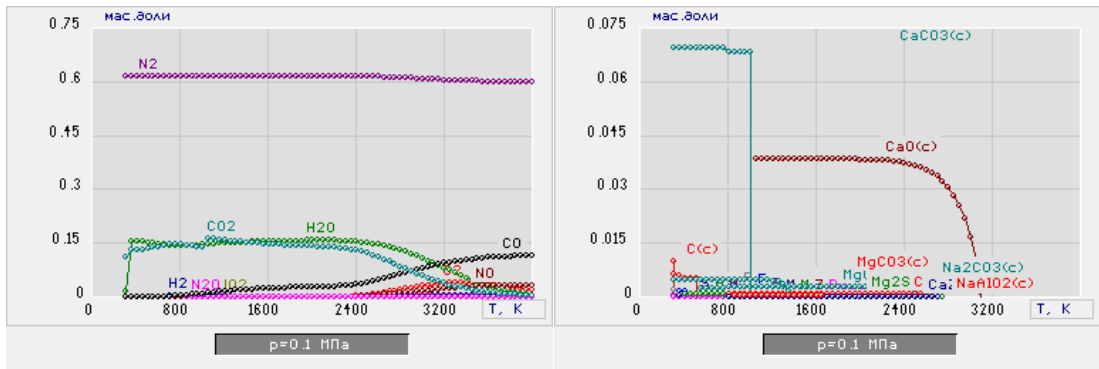


a)

б)

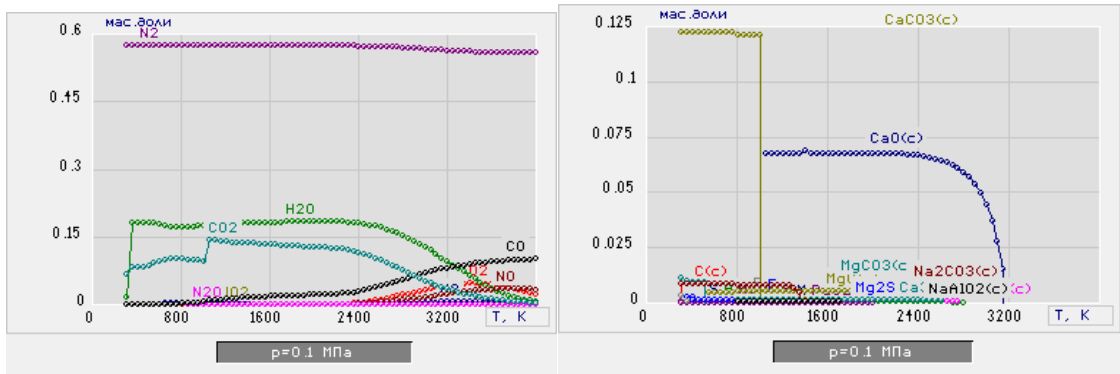
Figure 3.2 - The effect of temperature on the equilibrium composition of the utilization products in air plasma WFW SNF in the form of a composition of VSOK-1 (based on ethanol) at a mass fraction of air of 76%.

From the analysis of the graphs in Figure 3.1, it follows that at a mass fraction of air (75%) and temperatures up to 1600 K, the main products in the gas phase are N_2 , H_2O and CO_2 (Figure 3.1a), and in the condensed phase (Figure 3.1b) - in mainly simple and complex metal oxides, including $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$, etc., as well as carbon in the condensed phase $C(c)$. With an increase in the mass fraction of air from 75% to 76% (Figure 3.2), it follows that at temperatures up to 1600 K, the main products in the gas phase are also N_2 , H_2O and CO_2 (Figure 3.2a), and in the condensed phase (Figure 3.2b) are simple and complex metal oxides, including $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$, etc., but without the formation of carbon in the condensed phase $C(c)$.



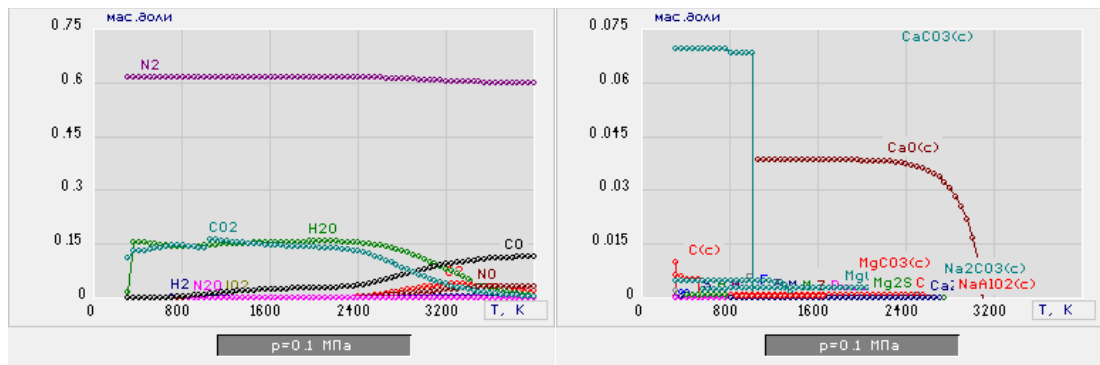
a) b)

Figure 3.3 - The effect of temperature on the equilibrium composition of the utilization products in air plasma WFW SNF in the form of a composition of VSOK-2 (based on acetone) at a mass fraction of air of 70%.



a) b)

Figure 3.4 - The effect of temperature on the equilibrium composition of the utilization products in air plasma WFW SNF in the form of a composition of VSOK-2 (based on acetone) at a mass fraction of air of 72%.



a) b)

Figure 3.5 - The effect of temperature on the equilibrium composition of the utilization products in air plasma WFW SNF in the form of a composition of VSOK-2 (based on acetone) at a mass fraction of air of 73%.

From Figures 3.3a and 3.4 it follows that at a mass fraction of air, starting from 70% and increasing to 73%, and temperatures up to 1600 K, the main products in the gas phase are N_2 , H_2O and CO_2 . And the main products in the condensed phase (Figures 3.3b and 3.4b) are simple and complex metal oxides, such as $CaO(c)$, $CaCO_3(c)$, $MgCO_3(c)$ and others. In addition, carbon is present in the condensed phase ($C(c)$).

After the study, it was found that the formation of carbon in the compressed state $C(c)$ is not a prerequisite. For the practical implementation of the process, you can follow the recommendations on the parameters:

- use of the VSOK-2 composition in combination with 72% ORP of ISF and 28% of Acetone;
- mass ratio of phases Air : VSOK-2 is 73% : 27%;
- work at temperature $T = 1500 \pm 200$ K;
- the average cost of specific energy for the process is about 3.5 MJ/kg.