



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
<b>Воздушно-плазменная утилизация рафинатов после переработки отработавшего ядерного топлива</b>

УДК 621.039.59:621.039.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ11	Василенко Александр Сергеевич		

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)
<b>Универсальные</b>	
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
<b>Общепрофессиональные</b>	
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
<b>Профессиональные</b>	
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	Василенко Александру Сергеевичу

Тема работы:

Воздушно-плазменная утилизация рафинатов после переработки отработавшего ядерного топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 27-77/С от 27.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

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

<b>Перечень графического материала</b>	<p>Графики:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Печи ИПХТ с боковым выпуском расплава в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»</li> <li>2. Печи ИПХТ с боковым сливом расплава</li> <li>3. Технологическая схема плазменного газификатора фирмы «Thermoselect»</li> <li>4. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 73%</li> <li>5. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 74%</li> <li>6. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 75%</li> <li>7. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 70%</li> <li>8. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 71%</li> <li>9. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 73%</li> </ol>
--	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
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.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	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	Василенко Александр Сергеевич		

**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: 98 страницы, 26 таблицы, 11 рисунков, 37 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: ВАО, отработавшее ядерное топливо, НОП ОЯТ, плазменная утилизация, переработка ОЯТ.

Объектом исследования является процесс плазменной утилизации неорганических отходов (рафинатов) после переработки отработавшего ядерного топлива (НОП ОЯТ).

Цель работы – Оценка эффективности утилизации в воздушной плазме неорганических отходов переработки ОЯТ.

Актуальность: Россия первой в мире приступила к созданию замкнутого ЯТЦ, который предусматривает поставку с АЭС отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его переработку и извлечение  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$ , производство на их основе МОКС-топлива и его поставку на АЭС. В процессе переработки ОЯТ образуются неорганические отходы переработки ОЯТ в виде водных нитратных растворов металлов, включающих продукты деления  $^{235}\text{U}$  и конструкционные материалы, эффективных технологий переработки которых до сих пор нет.

## Содержание

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	11
1 Традиционные способы обращения с ВАО.....	12
1.1 Использование технологии остекловывания ВАО.....	12
1.2 Основные технические решения плавителей ИПХТ.....	14
1.3 Химико-технологические проблемы при остекловывании жидких ВАО .....	17
2 Воздушно-плазменная утилизация РАО.....	19
2.1 Плазменная переработка .....	19
2.2 Экологические аспекты переработки РАО .....	24
3 Практическая часть .....	27
3.1 Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов .....	27
3.2 Термодинамический расчет процесса плазменной утилизации НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР .....	28
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 34	
4.1 Предпроектный анализ.....	35
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	35
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	36
4.1.3 SWOT-анализ .....	37
4.2 Инициация проекта .....	41
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	44
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	44
4.3.2 Контрольные события проекта.....	44

4.4	Бюджет научного исследования .....	47
4.4.1	Расчет материальных затрат .....	47
4.4.2	Расчет амортизации оборудования .....	48
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	49
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	52
4.4.5	Накладные расходы .....	53
4.4.6	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	53
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	54
4.6	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	56
5	Социальная ответственность .....	58
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	58
5.1.1	Правовые нормы трудового законодательства.....	58
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	59
5.2	Производственная безопасность .....	61
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	61
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов .....	63
5.2.3	Отклонение показателей микроклимата.....	63
5.2.4	Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	64
5.2.5	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	65
5.2.6	Превышение уровня шума .....	69
5.2.7	Психофизиологические факторы .....	71



5.2.8 Электробезопасность.....	71
5.2.9 Пожарная и взрывная безопасность.....	73
5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	76
5.4 Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	77
Выводы .....	78
Список используемых источников.....	79
Приложение А .....	84

## **Обозначения и сокращения**

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ВАО – высокоактивные отходы;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

РАО – радиоактивные отходы;

НОП ОЯТ – неорганические отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

ВОНР – водно-органический нитратный раствор;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ПД – продукты деления;

ИПХТ – индукционная плавка в холодном тигле.

## **Введение**

В настоящее время одними из наиболее актуальных проблем ядерной энергетики являются иммобилизация высокоактивных отходов и безопасность ядерных энергетических установок - ядерных реакторов. Эти направления ядерной энергетики на современном этапе всё больше связываются с использованием различных электротехнологических методов обработки радиоактивных материалов и их имитаторов [1,2]. Существующие традиционные технологии не решают многих задач, особенно, связанных с достаточным сроком службы плавильных устройств электротехнологических агрегатов. В этой связи применение метода индукционной плавки в холодных тиглях (ИПХТ) решает эту проблему, поскольку используется бесконтактный подвод энергии к расплавляемому материалу, и гарнисажные условия плавления, обеспечивающие долговременное удержание расплава в тигле для осуществления различных технологий с расплавом.

Условия плавления радиоактивных материалов не позволяют проводить ИПХТ материалов в обычных условиях, принятых для электротехнологических установок. Данные процессы должны проводиться без участия человека, то есть на достаточно большом расстоянии с дистанционным управлением и обслуживанием. Это накладывает существенные особые требования к конструкциям печей ИПХТ и к системам автоматизированного контроля и управления процессом.

Не смотря на кажущуюся простоту реализации остекловывания ВАО, такой способ имеет ряд недостатков. Основным, из которых, является недолговечность стекла в связи с постоянным воздействием на него радиационного излучения. Альтернативным способом переработки ВАО в виде НОП ОЯТ является воздушно-плазменная утилизация.

## **1 Традиционные способы обращения с ВАО**

Существует классификация РАО по степени активности. Для твердых отходов различают четыре вида: очень низкоактивные; низкоактивные; среднеактивные; высокоактивные. Для жидких отходов различают три вида: низкоактивные; среднеактивные; высокоактивные.

Одним из критериев такой классификации является тепловыделение. У низкоактивных РАО тепловыделение чрезвычайно мало. У среднеактивных оно существенно, но активный отвод тепла не требуется. У высокоактивных РАО тепловыделение настолько велико, что они требуют активного охлаждения.

### **1.1 Использование технологии остекловывания ВАО**

Эффективным методом утилизации отходов является остекловывание. Такой метод позволяет перерабатывать разнообразные жидкие и твердые РАО. В результате данного процесса образуются стеклокристаллические матричные и стеклоподобные материалы. В процессе остекловывания необходимо добавить оксиды в виде кальцинированного порошка или шлама к стеклообразующим материалам. После этого происходит плавление полученной смеси при температуре 1300-1500°С для образования гомогенной структуры [3, 4].

При выборе компонентов для каждого состава жидких опасных отходов, подбирается соответствующий состав, обеспечивающий необходимые свойства расплава и конечного продукта согласно заданным характеристикам.

Главным преимуществом остекловывания является отсутствие выделения вредных веществ в окружающую среду. Кроме того, стеклоподобные материалы, полученные в результате этого процесса, обладают высокими механическими свойствами и устойчивостью к агрессивным средам. Таким образом, остекловывание является экологически безопасным и технологически эффективным методом утилизации отходов.

Стоит отметить, что стеклоподобные материалы, содержащие радиоактивные отходы, имеют существенные отличия от обычного матричного стекла по составу и соотношению компонентов. Остается неоднозначным, какое количество матричного стекла и радиоактивных отходов должно быть включено в состав стеклоподобного компаунда.

Увеличение количества радиоактивных отходов может способствовать повышению экономических показателей, но оно влечет за собой увеличение удельной активности, тепловыделения и уменьшение химической устойчивости и долговременной стабильности стекла. В связи с этим, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору были установлены ограничения на использование радиоактивных нуклидов и трансурановых элементов в составе стеклоподобных материалов [5].

В научных кругах активно обсуждается оптимальное содержание радиоактивных отходов в стеклоподобных компаундах с целью минимизации затрат на их утилизацию. Существует разногласия в подходе, какое количество радиоактивных отходов является оптимальным. Таким образом, выделяю две крайние проблемы: чем больше содержание радиоактивных отходов, тем меньше затраты на утилизацию; существует угроза серьезных проблем эксплуатации и утилизации стеклоподобных материалов при таком подходе.

Существует множество методов для определения этого соотношения, которые основаны на анализе химических и физических свойств стекла, а также на мониторинге уровня радиоактивности и тепловыделения.

Согласно проведенным исследованиям, в современных технологиях содержание радиоактивных отходов в стеклах может колебаться в пределах от 10 до 30 масс. %. Методы цементирования, битумирования и остекловывания РАО не всегда соответствуют принципу фазово-химического соответствия между матрицей РАО и вмещающей геологической формацией. Это означает, что необходимо учитывать и другие факторы, такие как возможность

миграции радиоактивных веществ и их воздействие на окружающую среду при выборе метода переработки радиоактивных отходов.

Разработка новых методов, удовлетворяющих принципу фазово-химического соответствия и обеспечивающих безопасное хранение РАО на долгое время, является необходимой задачей. Перспективным методом является использование геоматериалов, таких как глины и сланцы, обладающие высокой способностью связывать радионуклиды и устойчивостью к внешним воздействиям. Разработка и применение таких материалов позволит уменьшить риск возникновения экологических проблем и повысить уровень безопасности при хранении РАО.

## **1.2 Основные технические решения плавителей ИПХТ**

Для остекловывания РАО плавители используют несколько характерных особенностей, которые необходимо учитывать. Во-первых, для обеспечения высокой производительности плавки упаренных ВАО при ограниченной улетами радионуклидов температуре варки стекломассы, необходимо использовать тигель больших размеров. Во-вторых, для создания плавителя выбираются материалы, которые смогут длительное время противостоять воздействию материалов отходов, поэтому в основном используют нержавеющую аустенитную сталь и другие химически стойкие прочные металлы.

С другой стороны, помимо этих ключевых характеристик, существуют и другие факторы, которые необходимо учитывать при проектировании плавителя. Например, необходимо выбрать материалы и конструкционные особенности, которые обеспечат эффективную изоляцию радиоактивных материалов и защиту персонала, работающего с плавителем.

Кроме того, при создании плавителей для остекловывания РАО решается вопрос о дальнейшей обработке радиоактивных отходов. В частности, плавители могут быть спроектированы таким образом, чтобы

обеспечить возможность дальнейшей утилизации отходов, например, путем их переработки в твердые блоки или гранулы.

Таким образом, при создании плавителей для остекловывания РАО необходимо учитывать множество факторов, включая производительность, химическую стойкость материалов, эффективность изоляции и возможность дальнейшей обработки отходов, чтобы обеспечить безопасность персонала и окружающей среды.

Развитие современных плавителей для остекловывания ВАО происходило по разным направлениям. Одним из таких направлений было создание конструкции плавителя, которая легко удалялась при ремонте или утилизации и могла быть отмыта от радиоактивных загрязнений. Это позволяло избежать опасного воздействия на окружающую среду и обеспечивало безопасность работников.

Еще одним важным элементом в конструкции плавителя было устройство для слива наработанной стекломассы из холодного тигля. В некоторых случаях это устройство предусматривало полное опорожнение тигля. Это было необходимо для обеспечения бесперебойной работы установки и предотвращения накопления отработанной стекломассы внутри плавителя.

На рисунке 1.1 можно увидеть несколько установок с боковым сливом расплава из тигля, разработанных в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в разное время [6, 7]. В этих конструкциях общим элементом является наличие бокового слива наработанной стекломассы между витками индуктора. Это обеспечивало более эффективный процесс плавления и удобство обслуживания установки.

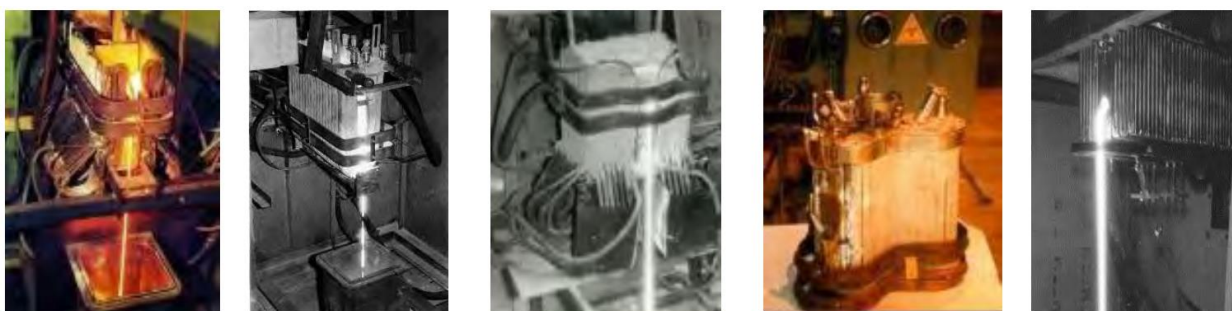


Рисунок 1.1 – Печи ИПХТ с боковым выпуском расплава в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Для обеспечения надежного отвода стекломассы через холодное сливное устройство необходимо нагреть расплав перед сливным устройством. Некоторые из устройств используют поле того же индуктора, который нагревает основную ванну расплава. Рисунок 1.2 демонстрирует разные варианты цилиндрических печей ИПХТ, где сливная зона вынесена для бокового отвода расплава (ВНИИНМ, ПО «МАЯК», Радиевый Институт).



Рисунок 1.2 – Печи ИПХТ с боковым сливом расплава

В современных условиях конструкции тиглей не могут оставаться устаревшими. Они разработаны еще в 80-х годах прошлого века организациями ЛЭТИ, ВНИИНМ и МосНПО Радон в СССР. Однако, такие конструкции имеют недостатки.

Первым из них является появление больших кольцевых токов, вызываемых цельносварным коллектором. Это размагничивает поле



индуктора, снижает коэффициент мощности и приводит к большим потерям энергии.

Второй недостаток заключается в появлении шунтирующих токов через электропроводный гарнисаж и электропроводный плав, вызывающих преждевременное износ зеркала расплава. Это существенно сокращает срок службы плавителя.

Поэтому сегодня важно находить новые решения и конструкции, которые не имели бы таких недостатков. Константные улучшения и современные методы проектирования позволяют разрабатывать более эффективные технологии плавки металлов. В свою очередь, это влияет на увеличение производительности и снижение затрат.

В конструкции тигля присутствует некоторое неудобство - большая высота тигля. Это необходимо для того, чтобы коллекторы были отдалены от индуктора. Однако, это делает конструкцию громоздкой, тяжелой и сложной.

Кроме того, наличие цельносварного массивного дна приводит к определенным проблемам. Это снижает напряженность поля у дна (размагничивающий эффект), что в свою очередь приводит к толстому донному гарнисажу и трудностям донного слива.

При попытке увеличить объем наработанного расплава за счет увеличения высоты ванны, без увеличения диаметра тигля, производство стало сталкиваться с проблемами. Удельная производительность резко снизилась, а донный слив стал более сложным и требовательным. Решение было найдено в дополнительном применении механических и газовых мешалок.

### **1.3 Химико-технологические проблемы при остекловывании жидких ВАО**

Для переработки ОЯТ ВВЭР-1000 в Опытно-демонстрационном центре ГКХ используется базовая технология [8]. В рамках этой технологии высокоактивный рафинат и тритийсодержащие растворы выводятся на

установку остекловывания, где получается боросиликатное стекло. Для операции остекловывания применяется малогабаритный керамический плавитель с прямым электронагревом, аналогичный установке VEK [9]. Прямоточный испаритель с падающей пленкой при атмосферном давлении с кратностью ~5 раз и выпарной аппарат с циркуляционным контуром в ~25 раз используются для упаривания высокоактивного рафината и тритийсодержащих растворов соответственно.

Большой комплекс научно-исследовательских работ с использованием модельных жидких отходов и керамического плавителя с прямым электронагревом типа ЭП-5 был проведен ранее в Радиовом институте для данной технологии. В ходе этих исследований был разработан базовый состав боросиликатного стекла, изучены его основные физико-химические характеристики, определены режимы, влияющие на уносы радиоактивных изотопов из плавителя, а также проблемы, связанные с осадкообразованием в виде соединений благородных металлов [10].

## **2 Воздушно-плазменная утилизация РАО**

### **2.1 Плазменная переработка**

В настоящее время стекловидная масса, содержащая радиоактивные изотопы и тяжелые металлы, является одной из наиболее серьезных проблем для нашего общества. Для ее решения существуют два основных подхода, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Первый подход заключается в использовании процесса остекловывания. Со временем стекло подвергается действию радиации и начинает разрушаться, что увеличивает вероятность выхода радиоактивных веществ за пределы стекла и их попадания в окружающую среду. Кроме того, существует риск того, что стекло не сможет удерживать опасные вещества на протяжении необходимого времени.

Второй подход заключается в использовании специально разработанных материалов, которые обладают более высокой степенью устойчивости к радиации. Такие материалы могут быть созданы на основе композитов или керамических материалов. Но такие материалы часто дороже процесса остекловывания и требуют более тщательной обработки.

В итоге, выбор между использованием стекла и специальных материалов должен быть основан на балансе между затратами и эффективностью в долгосрочной перспективе, а также на учете всех потенциальных рисков для окружающей среды и человеческого здоровья.

Вторым аспектом, связанным с утилизацией радиоактивных отходов, является проблема их хранения. Данная процедура требует высокой экспертизы и значительных финансовых вложений для обеспечения безопасности окружающей среды. Решение этой проблемы является крайне сложным и требует применения специализированных хранилищ.

В то же время такие хранилища обеспечивают высокий уровень безопасности на протяжении длительного периода времени. В связи с этим, наилучшим решением для достижения оптимального баланса между стоимостью и безопасностью является поиск компромисса между

применением стекла и специализированными хранилищами в зависимости от конкретной ситуации.

Высокотемпературные методы переработки радиоактивных отходов на основе плазмы являются одними из наиболее эффективных. В отличие от традиционной технологии сжигания горючих фракций в печах, эти методы позволяют значительно сократить объем отходов и уменьшить количество вторичных отходов. Еще одним преимуществом плазменной переработки является возможность получения остеклованного шлака, который обладает высокой механической прочностью и химической стойкостью. Это делает его идеальным для транспортировки и долгосрочного хранения.

Использование высокотемпературных плазменных методов для переработки радиоактивных отходов представляет собой эффективный способ очистки от этого опасного загрязнения.

Одним из основных недостатков традиционных методов переработки, таких как сжигание горючей фракции в печах, является образование большого количества отходящих газов и летучей золы, которые являются вторичным источником радиоактивного загрязнения. В отличие от этого, применение высокотемпературных плазменных методов не только снижает количество образующихся отходов, но и позволяет минимизировать количество вторичных загрязнений.

В 1992 году компанией "Thermoselect" была разработана установка (рисунок 2.1), которая представляет собой один из доступных вариантов газификации отходов на промышленном уровне с применением плазменных подогревателей. Данная технология позволяет осуществлять газификацию органических отходов, что в свою очередь приводит к получению синтез-газа (состоящего из водорода, оксида углерода и углекислого газа), а также к производству расплавленных металлических и минеральных компонентов.

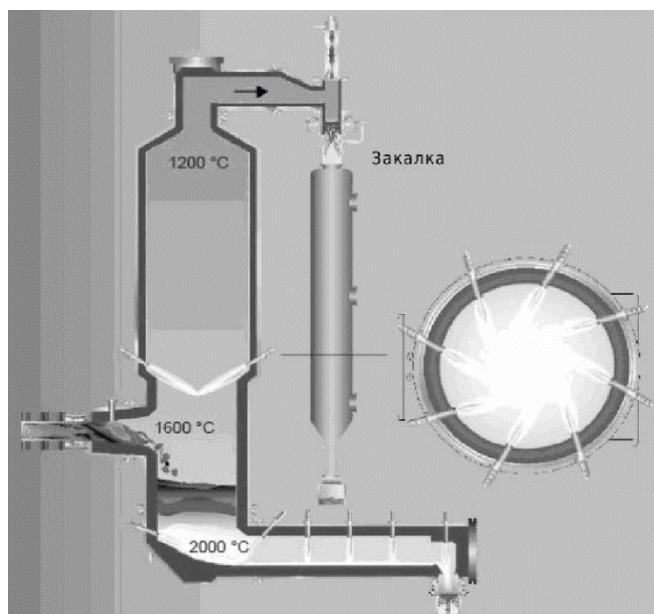


Рисунок 2.1 – Технологическая схема плазменного газификатора фирмы «Thermoselect»

Существует два главных направления в области утилизации отходов производства и потребления. Первое направление заключается в создании крупнотоннажных плазменных установок, которые обеспечивают эффективную переработку больших объемов отходов и получение ценной энергии. Второе направление связано с разработкой компактных заводских или транспортабельных установок, которые способны перерабатывать опасные отходы на месте.

При оптимизации технологии плазменной утилизации широко используется компьютерное моделирование, которое помогает улучшить физико-химические процессы и повысить эффективность работы установок.

Низкотемпературная плазма представляет собой перспективный метод переработки радиоактивных отходов (РАО), позволяющий получать стабильные формы отходов с высокой эффективностью и безопасностью. Для оптимизации этой технологии необходимо использовать математические модели, которые могут определить оптимальные параметры плазменной установки, такие как температура, скорость потока и концентрация газов. При использовании этих моделей возможно получить более стабильные и

качественные формы переработанных отходов, повысив тем самым эффективность процесса.

Применение процесса прямой воздушно-плазменной иммобилизации для получения порошков сложных и простых оксидов металлов из растворов высокооктановых нефтяных фракций с горючим органическим компонентом, представляет собой эффективный и экономически выгодный метод переработки отходов.

Применение низкотемпературной плазмы в технологии переработки РАО является перспективным способом для получения высокостабильных форм отходов, это подтверждают результаты ряда исследований [11-13].

Неэкономичность плазменных систем, используемых для переработки отходов, обусловлена необходимостью перевода всех отходов в газ. Для решения этой проблемы требуются новые технические решения, при которых плазма будет использоваться только как управляющий элемент, а все химические процессы будут происходить за счет внутренней энергии процесса утилизации. С правильно организованным производством по утилизации отходов, можно получать энергию и тепло, без излишних затрат. Для достижения этого необходимо правильно подобрать сырье, спроектировать геометрию рабочей камеры и выбрать системы энерго нагрева и поддержания процесса.

Несмотря на преимущества низкотемпературной плазмы, процесс ее использования требует дальнейших исследований и оптимизации для максимального использования ее потенциала в борьбе с проблемой отходов и защите окружающей среды.

В контексте требований законодательства, организации должны подходить к вопросу утилизации отходов ответственно и экологически безопасно. В этом контексте, плазменная печь для переработки радиоактивных отходов, описанная в патенте [14], является интересным устройством, которое заслуживает внимания.

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. [15-19].

## 2.2 Экологические аспекты переработки РАО

Проблема переработки твердых радиоактивных отходов является одним из ключевых вопросов, которые наша страна должна решить. В работе [20] проведены оценки затрат на переработку 2000 м<sup>3</sup> таких отходов в трех вариантах для России. Вариант 1 предусматривает сжигание горючих отходов с последующим цементированием зольного остатка, включая работу по компактизации и суперкомпактизации прессуемых отходов.

Существуют и другие варианты переработки твердых радиоактивных отходов, которые могут быть рассмотрены. Например, использование методов химической переработки или его сочетание со сжиганием отходов. Это может быть более эффективным способом утилизации опасных отходов.

Использование невозвратных защитных контейнеров для упаковки продуктов переработки также является важным шагом в обеспечении безопасности окружающей среды и здоровья людей. Эти контейнеры предотвращают возможный выпуск радиоактивных материалов в окружающую среду и защищают работников, которые работают с опасными отходами.

Проблема переработки радиоактивных отходов является одной из самых глобальных и требует неотложного решения. Одним из вариантов является сжигание горючих отходов с последующим цементированием зольного остатка. Вариант 2 предусматривает тот же процесс, но уже без последовательного компактирования и суперкомпактирования.

Вместе с сжиганием отходов можно использовать методы их облучения или другие процессы, которые помогут улучшить качество переработки и уменьшить ее затратность.

Затраты на переработку и кондиционирование радиоактивных отходов достаточно высоки, но мы не можем отказываться от их переработки и должны искать оптимальные пути уменьшения этих затрат и повышения безопасности радиоактивных отходов.



Одним из самых перспективных способов переработки горючих и прессуемых отходов является вариант 3 - плазменная переработка. При этом отходы подвергаются высокой температуре, а затем охлаждаются и помещаются в невозвратные защитные контейнеры. Стоимость плазменной переработки составляет около 21 тысячи рублей за метр кубический отходов.

Хотя удельные капитальные и эксплуатационные затраты на плазменную установку выше, чем на другие установки, такие как сжигание, цементирование, прессование и суперкомпактирование, но при использовании этих методов потребуется больше установок. Например, для варианта 1 потребуются четыре установки, а для варианта 2 - три установки.

Кроме того, плазменная переработка может быть более экологичной, чем другие методы, так как позволяет уменьшить количество выбросов вредных веществ в атмосферу. Перед принятием решения о выборе определенного метода переработки, следует провести анализ всех возможных вариантов и учитывать все факторы, связанные с производством и экологией.

При расчете экономических показателей переработки отходов на плазменной установке важно учитывать не только удельные затраты, но и конечные объемы продуктов, которые будут направлены на захоронение. Это связано с необходимостью дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат на хранение кондиционированных радиоактивных отходов.

Стоит отметить, что итоговые удельные затраты на переработку 1 м<sup>3</sup> отходов на плазменной установке все же значительно ниже, чем при использовании других технологий. Конкретно, они могут быть ниже в 1,5-2 раза. Принцип работы заключается в использовании высокотемпературной плазмы для разложения отходов на элементы. Это позволяет избавиться от радиоактивных отходов без создания дополнительных проблем на стадии их хранения и утилизации.

Таким образом, переработка отходов на плазменной установке является не только экономически выгодной, но и экологически безопасной

технологией, способной существенно снизить объемы радиоактивных отходов, направляемых на захоронение.

### 3 Практическая часть

#### 3.1 Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов

Оставшиеся после первого экстракционного цикла без урана и плутония НОП ОЯТ в виде слабоконцентрированных водносолевых растворов металлов имеют следующий модельный состав [21, 22]:  $\text{H}_2\text{O}$  – 81,43%,  $\text{HNO}_3$  – 16,7%, U – 0,1130%, Pu – 0,0194%, Ba – 0,00145%, Fe – 0,05278%, Cr – 0,00624, Cu – 0,00105%, Zn – 0,00146%, Ce – 0,002%, Nd – 0,00225%, La – 0,001%, Sm – 0,001%, Eu – 0,001%, Ca – 0,0058%, Sr – 0,0005%, Pr – 0,002%, Mn – 0,001%, Al – 0,0013%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Se – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

Выбранный нами органический компонент (ацетон) имеет следующие параметры:  $Q_n^c = 31,54$  МДж/кг;  $T_{\text{вспышки}} = 254$  °С;  $T_{\text{самовоспл.}} = 738$  °С, а этанол:  $Q_n^c = 26,8$  МДж/кг;  $T_{\text{вспышки}} = 285$  °С;  $T_{\text{самовоспл.}} = 619$  °С [23].

Низшую теплотворную способность водно-органического нитратного раствора, включающего НОП ОЯТ и органический компонент, определяли по уравнению [24]

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

где  $Q_n^c$  – теплота сгорания органического компонента в составе водно-органического нитратного раствора, кДж/кг;  $W$  и  $A$  – массовая доля воды и негорючих компонентов в составе ВОНР 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 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-органического нитратного раствора является адиабатическая температура горения ( $T_{\text{ад}}$ ), которую оценивали по формуле [24]:

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

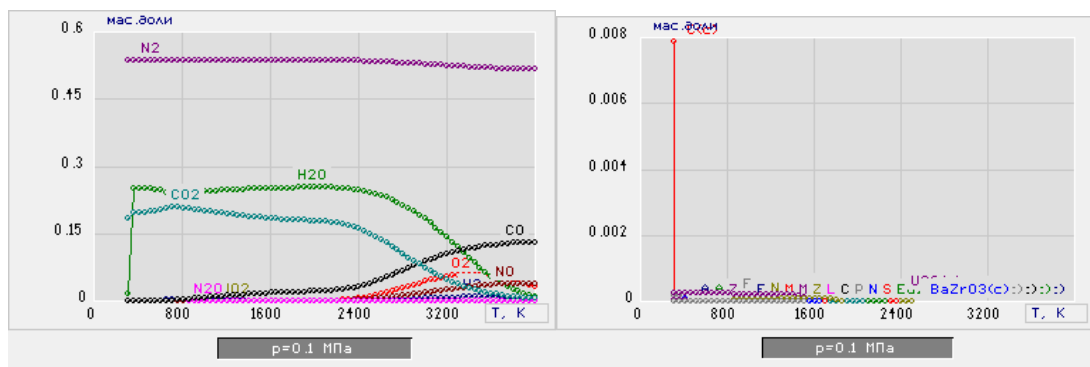
где  $v_{ок}$  – массовая доля окислителя (воздуха), %;  $C_{ок}$  – теплоемкость окислителя, кДж/(кг·К);  $t_{ок}$  – температура окислителя, К;  $v$  – удельная равновесная теплоемкость продуктов плазменной переработки ВОНР, кДж/(кг·К).

Проведен расчет  $Q_n^p$  различных водно-органических нитратных растворов на основе НОП ОЯТ и определены растворы ВОНР, имеющие  $T_{ад} \approx 1500$  К и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную утилизацию воздушной плазме:

1. Состав ВОНР-1: (64% НОП ОЯТ : 36% Этанол).
2. Состав ВОНР-2: (71% НОП ОЯТ : 29% Ацетон).

### 3.2 Термодинамический расчет процесса плазменной утилизации НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР

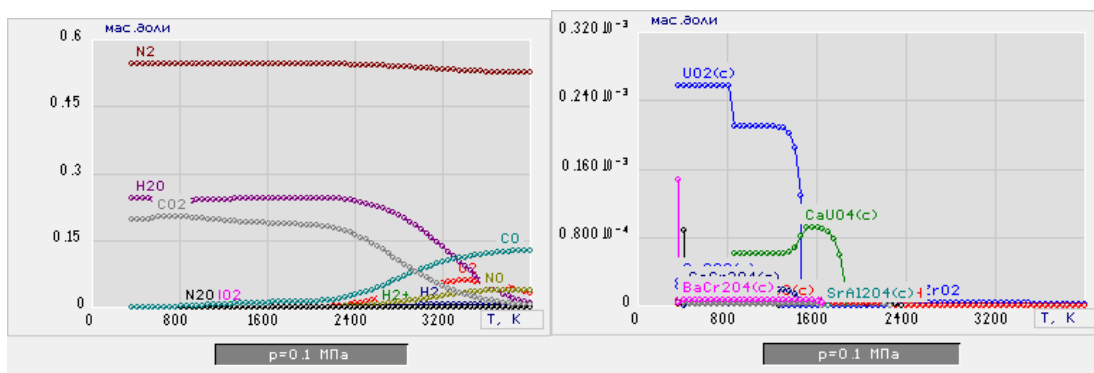
С использованием лицензионной программы «TERRA» проведены термодинамические расчеты равновесных составов продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР-1 и ВОНР-2. Результаты расчетов утилизации раствора ВОНР-1 приведены на рисунках 3.1, 3.2 и 3.3.



а)

б)

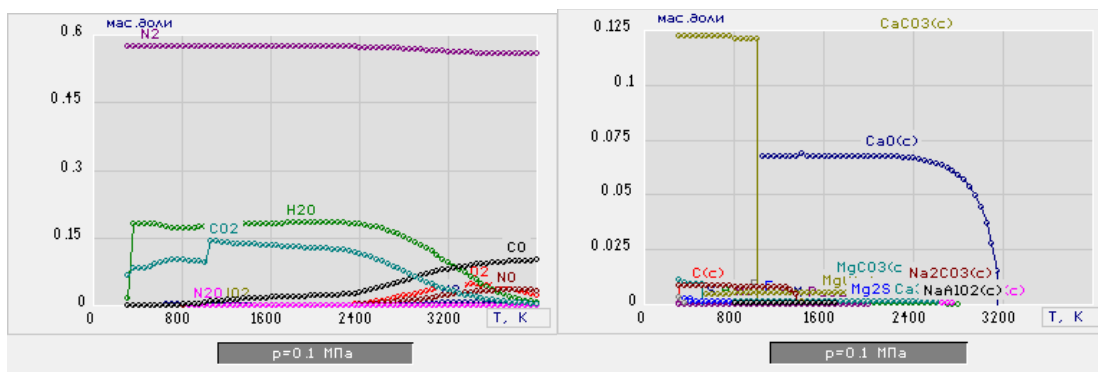
Рисунок 3.1 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 73%.



а)

б)

Рисунок 3.2 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 74%.



а)

б)

Рисунок 3.3 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-1 (на основе этанола) при массовой доле воздуха 75%.

Из анализа графиков на рисунке 3.1 следует, что при массовой доле воздуха (73%) и температурах до 1600 К основными продуктами в газовой фазе являются  $N_2$ ,  $H_2O$  и  $CO_2$ , (3.1а), а в конденсированной фазе (3.1б) – в основном, углерод в конденсированной фазе  $C(c)$ . При увеличении массовой доли воздуха с 73% до 74% (рисунок 3.2) 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  $UO_2(c)$  и  $CaUO_4(c)$ , без образования углерода в конденсированной фазе  $C(c)$ . При дальнейшем увеличении массовой доли воздуха с 74% до 75% (рисунок 3.3) при температурах до 1600 К основными

продуктами в газовой фазе также являются  $N_2$ ,  $H_2O$  и  $CO_2$ , (рисунок 3.3а), а в конденсированной фазе (рисунок 3.3б) – простые и сложные оксиды металлов, включающие  $UO_3(c)$ ,  $CaUO_4(c)$  и оксид железа  $Fe_2O_3(c)$ , без образования углерода в конденсированной фазе  $C(c)$ .

На рисунках 3.4, 3.5 и 3.6 приведены результаты расчетов равновесных составов продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона).

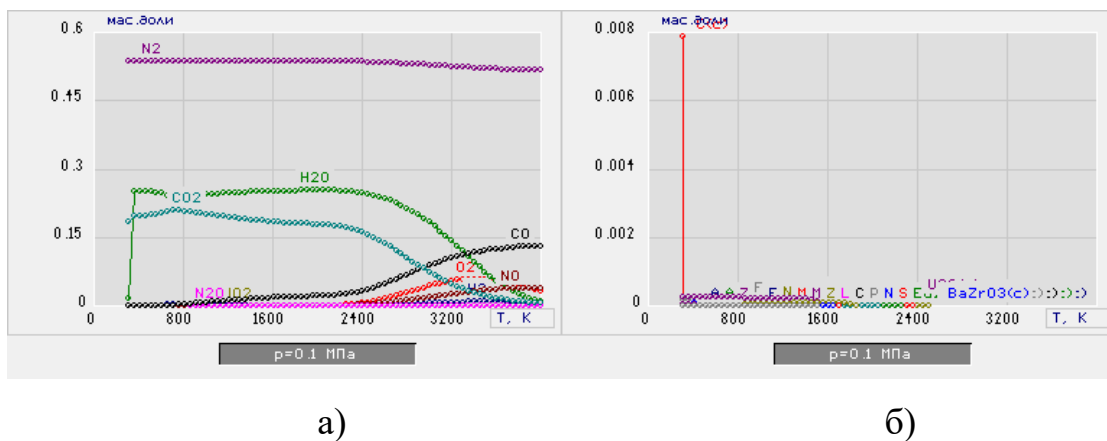


Рисунок 3.4 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 70%.

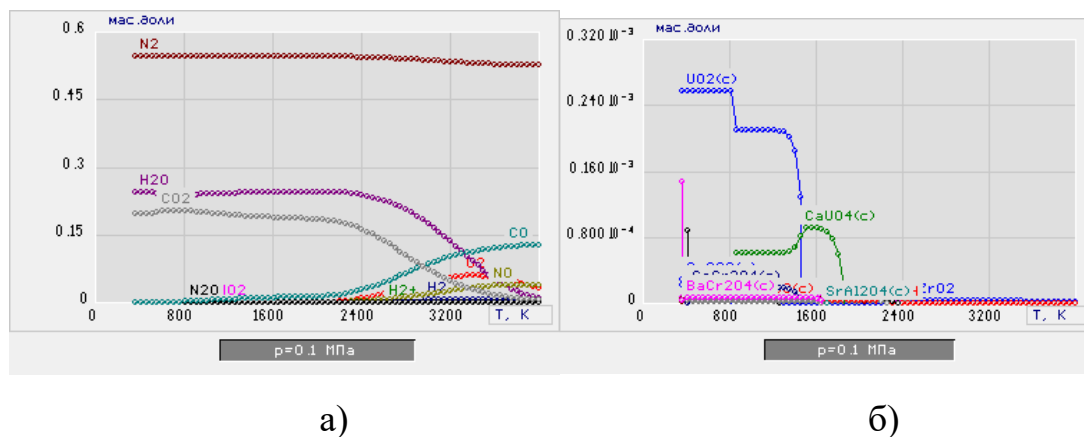
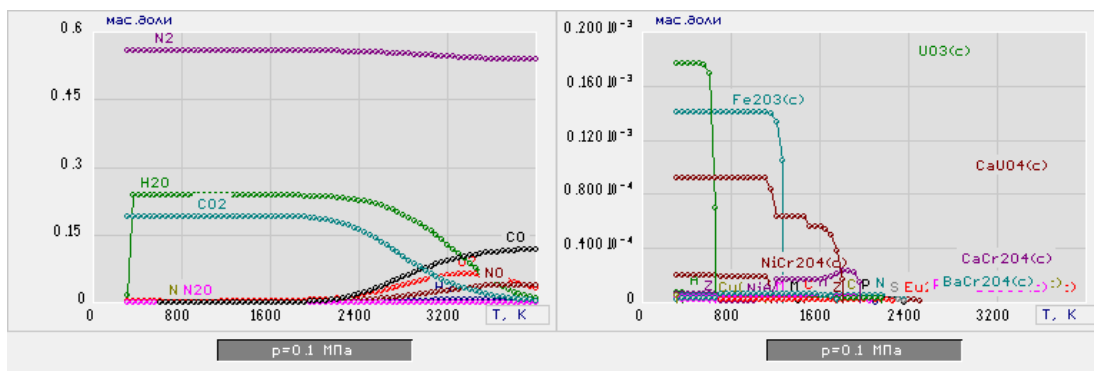


Рисунок 3.5 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 71%.



а)

б)

Рисунок 3.6 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме НОП ОЯТ в виде раствора ВОНР-2 (на основе ацетона) при массовой доле воздуха 73%.

На изображение 3.4 видно, что в газовой фазе, при массовой доле воздуха 70% и температурах до 1600 К, основными продуктами являются N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> (рисунок 3.4а). В то же время, в конденсированной фазе (рисунок 3.4б), наиболее распространенным является конденсированный углерод С(с). При увеличении массовой доли воздуха до 71% на изображении 3.5 при тех же температурах, основными продуктами в газовой фазе также оказываются N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> (рисунок 3.5а), но в конденсированной фазе (рисунок 3.5б) наблюдаются простые и сложные оксиды металлов, включающие UO<sub>2</sub>(с) и CaUO<sub>4</sub>(с), без выпадения углерода в конденсированной фазе С(с).

При достижении температур до 1600 К и увеличении массовой доли воздуха с 74% до 75% (см. рисунок 3.6), главными продуктами в газовой фазе являются N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> (см. рисунок 3.6а), а в конденсированной фазе (см. рисунок 3.6б), образуются простые и сложные оксиды металлов, такие как UO<sub>3</sub>(с), CaUO<sub>4</sub>(с) и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(с), без вывода углерода в конденсированной фазе С(с). Исходя из полученных результатов, рекомендуется использовать следующие условия для реализации процесса: состав раствора ВОНР-2 должен быть (71% НОП ОЯТ : 29% Ацетон).

Соотношение между фазами, находящимися в массе, составляет 73% для воздуха и 27% для ВСОК-2. Производственный процесс сопровождается температурным режимом  $T = 1500 \pm 200$  К, в то время как удельное

потребление энергии на этот процесс составляет приблизительно 3,5 МДж на килограмм.



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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0АМ11	Василенко Александру Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
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 НИИ</i>	1. Анализ и оценка конкурентоспособности НИИ; 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 НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: организация работ НИИ; определение структуры работ; разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИИ: 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 НИИ.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сегментирование рынка</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>3. Матрица SWOT</li> <li>4. Иерархическая структура работ</li> <li>5. Календарный план-график проведения научного исследования</li> <li>6. Диаграмма Ганта</li> </ol>
---

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0АМ11	Василенко Александр Сергеевич		

#### **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является оценка расчета процесса воздушно-плазменной утилизации рафинатов в виде неорганических отходов после переработки отработавшего ядерного топлива (НОП ОЯТ) с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.
3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
5. Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
6. Рассчитать бюджет научного исследования.
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

В работе необходимо дать комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, по изучению процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций, и оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

## **4.1 Предпроектный анализ**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести инвестиционные компании, частных инвесторов, научно-исследовательские институты. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

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 НОП ОЯТ		
		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 утилизации НОП ОЯТ в воздушной плазме в виде водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (ф), а в качестве конкурента выбран традиционный термический метод утилизации НОП ОЯТ (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	
		$B_{\phi}$	$B_{\kappa}$	$K_{\phi}$	$K_{\kappa}$
<b>Технические критерии</b>					
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
6. Адаптивность метода	0,02	4	4	0,08	0,08
<b>Экономические критерии</b>					
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	0,08	5	1	0,4	0,08
Итого	1			4,7	3,31

Таким образом, можно сделать вывод о том, что метод утилизации НОП ОЯТ в воздушной плазме в виде оптимальных по составу водно-органических нитратных растворов (ВОНР), по многим показателям является наиболее предпочтительным, чем традиционный термический метод утилизации НОП ОЯТ, что подтверждает коэффициент конкурентоспособности  $K_{\phi}(4,7) > K_{\kappa}(3,31)$ .

#### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [25, 26].

Составлена матрица SWOT-анализа (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>  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><b>Слабые стороны проекта:</b>  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><b>Возможности:</b>  В1. Использование модели для исследований.  В2. Расширение возможностей расчётной модели.  В3. Возможность исследования различных по составу НОП ОЯТ.  В4. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  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	+	-	0	+	+
B2	+	-	-	0	+
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><b>Сильные стороны проекта:</b>          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><b>Слабые стороны проекта:</b>          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><b>Возможности:</b>          В1. Использование модели для исследований.          В2. Расширение возможностей расчётной модели.          В3. Возможность исследования различных по составу НОП ОЯТ.          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><b>Угрозы:</b>          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 обхват 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 расчетной модели, которых нет у конкурентов.          2. Несовершенства разработанной модели можно решить с помощью оптимизации модели под требуемые составы НОП ОЯТ.</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:

- одностадийность воздушно-плазменной утилизации НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР;
- невысокая стоимость утилизации НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР;
- наличие необходимого оборудования для экспериментального подтверждения эффективности предлагаемой технологии на модельных растворах ВОНР и его компактность;
- короткий срок получения результатов при проведении научного исследования.

## **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 НОП ОЯТ
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 НОП ОЯТ в виде растворов ВОНР.
Ожидаемые результаты проекта:	Создание научных основ энергоэффективной технологии воздушно-плазменной утилизации НОП ОЯТ в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных растворов ВОНР.
Критерии приемки результата проекта:	Научные основы энергоэффективной технологии утилизации НОП ОЯТ.
Требования к результату проекта:	Экспериментальное подтверждение процесса воздушно-плазменной утилизации НОП ОЯТ 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	Василенко А.С., ТПУ, магистр	Моделирование и исследование процесса утилизации НОП ОЯТ 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 НОП ОЯТ	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов на основе НОП ОЯТ, включающих органический компонент (этанол, ацетон). Определение оптимальных по составу растворов ВОНР. Термодинамическое моделирование процесса утилизации НОП ОЯТ 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 НОП ОЯТ	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 на основе НОП ОЯТ, включающих органический компонент (этанол, ацетон). Определение оптимальных по составу растворов ВОНР. Термодинамическое моделирование процесса утилизации НОП ОЯТ 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 <sub>к</sub> , 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 НОП ОЯТ	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
<b>Итого:</b>	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:

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



Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Персональный компьютер:

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

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:

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

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

$З_{доп}$  – 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 выполнение темы [27]:

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

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 [27]:

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

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 [27]:

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

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$T_{\partial}$  - 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 [27]:

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

где  $Z_{ок}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_z$  – 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 <sub>зп</sub> , 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 [27]:

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

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 [27].

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  $I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$ , 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  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\max}$  –

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 ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя

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

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

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле

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

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. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации метода утилизации НОП ОЯТ, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с аналогом;

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

3. В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников;

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

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

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

7. Оценка абсолютной эффективности НИ показала, что проект является эффективным с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, со сроком окупаемости 2,85 года.



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM11	Василенко Александру Сергеевичу

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

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<i>1. Описание рабочего места на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы);</li> </ul>
<i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне;</li> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаро-взрывобезопасность;</li> <li>– химическая безопасность.</li> </ul>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (причины, средства защиты);</li> <li>– пожаро-взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM11	Василенко Александр Сергеевич		

## **5 Социальная ответственность**

Целью выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) является теоретическое исследование процесса утилизации рафинатов отработавшего ядерного топлива 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 [28].

### **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 [29].

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 [30].

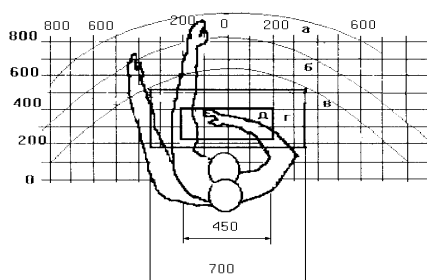


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

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 [30].

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 [30].

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 [30].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях [30].

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 [30].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ соблюдена компоновка рабочей зоны исследователя [30].

## **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 [29]

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [31]
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [32]
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) [29]
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 [33]
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 [30]
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [34]
7. Пожаровзрывоопасность	НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности [35].

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) [29].

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 м<sup>2</sup> [30].

### **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 [31] 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 [31]. 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 [36]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью  $Q = 2400 - 4400$  м<sup>3</sup>/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 [36].

#### **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 [32].

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) [32].

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 [32].

Таким образом установлено, что в лаборатории № 001А–10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [32].

### **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 [29] 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 [29].

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 [29] 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  $\Phi_{л0} = 2900$  Лм.

Выбираем светильники со светодиодами типа Dioga 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  $\lambda$ , 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:

$$h = H - h_p - h_c \quad (5.5)$$

$$h = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Из формулы

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

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;  $\Phi_{л}$  – световой поток одной лампы, находим число светодиодных лент  $N$

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

$\eta$  определяем через индекс помещения по формуле:

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

$$i = \frac{6 \cdot 12}{2(6 + 12)} = 2.$$

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

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{л0} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,52} = 23,6 \text{ лент.}$$

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

Потребный световой поток светодиодных ламп:

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

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 корпуса № 10 ТПУ.

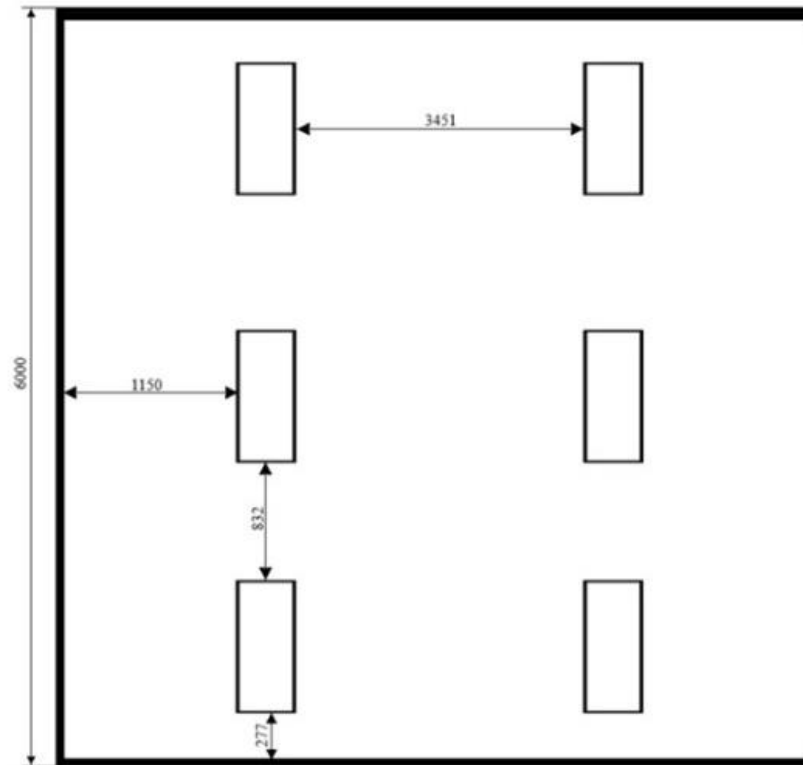


Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

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

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

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 корпуса № 10 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 [33]. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБА, что соответствует санитарным нормам [33]. 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 5.5 приведены нормы уровня шума при различных видах работ [33].

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 [33].

### **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 [29].

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 [29].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ нервно-психические перегрузки не возникают в связи с отсутствием монотонности труда [29].

### **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 [34].

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 [34].

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 [29].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [34].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [34].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [34].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [34].

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 [34].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [34]:

- 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 [34].

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

По электробезопасности аудитория № 001А корпуса № 10 ТПУ относится к 2 классу [34].

### **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 [35]. 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 [35]:

- 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 [35].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [35].

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 [35].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [29].

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 [37]:

- 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 [37]:

- 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

#### **5.4 Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

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

- микроклимат [29];
- шум [33];
- электромагнитное излучение [32];
- освещенность [29];
- психофизиологические факторы [29];
- электробезопасность [34];
- пожаро-взрывобезопасность [35, 37].

Помещение № 001А корпуса № 10 ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [34];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [35, 37].

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

## **Выводы**

1. В работе проведен детальный обзор и анализ существующих способов утилизации НОП ОЯТ. По их результатам рекомендован процесс плазменной утилизации НОП ОЯТ в виде горючих водно-органических композиций.

2. Проведён расчёт показателей горения различных водно-органических композиций на основе НОП ОЯТ. По результатам расчетов рекомендованы следующие оптимальные составы горючих водно-органических композиций: состав раствора ВОНР-2: (71% НОП ОЯТ : 29% Ацетон);

3. Проведена оценка удельных энергозатрат на процесс их утилизации. По результатам расчетов рекомендован следующий оптимальный режим для процесса их утилизации в воздушной плазме: массовое отношение фаз: 73% Воздух : 27% ВСОК-2; температура:  $T = 1500 \pm 200$  К; удельные энергозатраты на процесс:  $\text{Эуд} \approx 3,5$  МДж/кг.

## Список используемых источников

1. Лопух Д.Б. Обоснование новой российской концепции построения установки остекловывания радиоактивных отходов методом индукционной плавки в холодных тиглях / Д. Б. Лопух // Вопросы радиационной безопасности. – 2009. – № 2. – С. 26–32.
2. Лопух Д.Б. Современные направления и новые результаты исследований индукционной плавки в холодных тиглях / Д. Б. Лопух // Индукционный нагрев. – 2008. – № 6. – С. 27–37.
3. Горбунова О.А. Опыт обращения с радиоактивными отходами в ФГУП «РАДОН». – Материалы научно-технического семинара молодых ученых и аспирантов ФГУП «РАДОН» и ИФХЭ РАН «Обращение с радиоактивными отходами», Сергиев Посад Россия, 8 апреля 2013Ю С. 8-18, 53-53.
4. Баринов А.С. Технологии переработки и кондиционирования РАО / А.С. Баринов, А.С. Волков, С.М.Лашенков. // Международный атомный журнал «Безопасность ядерных технологий и окружающей среды», 2011. – №1. – С. 156-161.
5. 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.
6. Алой А.С. Развитие и реализация электротехнологий для кондиционирования радиоактивных отходов в России / А. С. Алой, В. З. Белов, Д.Б. Лопух [и др.]. // Индукционный нагрев. – 2011. – № 16. – С. 4 -10.
7. Bonnetier A. Development of an Advanced Cold Crucible for direct induction melting of glass. / Bonnetier A., Hollebecque JF., Lacombe J. [и др.] // Conference Lion. – France, 2003.
8. «Исходные данные для разработки аппаратурно-технологической схемы базовой технологии переработки ОЯТ ВВЭР-1000 на ОДЦ (ФГУП ГКХ)». Том 1.СПб, ФГУП «НПО Радиевый институт им. В.Г.Хлопина». Инв. № 3524 - ИКТ, 2011.

9. Braun H. Vitrification of High-level Radioactive Liquid Waste / Braun H., Grunewald W., Hardock K. [и др.]. // Annual Report 2010. – № 58.
10. ФГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» «Совершенствование технологических режимов переработки ОЯТ на ОДЦ. Разработка методик аналитического контроля. Корректировка ИД. Обеспечение безопасности процессов переработки ОЯТ» / Инв. № 3610-И, с.33, 2011
11. Some results of studies of radionuclei evaporation in processing of radioactive waste in plasma shaft furnace. / A.L. Mosse , S.A. Dmitriev, I.A. Kniasev [и др.] // Heat and Mass Transfer: models, theor. & exp. studies, ИМТ. – Минск, 1993. – С. 120–123.
12. Mosse A. L. Appplication of thermal plasma in radioactive wastes treatment / A.L. Mosse, L.I. Krasovskaya // Internation Symposium on electrical technologies for environmental protection (Lodz, Poland, September 1997). – Lodz, 1997. – С. 305–309.
13. Technique of processing of radioactive waste. / V.V. Bysuk , S.A. Dmitriev , S. Zabrodsky [и др.]. – Pat. SU 782568.
14. Патент № 2070307С1 СССР, МПК F27В 1/00, G21F 9/32. Плазменная шахтная печь для переработки радиоактивных отходов : № 4858974/02 : заявл. 13.08.1990: опубл. 15.05.1994 / С.А. Дмитриев, В.К. Литвинов, И.А.Князев [и др.]. – 10 с.
15. 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.
16. Plasma Utilization of Liquid Radioactive Waste / A.G. Karengin, O.D. Shakhmatova, A.A. Karengin, et al. // The 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST–2012) : Proceedings of IFOST-2012. – Vol. 2. – P. 440–443.
17. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива / В.А. Власов, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин [и др.]. // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11/2. – С. 377–382.



18. 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.
19. 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.
20. Презентация С.В. Антипова (ИБРАЭ РАН) и В.Д. Ахунова (НИЦ «КИ») «КЭГ и международное сотрудничество в рамках программ ликвидации ядерного наследия в России». 26-ое пленарное заседание КЭГ. Париж, Франция. 18–19 октября 2012 года.
21. Андрюшин И.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. / И.А. Андрюшин, Ю.А. Юдин – Саров, 1999. – 119 с.
22. 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. XII. – С. 124-147.
23. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. / В.В. Писаренко. – М.: Высшая школа, 1970.
24. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008.
25. 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.
26. 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.

27. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 192 с.

28. 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: 19.05.2023).

29. 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: 19.05.2023).

30. 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: 19.05.2023).

31. 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: 19.05.2023).

32. 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: 19.05.2023).

33. 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: 19.05.2023).

34. 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: 19.05.2023).

35. 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: 19.05.2023).

36. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Москва, 2004. – 60 с.

37. ГОСТ 12.1.044-2018 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 19.05.2023).

## Приложение А

### **Air-plasma utilization of raffinates after spent nuclear fuel reprocessing**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Василенко Александр Сергеевич		

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;

HLW – high-level waste;

SNF - spent nuclear fuel;

RW - radioactive waste;

IW SNF - inorganic waste from spent nuclear fuel reprocessing;

WONS - water-organic nitrate solution;

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

FE - fuel element;

FP - fission products;

IMCC - induction melting in a cold crucible.

## **Introduction**

Currently, one of the most urgent problems of nuclear energy is the immobilization of high-level waste and the safety of nuclear power plants - nuclear reactors. These areas of nuclear power at the present stage are increasingly associated with the use of various electrotechnological methods for processing radioactive materials and their imitators [1,2]. Existing traditional technologies do not solve many problems, especially those associated with a sufficient service life of the melting devices of electrotechnological units. In this regard, the use of the method of induction melting in cold crucibles (IMCC) solves this problem, since a non-contact energy supply to the melted material is used.

The melting conditions of radioactive materials do not allow the IMCC of materials to be carried out under the usual conditions adopted for electrotechnological setups. These processes should be performed without human intervention, that is, at a sufficiently large distance with remote control and maintenance. This imposes significant special requirements on the design of IMCC furnaces and on automated control and process control systems.

Despite the apparent simplicity of HLW vitrification, this method has a number of disadvantages. The main of them is the fragility of glass due to the constant exposure to radiation. An alternative way to process HLW in the form of IWS NF is air-plasma disposal.

## **1 Conventional HLW management**

There is a classification of RW according to the degree of activity. There are four types of solid waste: very low level; low-active; medium active; highly active. For liquid waste, three types are distinguished: low-level; medium active; highly active.

One of the criteria for such a classification is heat dissipation. In low-level radioactive waste, the heat release is extremely low. In medium-active ones, it is significant, but active heat removal is not required. High-level radioactive waste releases heat so much that they require active cooling.

### **1.1 Use of HLW vitrification technology**

An effective method of waste disposal is vitrification. This method makes it possible to process a variety of liquid and solid radioactive waste. As a result of this process, glass-ceramic matrix and glass-like materials are formed. During the vitrification process, it is necessary to add oxides in the form of calcined powder or sludge to the glass forming materials. After that, the resulting mixture is melted at a temperature of 1300–1500°C to form a homogeneous structure [3, 4].

When choosing components for each composition of liquid hazardous waste, the appropriate composition is selected that provides the necessary properties of the melt and the final product according to the specified characteristics.

The main advantage of vitrification is the absence of release of harmful substances into the environment. In addition, the glass-like materials obtained as a result of this process have high mechanical properties and resistance to aggressive environments. Thus, vitrification is an environmentally friendly and technologically efficient method of waste disposal.

It should be noted that glass-like materials containing radioactive waste have significant differences from conventional matrix glass in terms of composition and ratio of components. It remains ambiguous how much matrix glass and radioactive waste should be included in the glass-like compound.

An increase in the amount of radioactive waste can improve economic performance, but it entails an increase in specific activity, heat generation and a decrease in 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 use of radioactive nuclides and transuranium elements in glass-like materials [5].

In scientific circles, the optimal content of radioactive waste in glass-like compounds is actively discussed in order to minimize the costs of their disposal. There is disagreement about how much radioactive waste is the optimal amount. Thus, we single out two urgent problems: the greater the content of radioactive waste, the lower the cost of disposal; there is a threat of serious problems in the operation and disposal of glass-like materials using this approach.

There are many methods for determining this ratio, which are based on the analysis of the chemical and physical properties of the glass, as well as monitoring the level of radioactivity and heat generation.

According to the studies, in modern technologies the content of radioactive waste in glasses can vary from 10 to 30 wt. %. However, the methods of cementing, bituminization and vitrification of radioactive waste do not always correspond to the principle of phase-chemical correspondence between the radioactive waste matrix and the host geological formation. This means that other factors, such as the possibility of migration of radioactive substances and their impact on the environment, must be taken into account when choosing a method for processing radioactive waste.

The development of new methods that satisfy the principle of phase-chemical correspondence and ensure the safe storage of radioactive waste for a long time is a necessary task. A promising method is the use of geomaterials, such as clays and shales, which have a high ability to bind radionuclides and are resistant to external influences. The development and use of such materials will make it possible to reduce the risk of environmental problems and increase the level of safety in RW storage.



## **1.2 Main technical solutions of IMCC melters**

For RAW vitrification, melters use several characteristic features that must be taken into account. First, to ensure high productivity of melting stripped-off HLW at the glass melting temperature limited by radionuclide emissions, it is necessary to use a large crucible. Secondly, to construct a melter, materials are selected that can withstand the impact of waste materials for a long time, therefore, austenitic stainless steel and other chemically resistant strong metals are mainly used.

On the other hand, in addition to these key characteristics, there are other factors that must be considered when designing a melter. For example, it is necessary to select materials and design features that will provide effective containment of radioactive materials and protection of personnel working with the melter.

In addition, when creating melters for RW vitrification, the issue of further processing of radioactive waste is being addressed. In particular, melters can be designed in such a way as to allow further disposal of waste, for example, by processing it into solid blocks or granules.

Thus, when designing melters for vitrification of radioactive waste, it is necessary to consider many factors, including productivity, chemical resistance of materials, isolation efficiency and the possibility of further processing of waste in order to ensure the safety of personnel and the environment.

The development of modern melters for vitrification of HLW proceeded in different directions. One of these directions was the creation of a melter design that could be easily removed during repair or disposal and could be washed from radioactive contamination. This eliminated dangerous environmental impacts and ensured the safety of workers.

Another important element in the design of the melter was a device for draining the accumulated glass mass from a cold crucible. In some cases, this device provided for the complete emptying of the crucible. This was necessary to ensure the uninterrupted operation of the plant and to prevent the accumulation of waste glass inside the melter.

In Figure 1.1, you can see several setups with lateral discharge of the melt from the crucible, developed at St. Petersburg Electrotechnical University "LETI" at different times [6, 7]. In these designs, a common element is the presence of a lateral drain of the accumulated glass mass between the turns of the inductor. This provided a more efficient melting process and ease of maintenance of the setup.

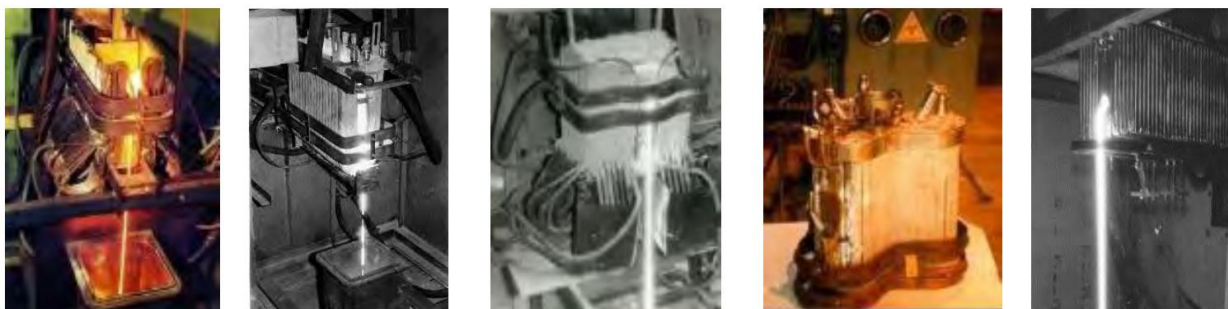


Figure 1.1 - IMCC furnaces with lateral melt outlet at St. Petersburg Electrotechnical University "LETI"

To ensure reliable removal of glass mass through a cold downcomer, it is necessary to heat the melt in front of the downcomer. Some of the devices use the field of the same inductor that heats the main melt pool. Figure 1.2 shows different variants of IMCC cylindrical furnaces, where the drain zone is taken out for lateral removal of the melt (VNIINM, PA "MAYAK", Radium Institute).



Figure 1.2 - IMCC furnaces with melt side discharge

In modern conditions, the designs of crucibles cannot remain obsolete. They were developed back in the 80s of the last century by the organizations LETI,

VNIINM and MosNPO Radon in the USSR. However, such designs have disadvantages.

The first of these is the appearance of large ring currents caused by an all-welded collector. This demagnetizes the field of the inductor, reduces the power factor and leads to large energy losses.

The second drawback is the appearance of shunt currents through the electrically conductive skull and the electrically conductive melt, causing premature wear of the melt mirror. This significantly reduces the service life of the melter.

Therefore, today it is important to find new solutions and designs that would not have such shortcomings. Constant improvements and modern design methods allow the development of more efficient metal smelting technologies. In turn, this leads to increased productivity and reduced costs.

There is some inconvenience in the design of the crucible - the large height of the crucible. This is necessary so that the collectors are distant from the inductor. However, this makes the construction bulky, heavy and complex.

In addition, the presence of an all-welded massive bottom leads to certain problems. This reduces the field strength at the bottom (degaussing effect), which in turn leads to a thick bottom ledge and bottom drain difficulties.

When trying to increase the volume of produced melt by increasing the height of the bath, without increasing the diameter of the crucible, the production began to face problems. Specific productivity has dropped sharply, and bottom discharge has become more complex and demanding. The solution was found in the additional use of mechanical and gas agitators.

### **1.3 Chemical and technological problems during the vitrification of liquid HLW**

For the processing of VVER-1000 spent nuclear fuel, the Experimental and Demonstration Center of the GKH uses the basic technology [8]. Within the framework of this technology, highly active raffinate and tritium-containing solutions are transferred to a vitrification unit, where borosilicate glass is obtained.

For the vitrification operation, a small-sized ceramic melter with direct electric heating, similar to the VEK unit [9], is used. A once-through evaporator with a falling film at atmospheric pressure with a ratio of ~5 times and an evaporator with a circulation circuit by a ratio of ~25 times are used to evaporate highly active raffinate and tritium-containing solutions, respectively.

A large complex of scientific research works using model liquid wastes and a ceramic melter with direct electric heating of the EP-5 type was carried out earlier at the Radium Institute for this technology. In the course of these studies, the basic composition of borosilicate glass was developed, its main physicochemical characteristics were studied, the regimes affecting the removal of radioactive isotopes from the melter as well as the problems associated with precipitation in the form of noble metal compounds were determined [10].

## **2 Air-plasma disposal of radioactive waste**

### **2.1 Plasma processing**

Currently, glassy mass containing radioactive isotopes and heavy metals is one of the most serious problems for our society. To solve it, there are two main approaches, each of which has its own advantages and disadvantages.

The first approach is to use the vitrification process. However, over time, the glass is exposed to radiation and begins to break down, which increases the likelihood of radioactive substances escaping the glass and entering the environment. In addition, there is a risk that the glass will not be able to retain hazardous substances for the required time.

The second approach is to use specially designed materials that have a higher degree of resistance to radiation. Such materials can be created on the basis of composites or ceramic materials. But such materials are often more expensive than the vitrification process and require more careful processing.

Ultimately, the choice between the use of glass and special materials should be based on a balance between cost and effectiveness in the long term, as well as consider all potential risks to the environment and human health.

The second aspect related to the disposal of radioactive waste is the problem of their storage. This procedure requires high expertise and significant financial investments to ensure environmental safety. The solution to this problem is extremely complex and requires the use of specialized storage facilities.

At the same time, such vaults provide a high level of security over a long period of time. In this regard, the best solution to achieve the optimal balance between cost and safety is to find a compromise between the use of glass and specialized storage, depending on the specific situation.

Plasma-based high-temperature methods of processing radioactive waste are among the most effective. Unlike the traditional technology of burning combustible fractions in furnaces, these methods can significantly reduce the amount of waste and reduce the amount of secondary waste. Another advantage of plasma processing

is the possibility of obtaining vitrified slag, which has high mechanical strength and chemical resistance. This makes it ideal for transport and long-term storage.

The use of high-temperature plasma methods for the processing of radioactive waste is an effective way to clean up this hazardous contamination.

One of the main disadvantages of traditional processing methods, such as burning the combustible fraction in furnaces, is the generation of large amounts of off-gases and fly ash, which are a secondary source of radioactive contamination. In contrast, the use of high-temperature plasma methods not only reduces the amount of waste generated, but also minimizes the amount of secondary pollution.

In 1992, Thermoselect developed a plant (figure 2.1) which is one of the available industrial-scale waste gasification options using plasma heaters. This technology allows the gasification of organic waste, which in turn leads to the production of synthesis gas (consisting of hydrogen, carbon monoxide and carbon dioxide), as well as the production of molten metal and mineral components.

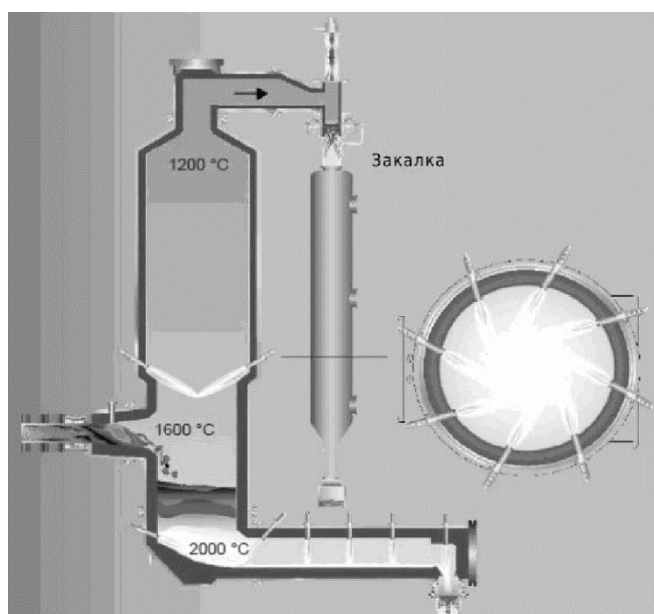


Figure 2.1 - Technological scheme of the plasma gasifier of the company "Thermoselect"

There are two main directions in the field of production and consumption waste disposal. The first direction is to create large-tonnage plasma setups that ensure the efficient processing of large volumes of waste and the production of

valuable energy. The second direction is related to the development of compact plant or transportable units that are capable of processing hazardous waste on site.

When optimizing plasma utilization technology, computer simulation is widely used, which helps to improve physical and chemical processes and increase the efficiency of setups.

Low-temperature plasma is a promising method for the processing of radioactive waste (RW), which makes it possible to obtain stable forms of waste with high efficiency and safety. To optimize this technology, it is necessary to use mathematical models that can determine the optimal parameters of the plasma setup, such as temperature, flow rate and gas concentration. Using these models, it is possible to obtain more stable and higher quality forms of recycled waste, thereby increasing the efficiency of the process.

The use of the process of direct air-plasma immobilization for obtaining powders of complex and simple metal oxides from solutions of high-octane oil fractions with a combustible organic component is an effective and cost-effective method of waste processing.

The use of low-temperature plasma in the technology of radioactive waste processing is a promising way to obtain highly stable forms of waste, this is confirmed by the results of a number of studies [11-13].

The inefficiency of plasma systems used for waste processing is due to the need to convert all waste into gas. To solve this problem, new technical solutions are required, in which plasma will be used only as a control element, and all chemical processes will occur due to the internal energy of the recycling process. With a properly organized production of waste disposal, you can get energy and heat, without unnecessary costs. To achieve this, it is necessary to choose the right raw materials, design the geometry of the working chamber and select energy heating and process support systems.

Despite the advantages of low-temperature plasma, the process of its use requires further research and optimization to maximize its potential in combating the problem of waste and protecting the environment.

In the context of legal requirements, organizations must approach the issue of waste disposal in a responsible and environmentally friendly manner. In this context, the plasma furnace for processing radioactive waste described in the patent [14] is an interesting device that deserves attention.

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 IWS NF in the form of water-organic nitrate solutions (WONS) containing organic components. This technology allows us to significantly reduce energy costs at the stage of air-plasma utilization, reducing them to 0.1 MWh/t.

One of the ways to obtain powders of metal oxides is the use of the process of air-plasma immobilization of spent nuclear fuel processing waste from WONS solutions. This approach allows us 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 WONS solutions containing a combustible organic component (ethanol, acetone), it is proposed to use the process of direct air-plasma immobilization of SNF processing waste. This will significantly reduce the cost of processing IWS NF by reducing the number of conversion operations, the volume of capacitive equipment, the cost of chemicals, energy and labor costs. [15-19].



## **2.2 Environmental aspects of RW processing**

The problem of processing solid radioactive waste is one of the key issues that our country must solve. The paper [20] estimates the costs of processing 2000 m<sup>3</sup> of such waste in three variants for Russia. Option 1 provides for the incineration of combustible waste followed by cementation of the bottom ash, including compaction and supercompactization of compressible waste.

There are other options for the treatment of solid radioactive waste that may be considered. For example, the use of chemical processing methods or its combination with waste incineration. This may be a more efficient way to dispose of hazardous waste.

The use of non-returnable protective containers for the packaging of processed products is also an important step in ensuring the safety of the environment and human health. These containers prevent the possible release of radioactive materials into the environment and protect workers who work with hazardous waste.

The problem of radioactive waste processing is one of the most global and requires an urgent solution. One option is the incineration of combustible waste followed by cementation of the bottom ash. Option 2 provides the same process, but without sequential compaction and supercompact.

Along with waste incineration, irradiation methods or other processes can be used to improve the quality of recycling and reduce its cost.

The costs of processing and conditioning radioactive waste are quite high, but we cannot refuse to process them and must look for the best ways to reduce these costs and improve the safety of radioactive waste.

One of the most promising ways of processing combustible and compressible waste is option 3 - plasma processing. At the same time, the waste is subjected to high temperature, and then cooled and placed in non-returnable protective containers. The cost of plasma processing is about 21 thousand rubles per cubic meter of waste.

Although the specific capital and operating costs of a plasma plant are higher than other plants such as incineration, cementing, pressing and supercompacting,

more plants will be required when using these methods. For example, Option 1 would require four setups, and Option 2 would require three setups.

In addition, plasma processing can be more environmentally friendly than other methods, as it reduces the number of harmful substances released into the atmosphere. However, before making a decision on the choice of a certain processing method, it is necessary to analyze all possible options and take into account all factors related to production and the environment.

When calculating the economic indicators of waste processing at a plasma plant, it is important to consider not only specific costs, but also the final volumes of products that will be sent for disposal. This is due to the need for additional capital and operating costs for the storage of conditioned radioactive waste.

However, it should be noted that the final unit costs for the processing of 1 m<sup>3</sup> of waste at a plasma plant are still significantly lower than when using other technologies. Specifically, they can be 1.5-2 times lower. The principle of operation is to use high-temperature plasma to decompose waste into elements. This allows you to get rid of radioactive waste without creating additional problems at the stage of their storage and disposal.

Thus, the processing of waste at a plasma facility is not only an economically profitable, but also an environmentally friendly technology that can significantly reduce the amount of radioactive waste sent for disposal.