



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>Пламенная утилизация органических отходов после переработки отработавшего ядерного топлива</b>

УДК 621.039.59:621.039.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ11	Минёнок Роман Анатольевич		

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	Минёноку Роману Анатольевичу

Тема работы:

Пламенная утилизация органических отходов 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 теме «PUREX-процесс»; 2. научно-технические источники по утилизации трибутилфосфата; 3. Программное обеспечение «Тетра».
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. обзор литературы по теме «PUREX-процесс»; 2. обзор литературы по утилизации трибутилфосфата; 3. Расчет показателей горючести ВОК; 4. Термодинамический расчет процесса плазменной утилизации ООП ОЯТ; 5. анализ полученных результатов.

<b>Перечень графического материала</b>	Графики: 1. Упрощенная схема пьюрекс-процесса; 2. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме только ООП ОЯТ при массовой доле воздуха 80%; 3. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде композиции ВОК при массовой доле воздуха 65%; 4. Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде композиции ВОНК при массовой доле воздуха 65%;
--	--

<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	Минёнок Роман Анатольевич		

**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 теме «PUREX-процесс»	10
15.03.2023	Обзор литературы по переработке трибутилфосфата	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: 104 страницы, 25 таблицы, 5 рисунков, 32 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: ОЯТ, органические отходы, водно-органическая композиция, водно-органическая нитратная композиция, утилизация ТБФ.

Объектом исследования является процесс воздушно-плазменной утилизации органических отходов переработки ОЯТ.

Цель работы является оценка возможности эффективной утилизации в воздушной плазме органических отходов переработки ОЯТ.

Создание замкнутого ЯТЦ, который позволяет поставлять отработавшее ядерное топливо с АЭС, перерабатывать его и извлекать  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$ , производить на их основе МОКС-топливо и поставлять его на АЭС, было первой в мире инициативой России. При переработке ОЯТ по-прежнему возникают горючие отходы в виде экстрагентов, использованных для извлечения  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$ , для которых не существует эффективных технологий переработки. В связи с этим, цель данной работы заключается в оценке эффективности процесса прямой плазменной утилизации органических отходов переработки ОЯТ.

В рамках работы необходимо выполнить следующие задачи: проанализировать различные методы утилизации горючих отходов переработки ОЯТ, определить оптимальные составы горючих водно-органических композиций, основанных на ООП ОЯТ, и определить наилучшие режимы процесса плазменной утилизации ООП ОЯТ в форме наиболее подходящих водно-органических композиций.

## Содержание

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	11
1 Пьюрекс-процесс (PUREX-процесс).....	13
1.1 Разработка процессов Purex и международный опыт .....	16
1.2 Усовершенствованная разработка процессов Purex.....	20
2 Способы утилизации ТБФ.....	23
3 Практическая часть .....	32
3.1 Расчет показателей горючести водно-органических композиций.....	32
3.2 Термодинамический расчет процесса плазменной утилизации ООП ОЯТ .....	33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	37
4.1 Предпроектный анализ .....	38
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	38
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	39
4.1.3. SWOT-анализ .....	41
4.2. Инициация проекта.....	44
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	47
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	47
4.3.2 Контрольные события проекта.....	47
4.4 Бюджет научного исследования.....	50
4.4.1 Расчет материальных затрат .....	50
4.4.2 Расчет амортизации оборудования .....	51
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	52

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	55
4.4.5 Накладные расходы .....	56
4.4.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	56
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	57
4.6 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	59
5 Социальная ответственность .....	61
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	61
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	61
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	63
5.2 Производственная безопасность .....	65
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	65
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов .....	66
5.2.3 Отклонение показателей микроклимата.....	66
5.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	68
5.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	69
5.2.6 Превышение уровня шума .....	72
5.2.7 Психофизиологические факторы .....	74
5.2.8 Электробезопасность.....	74
5.2.9 Пожарная и взрывная безопасность.....	76
5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	79
5.4 Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	80



Выводы .....	81
Список используемых источников.....	82
Приложение А .....	86

## **Обозначения и сокращения**

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

РАО – радиоактивные отходы;

ООП ОЯТ – органические отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

НОП ОЯТ – неорганические отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

ТБФ – трибутилфосфат;

ГХБД – гексахлорбутадиеп;

ВОК – водно-органическая композиция;

ВОНК – водно-органическая нитратная композиция;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент.

## Введение

Создание замкнутой ядерной топливной цикла - это инновационный проект, который Россия первой в мире реализует. Он предусматривает не только переработку отработавшего ядерного топлива, но и извлечение  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$ , производство на их основе МОКС топлива и его поставку на АЭС. Это позволяет утилизировать все виды радиоактивных отходов, получая при этом продукты, которые можно длительное время хранить. Однако в процессе переработки ОЯТ образуются не только отходы переработки ОЯТ, включающие продукты деления  $^{235}\text{U}$ , но и органические отходы переработки ОЯТ, которые являются бывшими в употреблении экстрагентами для извлечения из ОЯТ  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Обеспечение безопасной жизни на Земле в условиях интенсивного развития атомной энергетики требует решения проблемы переработки органических отходов, которая находится на широком обсуждении в правительственных, научных и общественных кругах многих стран. Однако настоящее время не предоставляет эффективных технологий для этого.

Радиоактивные отходы АЭС и ОЯТ обладают различными особенностями. После переработки ОЯТ можно получить новое ядерное МОКС-топливо, что делает его ценным продуктом. С другой стороны, РАО является специфическим типом отходов, которые могут быть обезврежены только путем длительного хранения для распада содержащихся в них радионуклидов.

Доля изотопов плутония и урана  $^{235}\text{U}$  в облученном на АЭС ядерном топливе не превышает 3%, а остальные 97% составляют  $^{238}\text{U}$  и синтезированный плутоний  $^{239}\text{Pu}$ . На первом этапе переработки отходы ОЯТ без урана и плутония, являющиеся слабokonцентрированными водносолевыми растворами металлов, содержат множество нерадиоактивных продуктов (РЗЭ, молибден и другие), а также конструкционные материалы (цирконий, железо, никель, хром, марганец и другие). Выделение некоторых

из них, например, ценных и благородных металлов, может быть потенциально интересным для дальнейшего использования.

Изготовление продуктов из отработанного ядерного топлива является трудоемким процессом, который требует большого количества времени и энергии. Кроме того, существующая технология не предусматривает возможности повторного использования ценных металлов, которые образуются в результате переработки отходов.

Однако использование высокотемпературной плазмы может решить эту проблему, так как позволяет значительно увеличить концентрацию энергии в реакторе по сравнению с другими методами. Плазменная технология также имеет высокий энергетический КПД, который обусловлен не только эффективными источниками питания, но и сокращением количества стадий в процессе получения материалов. Все это делает производство продуктов из отработанного ядерного топлива более эффективным и экономичным.

В ходе исследования был изучен процесс утилизации органических отходов, полученных в результате переработки ОЯТ. Для этого использовались горючие водно-органические и водно-органические нитратные композиции, которые были оптимально подобраны по составу для проведения процесса плазменной утилизации в атмосфере воздуха.

## 1 Пьюрекс-процесс (PUREX-процесс)

Переработка высокорadioактивных веществ – это сложный и дорогостоящий процесс. На сегодняшний день самым широко применяемым методом является пьюрекс-процесс, включающий растворение ТВЭЛов в азотной кислоте и последующее очищение раствора.

Для получения чистых соединений U и Pu используются специальные методы, которые позволяют выделить их из продуктов деления и элементов оболочки. После этого диоксид плутония  $PuO_2$  используется для изготовления новых сердечников, а уран либо для производства сердечников, либо для обогащения  $^{235}U$  [1].

Переработка ТВЭЛов требует выдержки в специальных хранилищах в течение нескольких лет, поэтому этот процесс требует терпения и особого подхода. Еще одной проблемой является переработка и захоронение отходов, которые не могут быть подвергнуты регенерации.

Таким образом, процесс переработки высокорadioактивных веществ представляет собой сложную и многогранную задачу, которая требует наиболее внимательного и ответственного подхода.

В последнее время, в связи с усовершенствованием технологий разделения, возник международный интерес к извлечению актинидов из отработавшего ядерного топлива. Для этого уже несколько десятилетий успешно применяется пьюрекс процесс, который позволяет переработать потенциально ценные уран и плутоний. С течением времени этот процесс был совершенствован и адаптирован для обработки топлива с более высоким выгоранием, а также металлического и оксидного топлива, с целью уменьшить количество циклов экстракции растворителем и образование отходов.

Новые предложения:

- Одним из преимуществ пьюрекс процесса является то, что он способен эффективно обрабатывать различные типы ядерного топлива.

- Для того чтобы уменьшить влияние ядерной энергетики на окружающую среду, необходимо постоянно совершенствовать и развивать технологии переработки ядерного топлива.

- Переработка отработавшего ядерного топлива является важной частью всего процесса производства электроэнергии из ядерных источников.

В контексте современных экологических вызовов все более актуальным становится вопрос переработки отходов от ядерной энергетики. Именно поэтому разработка и совершенствование технологий разделения является одной из важнейших задач для международного сообщества. Пьюрекс процесс выделяется среди них своей эффективностью и универсальностью, позволяющей обрабатывать различные типы ядерного топлива. Необходимо постоянно работать над улучшением этого процесса, чтобы он стал еще более эффективным и экологически безопасным.

Новейшие исследования и разработки в области обработки водного топлива посвящены совершенствованию пьюрекс-процесса и разработке технологий разделения младших актинидов. Особое внимание уделяется применению новых экстрагентов и использованию одноцикловых технологических схем экстракции растворителем и центробежных контакторов. Внедрение таких передовых пьюрекс-процессов в будущих замкнутых топливных циклах является ключевой задачей. Благодаря произведенным достижениям, процессы обработки водного топлива становятся более эффективными, стоимость установок снижается, а объемы образующихся отходов уменьшаются.

Для развития новых технологий ядерной энергетики стремительно приходится принимать новые изменения технологической схемы. Уже примененные изменения включают снижение коэффициентов дезактивации продуктов деления, а также совместную переработку U/Pu и совместную десорбцию Pu/Np. Но развитие не стоит на месте, и новые улучшения направлены на решение других проблем, таких как устойчивость к

нераспространению и сжигание второстепенных актинидов, без неблагоприятного воздействия на продукты [2].

Одним из интересных достижений, подтверждающих это направление - демонстрация эффективности использования простых комплексообразователей гидроксамовой кислоты в отделении U от Np и Pu. Этот подход может быть применен не только в ядерной энергетике, но и в других индустриальных отраслях, где необходимо выделить определенные вещества из смеси.

Следует заметить, что данная технология не решает всех проблем, связанных с ядерной энергетикой, но является важным шагом на пути к созданию более эффективных и устойчивых решений. Необходимо продолжать исследования и эксперименты, чтобы достичь более значимых результатов в этой области.

Упрощенная схема пбюрекс-процесса приведена на рисунке 1.1.

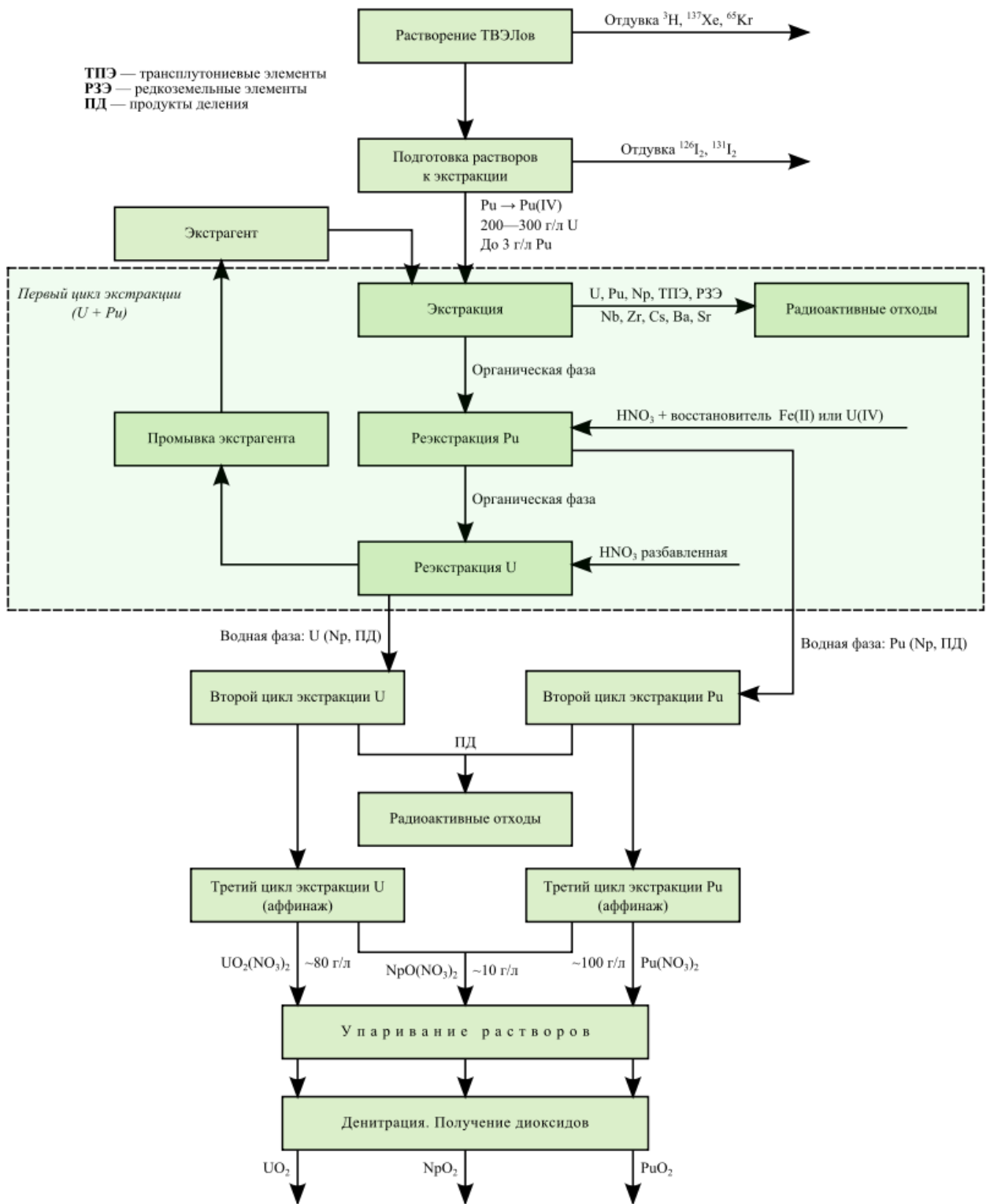


Рисунок 1.1 – Упрощенная схема пьюрекс-процесса

## 1.1 Разработка процессов Purex и международный опыт

США в конце 1940-х годов стали очень активно заниматься крупномасштабной переработкой плутония и топлива. До разработки процесса Purex использовали метод осаждения фосфата висмута, который был



весьма неудобен и неэффективен. Затем были введены в действие процессы экстракции растворителем. Применение процесса Redox и Butex было распространено на разных территориях, но они быстро уступили место процессу Purex [3].

Процесс Purex по праву заслужил множество положительных оценок в области химии и химической технологии. Было показано, что этот процесс обладает рядом преимуществ перед аналогичными по характеристикам процессами и сегодня остается доминирующей технологией переработки ядерного топлива. Его защитные свойства заслуживают высокой оценки у профессионалов и обеспечивают безопасность в работе с ядерными материалами.

Не смотря на множество преимуществ, при использовании процесса Purex возможно возникновение некоторых проблемных ситуаций. Поэтому работа с ядерным топливом всегда представляет определенный риск и требует высокой квалификации и безопасных технологий.

Расположенный в природной зоне завод по переработке Purex – это особое место, объединяющее в себе множество объектов, нужных для устойчивой работы. В головном заводе отработанное топливо превращается в раствор  $\text{HNO}_3$ , необходимый для его химического разделения с применением экстракторов. Полученные отдельные нитратные продукты далее могут быть использованы для производства твердых оксидных материалов.

Кроме головного завода, на территории организована обширная инфраструктура, которая имеет значительное значение для работы завода. Одним из важных объектов является система, предназначенная для обработки твердых отходов, возникающих в результате операций по переработке.

Особую роль в арсенале средств завода играют системы для обработки жидких и газообразных стоков. Их необходимость объясняется тем, что в процессе переработки выделяются различные виды отходов, требующих специфической обработки. Завод по переработке Purex – это именно тот

случай, когда все необходимое для устойчивой работы объекта включено в единую характеристику, подтверждающую его экспертность и значимость.

Переработка оксидного топлива – один из ключевых процессов, который помогает получить ценные элементы, используемые в производстве ядерной энергии. В прошлом другие страны тоже имели опыт переработки Purex в различном масштабе – США, Германия, Россия, Бельгия, Индия [1][2][4].

Одним из ключевых этапов переработки являются циклы экстракции растворителем, которые помогают отделить и очистить уран и плутоний от остальных элементов. Для оптимизации процесса были предприняты определенные шаги, такие как сокращение количества циклов, использование бессолевого реагента и внедрение раннего отделения плутония от урана. Также, была использована новая технология контактного оборудования – импульсные колонны вместо смесителей-отстойников.

Поэтому, благодаря опыту многих стран и технологическому прогрессу, переработка оксидного топлива стала более эффективной и экологически безопасной.

В Великобритании на площадке British Nuclear Group в Селлафилде применяются новые методы переработки оксидов. Один из примеров такого подхода - установка по термической переработке, которая использовала три цикла экстракции растворителем. Эта технологическая схема отличается от более ранних методов переработки на заводе Magnox, где использовались четыре цикла и позднее разделение.

Изменились также используемые реагенты: вместо солей железа и нитрита натрия на площадке в Селлафилде используют реагенты без содержания солей, U(IV) и газообразных оксидов азота (NOx). Данный подход позволяет эффективнее извлекать ценные компоненты из оксидов.

Термическая переработка является одним из методов переработки ядерных отходов, который получает все большее развитие в мире благодаря своей эффективности и безопасности. Несмотря на преимущества данного

метода, вопрос переработки ядерных отходов остается актуальным и требует более глубокого исследования и развития.

Использование импульсных колонн для потоков с плутонием - это один из способов улучшения эффективности переработки ядерного топлива. Также разделительная установка может быть интегрирована с другими операциями, что позволяет упростить и ускорить процесс переработки. Примечательно, что Thorp перерабатывает обогащенное оксидное топливо с более высоким выгоранием из усовершенствованных газоохлаждаемых реакторов (AGR) и легководных реакторов (LWR). Это отличается от более низкого выгорания, короткого охлаждения и естественного обогащения топлива Magnox на металлическом уране, что является еще одним интересным аспектом в этой области [1] [2] [4]. Рассмотрим некоторые подробности этого процесса.

Импульсные колонны представляют собой набор цилиндрических колонн, заполненных гранулами подходящего материала. Керамические шарики или металлические шары используются для рассеивания потока топлива и генерации импульсного давления, которое перемешивает и очищает поток. В результате этого процесса происходит сепарация плутония и других ценных продуктов. Другими словами, импульсные колонны отличаются высокой эффективностью в обработке потоков с плутонием, благодаря использованию специального материала и генерации импульсов высокого давления.

Предположим, что поток железа содержит небольшое количество золота. Разделительная установка может использоваться, чтобы разбить железо на части и выцедить золото. Точно также импульсные колонны могут использоваться для сепарации плутония и других продуктов в потоке, где они содержатся в небольшом количестве. В общем, у использования импульсных колонн есть много преимуществ для процесса переработки ядерного топлива, которые стоит учитывать при разработке новых методик в этой области.

## 1.2 Усовершенствованная разработка процессов Purex

Разработка новых технологических процессов является ключевым компонентом для улучшения переработки топлива на водной основе, особенно в контексте значимости использования актинидов U, Np и Pu. Использование экстракции растворителем Purex показало свою высокую эффективность и надежность в эксплуатации, что подразумевает необходимость дальнейшего усовершенствования и модификации процесса. Таким образом, необходимость полного контроля над актинидами в рамках одного цикла экстракции является краеугольным камнем при разработке новых технологических решений.

К тому же, важно обеспечить гибкость процесса, чтобы он мог применяться для широкого спектра исходных материалов, на которых будет проводиться переработка. Необходимо учитывать, что для качественного процесса переработки, спецификации продукта для потока U должны быть на высоком уровне.

Это показывает, что разработка новых технологических процессов для переработки топлива на водной основе является одним из самых актуальных и перспективных направлений в сфере энергетики и экологии. В тоже время, такие процессы неизбежно должны быть соответствовать высоким стандартам и требованиям к качеству продукции. Помимо этого, при разработке новых процессов важно учитывать возможность их применения в широком спектре ресурсов, что сделает новую технологию более универсальной и экономически эффективной.

Получение легко очищаемого продукта и стоков с использованием кинетически быстрых реагентов «CHON» [5] в кольцевых центробежных контакторах - это важная задача, которую нужно решить как можно быстрее. Ранее для этой цели использовали немецкий процесс IMPUREX, который показал заметный прогресс в разработке передовой переработки технологических схем [6]. Его целью было получение продуктов высокой чистоты.

Чтобы добиться желаемого результата, необходимо проводить исследования и эксперименты, чтобы найти наилучшие решения. Одно из таких решений - использование кинетически быстрых реагентов «CHON», которые обеспечивают быстрое и эффективное реагирование в кольцевых центробежных контакторах. Благодаря этому процессу можно получить минимальные объемы легко очищаемого продукта и стоков, что является важным фактором, особенно при разработке передовых технологических схем.

Для того чтобы получить продукты с высокой чистотой и извлечь актиниды TRU, нужно методически проработать все этапы процесса и учитывать все возможные факторы, влияющие на качество продукта. Важно помнить, что каждый процесс требует индивидуального подхода и постоянных улучшений.

В промышленных масштабах существует значительный успешный опыт эксплуатации пьюрекс-процесса, который основан на использовании высокой степени осветления сырья в сочетании с очень высокой технологической схемой насыщения. Это позволяет достигать очень высоких значений DF продуктов деления в первом контакторе. В настоящее время рассматривается потенциально полезная инновация - комплексообразование, которое может заменить восстановительное удаление Np и Pu с использованием простых гидроксамовых кислот. В этом случае процесс может быть еще более эффективным и экологически безопасным. Кроме того, важно отметить, что пьюрекс-процесс обладает большой исторической базой знаний, что является важным фактором при его использовании в промышленных масштабах.

Разработка новых технологий рециркуляции актинидов TRU в AFC и реакторах поколения IV является ключевым вопросом в области ядерной энергетики. Дальнейшее усовершенствование процесса имеет большое значение, поэтому внимание специалистов всегда фокусируется на возможных способах его улучшения [7-11].

Одной из основных проблем остается отделение трехвалентных актинидов от лантаноидов при обработке воды. Это сложная и важная задача, для решения которой требуется разработка новых экстрагентов.

Важно отметить, что существует множество различных подходов к улучшению процесса рециркуляции актинидов TRU. Некоторые из этих подходов включают использование новых технологий, разработку более эффективных методов обработки воды и создание новых материалов с помощью нанотехнологий.

Кроме того, решение проблемы отделения актинидов от лантаноидов может иметь широкие применения в различных отраслях, включая медицину и производство электроники. Поэтому улучшение процесса рециркуляции актинидов TRU имеет особенно важное значение для общества и экономики в целом.

## 2 Способы утилизации ТБФ

Существует несколько вариантов использования специализированных микроорганизмов для разложения нефтяных загрязнений, например, можно смешивать трудноразлагаемые ТБФ [12] с водным раствором минеральных солей. Это быстрый и эффективный способ, который позволяет обеспечить микроорганизмам все необходимые элементы для жизнедеятельности. Еще один вариант - очистка углеводородов специальными штаммами микроорганизмов, которые способны быстро расщеплять легко разлагаемые вещества. В любом случае, микробиологический способ очистки углеводородов является одним из наиболее перспективных направлений исследований в области экологии.

В процессе очистки нефтяных загрязнений микробиологический способ с добавлением углеводородов и специальных микроорганизмов отлично себя зарекомендовал. Например, в специальных условиях смесь вводится в *Rhodococcus sp.*, *Candida sp.*, *Pseudomonas stutzeri* и другие микроорганизмы. Аэрация обеспечивает оптимальное воздействие на загрязненную среду.

Но не только это делает микробиологический способ привлекательным для использования в окружающей среде. В исследованиях, проведенных на океане, было доказано, что добавление этих специфических микроорганизмов закладывает основу для более чем 80% очистки от нефтяных загрязнений.

Более того, применение микробиологического способа предотвращает дальнейшее отравление окружающей среды. На противоположном конце технологических преимуществ лежит охранный знак безопасности и экологически чистое решение - метод не требует использования химических реагентов. Это позволяет сохранять безопасность для окружающей среды, добиться чистой и здоровой экологической среды и обеспечить экологически устойчивую энергию.

Утилизация отходов, содержащих термобарическое топливо (ТБФ), является серьезной задачей, с которой сталкиваются многие промышленные компании. Но сам процесс очистки не простой - результаты проведенного

химического анализа показали, что разложение ТБФ невозможно без углеводородной жидкости. Тем не менее, нашлись способы, как справиться с этой проблемой - ответом стало использование микробиологического разложения. Практически полное разложение смеси ТБФ с углеводородами происходит при помощи углеводородоокисляющих микроорганизмов.

Существует несколько способов утилизации ТБФ, но выделяются средства разложения, которые отличаются своим составом и методом действия. Сначала происходит сбор и транспортировка отходов к специальным установкам, где происходит процесс разложения при помощи микроорганизмов. Этот метод считается одним из наиболее эффективных и безопасных, так как не требует использования опасных химических реагентов или высоких температур. Это позволяет проводить утилизацию ТБФ безопасным и экологичным способом.

Биологические методы утилизации твердых бытовых отходов (ТБФ) стали очень популярными в последние десятилетия. Специалисты разработали несколько методов и технологий, которые позволяют более эффективно и безопасно избавляться от отходов, содержащих ТБФ. Но один из способов выделяется особенно - он предполагает использование водной среды с углеводородоокисляющими микроорганизмами, минеральными солями и углеводородами  $C_8-C_{30}$  в качестве средства разложения. Именно такой композицией достигается максимально эффективное обеззараживание ТБФ.

Первоначальные методы утилизации ТБФ требовали высокой температуры и применение нефтепродуктов для достижения приемлемого результата, но теперь все изменилось благодаря биологическим методам. Не нужно греть отходы до высоких температур, чтобы утилизировать их в настоящее время. Важно использовать средство разложения с дополнительными компонентами. Это позволяет обезвреживать ТБФ при температуре от 15 до 30 °С. Более низкая температура и отсутствие необходимости в нефтепродуктах делают биологический метод более экономически эффективным и гипоаллергенным.



В настоящее время микробиологический разложения ТБФ является самым эффективным способом очистки загрязненных почв. Суть данного метода заключается в добавлении в смесь ТБФ водного раствора минеральных солей, которые необходимы для жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, в смесь также добавляются *Rhodococcus sp.*, *Rhodococcus maris*, *Rhodococcus erythropolis*, *Candida sp.*, *Pseudomonas stutzeri*, а также углеводородная жидкость [13].

Процесс микробиологического разложения должен проводиться в условиях аэрации. Это связано с тем, что микроорганизмы, ответственные за разложение, нуждаются в доступе кислорода для своей жизнедеятельности.

Таким образом, использование микробиологического разложения с добавлением углеводородной жидкости и минеральных солей является эффективным способом очистки загрязненных почв и позволяет достичь высокой степени очистки за относительно короткий период времени.

Желание обезвредить отходы, содержащие трибутилфосфат (ТБФ), приводит к использованию различных методов очистки. Одним из них является микробиологическое разложение ТБФ, которое отличается эффективностью в сравнении с другими методами. Также, необходимо отметить жидкофазное окисление ТБФ, который, в свою очередь, тоже является эффективным методом обезвреживания. Но, если в смесь добавить углеводородную жидкость, разложение ТБФ пройдет значительно быстрее и практически полностью за счет микроорганизмов, что делает данный метод еще более эффективным и менее зависимым от нефтяных загрязнений. В итоге, выбирая метод обезвреживания, необходимо учитывать не только его эффективность, но и условия, в которых он будет использоваться.

Существует эффективный способ очистки отработанного экстрагента на основе ТБФ от продуктов гидролиза и иттрия - процесс промывки водным раствором щелочи. Прежде чем выбрать конкретный метод очистки, необходимо учесть ряд факторов, таких как тип и количество отходов, наличие специального оборудования и др.

Для проведения процесса очистки, водный раствор щелочи должен содержать в своем составе этилендиаминтетраацетат Na (I) и карбонат щелочи металла в концентрации 0,6-0,8 моль/дм<sup>3</sup>. Процесс проводится при температуре около 20 °С при объемном соотношении органической и водной фаз от 1:1 до 2.

Успешность использования данного метода очистки для отходов, содержащих ТБФ, позволяет рассматривать его как один из возможных вариантов при выборе методов очистки. Необходимо учитывать конкретные условия применения, чтобы гарантировать эффективность очистки и соответствие требованиям безопасности.

Кроме того, следует принимать во внимание, что после процесса очистки концентрация щелочи должна быть не менее 0,6-0,8 моль/дм<sup>3</sup>. В случае недостаточной концентрации могут возникнуть проблемы с обработкой отходов дальнейшими методами.

Метод обезвреживания ТБФ имеет свои недостатки в использовании, поскольку при его применении возникает необходимость в утилизации жидких токсичных отходов. Несмотря на это, способ был найден, и теперь используются растворы NaOH или KOH с многоатомным спиртом жирного ряда C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>, которые помогают преодолеть эти проблемы.

Рекомендуется использовать отходы ксилита в качестве многоатомных спиртов, чтобы получить желаемый результат. Для этого необходимо провести реакстракцию подкислителем до выпадения осадка, который затем отделяют.

Далее вводят NaOH или KOH в реактрактор до исходной концентрации и возвращаются в начало процесса регенерации. Таким образом, происходит получение более безопасных и экологически чистых продуктов обработки ТБФ.

Этот метод обезвреживания становится все более востребованным в современном мире, поскольку позволяет не только утилизировать отходы, но и получить полезные продукты для дальнейшего использования в

промышленности. Он также способствует улучшению экологической ситуации, что является одним из актуальных вопросов в нашей современной жизни.

Обезвреживание отработанных экстрагентов ТБФ - важная проблема, с которой сталкиваются многие промышленные предприятия. Существующий метод регенерации, хоть и эффективен, не лишен недостатков. Один из них - большой расход щелочи, используемой для этой цели.

Изобретение основано на идеи применения анодного и жидкофазного окисления. Процесс жидкофазного окисления проводится при помощи окислительной системы, вырабатываемой электрохимическим путем пропускания постоянного тока через сернокислотный раствор ТБФ. Плотность тока должна быть в диапазоне от 0,1 до 1 А/см<sup>2</sup>. Таким образом обезвреживание экстрагентов ТБФ можно будет проводить значительно более эффективно и экономно.

Стоит отметить, что применение этого метода обезвреживания поможет сократить вредное воздействие отработанных экстрагентов на окружающую среду. Это в свою очередь может повысить экологическую безопасность производственных предприятий и привести к уменьшению экологических рисков.

Новое изобретение открывает новые возможности в области обезвреживания отработанных экстрагентов ТБФ и дает надежду на то, что в будущем промышленные предприятия смогут стать более экологически безопасными.

В процессе обеспечения оптимальной работы системы, необходимо учитывать выбор концентрации серной кислоты в диапазоне от 30 до 70 мас.%. Это объясняется тем, что необходимо обеспечить низкое давление паров растворителя, что является важным условием для оптимальной работы всей системы. Кроме того, благодаря этому процессу, ТБФ и промежуточные продукты его окисления находятся в аппарате в виде эмульсии в растворе

серной кислоты, что является важным этапом в обработке отработанных смесей.

Но сегодня мы хотим представить новое изобретение, которое позволит обезвредить отработанный экстрагент ТБФ при помощи новой технологии анодного и жидкофазного окисления. Использование данного метода является более безопасным и экологичным для окружающей среды, что делает его более предпочтительным в использовании. Кроме того, такой подход может снизить расходы на регенерацию вещества, что, безусловно, является дополнительным преимуществом данного метода и позволяет экономить средства предприятия. В итоге, мы можем считать данное изобретение новым словом в науке и надеемся на его успешное применение в будущем.

В исследовании [14] были описаны нюансы проведения процесса окисления ТБФ. Чтобы избежать накопления промежуточных пероксидных соединений, процесс необходимо проводить при температуре не ниже 10°C. Тем не менее, следует также учитывать, что процесс не должен проводиться при температуре выше 70°C, поскольку это может вызвать образование газообразных соединений и унос непрореагировавших веществ из реактора.

Существует альтернативный метод глубокого жидкофазного окисления ТБФ, который основывается на использовании бездиафрагменного электролизера. Этот метод позволяет генерировать окислительную систему электрохимически, что дает возможность деструктировать отдельные фрагменты молекулы ТБФ, окисляя их на аноде и в объеме электролита.

Интересно отметить, что бездиафрагменный электролизер является более безопасным и эффективным в использовании. Эта технология обладает высокой степенью контроля и позволяет избежать образования промежуточных соединений, которые могут негативно повлиять на окружающую среду. Она также позволяет более точно регулировать параметры процесса окисления, что делает его более предсказуемым и стабильным.

Процесс окисления ТБФ является важным этапом в химических реакциях. Для выбора подходящего метода проведения процесса необходимо учитывать ряд факторов, таких как температура, наличие необходимых инструментов и ресурсов, а также процесс-ориентированные цели.

Необходимость улучшения процессов химических реакций и предотвращения возможности образования застойных зон заставляет обращать внимание на эффективное перемешивание. Особенно актуально это при использовании жидких радиоактивных отходов, таких как отработанный экстрагент – ТБФ.

Для безопасного захоронения отработанного ТБФ существует специальный метод, предусматривающий эмульгирование отходов с карбонатно-щелочными отходами, полученными на стадии регенерации экстрагента. Это позволяет не только избежать возможного загрязнения окружающей среды, но и повысить эффективность использования ресурсов.

Карбонатно-щелочная обработка и олеат натрия считаются одними из наиболее эффективных способов утилизации радиоактивных органических отходов в биологической среде обитания. Чтобы достичь правильной эмульсии, нужно учитывать соотношение компонентов и добавлять олеат натрия или его смесь с изоамиловым и/или изобутиловым спиртом в определенном количестве.

Применяется описанный способ захоронения отработанного радиоактивного экстрагента в глубоко залегающие подземные пласты-коллекторы. Это позволяет обеспечить защиту окружающей среды от опасных воздействий.

Кроме того, необходимо постоянно совершенствовать методы утилизации радиоактивных отходов и проводить исследования по разработке новых технологий и подходов. Ведь наша обязанность – не только использовать природные ресурсы, но и заботиться о их сохранении для будущих поколений.

При обработке отходов необходимо учитывать много факторов для обеспечения эффективной работоспособности. Один из ключевых моментов - создание эмульсии, которая будет объединять все компоненты отходов. Ситуация зависит от различных факторов, среди которых объемные доли изоамилового и/или изобутилового спирта, которые составляют 0,3 об. частей, и карбонатно-щелочных отходов, которые составляют 9 об. частей. Кроме того, важную роль играет наличие олеата натрия, г/л карбонатно-щелочных отходов, которое должно составлять 100. Все эти компоненты способны образовать эмульсию, которую в свою очередь можно нагнетать в глубинный пласт-коллектор. Такой метод оттеснения от устья скважины карбонатно-щелочными отходами является более экономичным и эффективным способом.

С целью обеспечения безопасности жизни человека и сохранения окружающей среды существует эффективный способ утилизации радиоактивных органических отходов. Он позволяет удалять отходы из биологической среды, при этом является безопасным и эффективным. Исследователи постоянно развивают и совершенствуют этот метод для дальнейшего улучшения процесса и того, чтобы обезопасить жизнь нашего общества.

В современных технологических схемах экстракции отработавшего ядерного топлива используется ТБФ в смеси с различными разбавителями от легких до тяжелых с ограниченной способностью к диссоциации. Такой подход позволяет эффективно извлекать чистые компоненты из смеси для дальнейшей утилизации. Применение данной технологии может привести к накоплению продуктов разложения экстрагента, что может нарушить нормальный ход экстракционного процесса [15].

Биоорганические отходы в современном мире представляют серьезную экологическую проблему. Утилизация радиоактивных органических отходов является необходимым шагом в борьбе за сохранение природы и жизни человека. Способ утилизации, который применяется в наше время, больше не является новым, но в последнее время нашел новые области применения,

особенно в сфере проектирования атомных электростанций. Важно отметить, что научные и технологические разработки в области утилизации остатков ядерного топлива гарантируют безопасность такого процесса.

Существует одна важная проблема, которую нельзя игнорировать при использовании ГХБД в качестве разбавителя. Речь идет не только о его коррозионных свойствах, но и о влиянии на окружающую среду. Например, при использовании ГХБД, радиолиз способствует выделению хлорсодержащих кислот, которые уже после контакта с водой могут привести к гидролизу и другим опасным явлениям. Если принять меры предосторожности, то можно снизить вероятность коррозионных процессов при использовании ГХБД в разбавителях. К примеру, можно применять специальные защитные покрытия, которые сокращают контакт ГХБД с металлическими поверхностями. Кроме того, существуют и другие более безопасные альтернативы разбавителей, которые не являются настолько агрессивными и не вызывают проблем с коррозией.

### 3 Практическая часть

#### 3.1 Расчет показателей горючести водно-органических композиций

Используемые для избирательного извлечения из ОЯТ урана и плутония органические отходы после переработки ОЯТ (ООП ОЯТ) в виде бывших в употреблении экстрагента (трибутилфосфат) и его разбавителя (гексахлорбутадиен) имеют следующий состав [16, 17]: ТБФ – 30-40 %, ГХБД – 60-70 %. Оставшиеся после первого экстракционного цикла без урана и плутония неорганические отходы (рафинат) после переработки ОЯТ (НОП ОЯТ) в виде слабokonцентрированных водносолевых растворов металлов имеют следующий модельный состав [16, 17]:  $\text{HNO}_3$  – 18,0%,  $\text{H}_2\text{O}$  – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Ce – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

ТБФ имеет следующие характеристики: формула:  $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}$ , молекулярная масса – 266,32,  $T_{\text{всп}} = 144$  °C;  $T_{\text{воспл}} = 175$  °C;  $T_{\text{самовоспл}} = 345$  °C [18].

Низшую теплотворную способность водно-органической композиции на основе ООП ОЯТ определяли по уравнению [19]:

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

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

Требование достижения значения показателя  $Q_n^p \geq 8,4$  МДж/кг для того чтобы смесь считалась горючей, является завышенным для большого числа используемых в промышленности композиций, содержащих горючие компоненты с низкими значениями  $Q_n^c$ , но с высокой жаропродуктивностью. Более объективным показателем горючести водно-органической композиции является адиабатическая температура горения ( $T_{\text{ад}}$ ), которую оценивали по формуле [19]:



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

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

Проведен расчет  $Q_n^p$  различных водно-органических и водно-органических нитратных композиций на основе ООП ОЯТ и НОП ОЯТ и определены оптимальные по составу композиции ВОК и ВОНК, имеющие  $T_{ад} \approx 1500$  К и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную утилизацию в воздушной плазме:

- состав ВОК: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% Вода);
- состав ВОНК: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% НОП ОЯТ).

### 3.2 Термодинамический расчет процесса плазменной утилизации ООП ОЯТ

С использованием лицензионной программы «TERRA» были проведены термодинамические расчеты равновесных составов продуктов утилизации в воздушной плазме только ООП ОЯТ. Результаты расчетов приведены на рисунке 3.1.

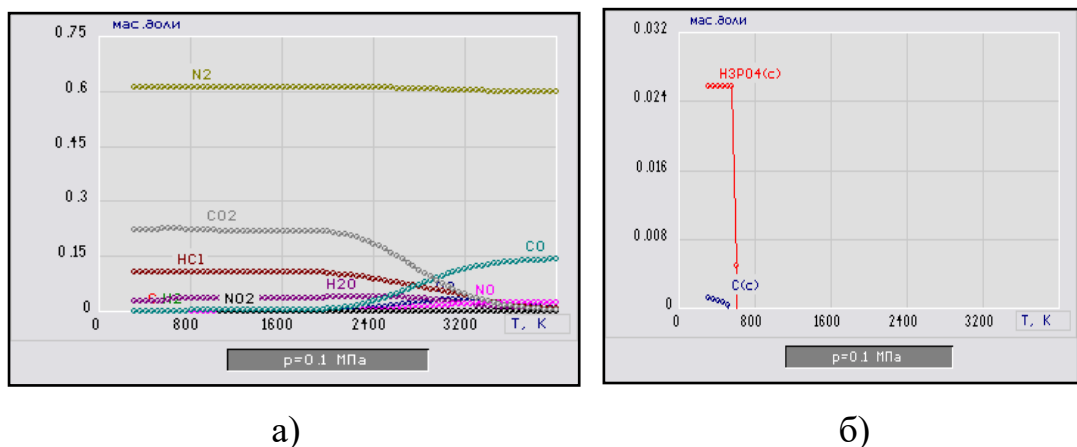


Рисунок 3.1 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме только ООП ОЯТ при массовой доле воздуха 80%.

Из анализа графиков на рисунок 3.1 следует, что при температурах до 1600 К основными продуктами в газовой фазе являются  $N_2$ ,  $CO_2$  и  $HCl$  (3.1а), а в конденсированной фазе (3.1 б) –  $H_3PO_4(c)$  и незначительное количество углерода в конденсированной фазе  $C(c)$ . На рисунках 3.2 и 3.3 приведены результаты расчетов равновесных составов продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде композиций ВОК и ВОНК.

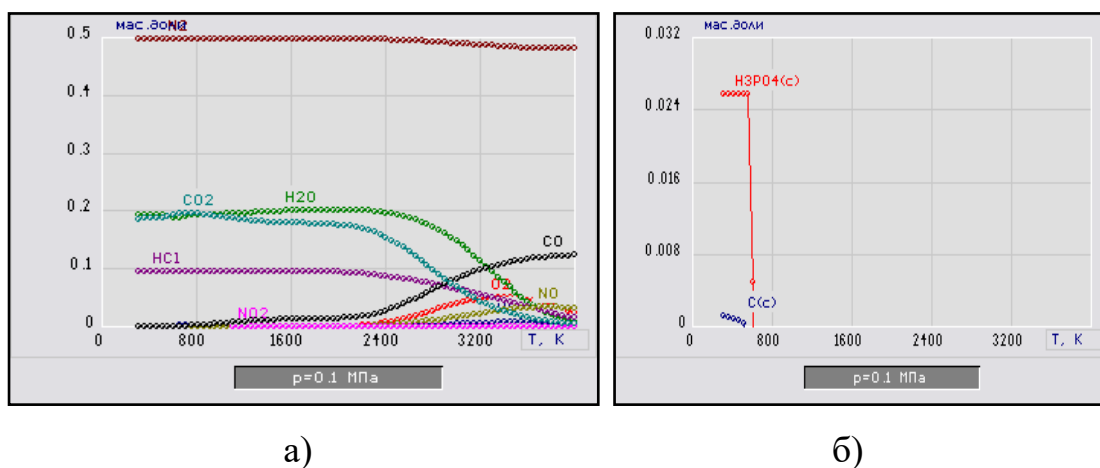
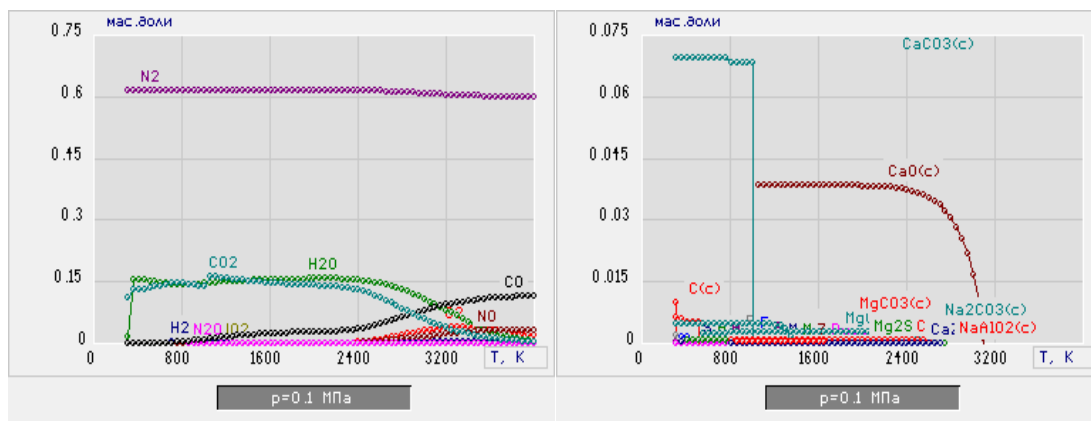


Рисунок 3.2 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде композиции ВОК при массовой доле воздуха 65%.

Из анализа графиков на рисунке 3.2 следует, что при массовой доле воздуха (65%) и температурах до 1600 К основными продуктами плазменной утилизации ООП ОЯТ в виде композиции ВОК в газовой фазе являются  $N_2$ ,  $H_2O$  и  $HCl$  (3.2а), а в конденсированной фазе (3.2б) – в основном, простые и сложные оксиды металлов, включающие  $CaO(c)$ ,  $CaCO_3(c)$ ,  $MgCO_3(c)$  и др. и незначительное количество углерода в конденсированной фазе  $C(c)$ .



а)

б)

Рисунок 3.3 – Влияние температуры на равновесный состав продуктов утилизации в воздушной плазме ООП ОЯТ в виде композиции ВОНК при массовой доле воздуха 65%.

Из анализа графиков на рисунке 3.3 следует, что при массовой доле воздуха (65%) и температурах до 1600 К основными продуктами плазменной утилизации ООП ОЯТ в виде композиции ВОНК в газовой фазе также являются  $N_2$ ,  $H_2O$  и  $HCl$  (3.3а), а в конденсированной фазе (3.3б) – в основном, простые и сложные оксиды металлов, включающие  $CaO(c)$ ,  $CaCO_3(c)$ ,  $MgCO_3(c)$  и др. и незначительное количество углерода в конденсированной фазе  $C(c)$ .

С учетом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации процесса следующие условия:

- состав композиции: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% Вода / (50% НОП ОЯТ);
- массовое отношение фаз: 65% Воздух : 35 % ВОК / ВОНК;
- температура:  $T = 1500 \pm 200$  К;
- удельные энергозатраты на процесс:  $\text{Эуд} = 3,5$  МДж/кг.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0АМ11	Минёнку Роману Анатольевичу

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

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<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	Минёнок Роман Анатольевич		

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

Целью данного раздела является оценка расчета процесса воздушно-плазменной утилизации рафинатов в виде органических отходов после переработки отработавшего ядерного топлива (ООП 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 ООП 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 ОЯТ в воздушной плазме в виде водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (ф), а в качестве конкурента выбран традиционный термический метод утилизации ООП 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	4	3	2	1,5
2. Простота понимания модели	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Надежность модели	0,05	4	3	0,2	0,15
4. Сходимость модели	0,03	4	4	0,12	0,12
5. Адаптивность метода	0,02	4	4	0,08	0,08
<b>Экономические критерии</b>					
1. Затраты на разработку	0,18	5	4	0,9	0,72
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			4,2	3,21

Важными показателями являются: затраты на разработку (0,9 и 0,72 балла); скорость расчета (2 и 1,5 балла); простота понимания модели (0,3 и 0,4 балла).

Менее важными критериями были выбраны: адаптивность модели (0,08 и 0,08 балла); финансирование разработанного метода (0,4 и 0,08 балла).

Приведенный анализ показывает, что проведенный расчет является оптимальной для использования в практических целях.



### 4.1.3. SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20, 21].

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 ООП 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	+	-	+	+	+
B2	+	-	-	+	+
B3	+	+	-	+	+
B4	+	-	+	+	+

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

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

Таблица 4.5 – SWOT-анализ

	<p><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 ООП 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 расчётной модели, которых нет у конкурентов.  2. Несовершенства разработанной модели можно решить с помощью оптимизации модели под требуемые составы ООП ОЯТ.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества проведения дальнейших работ в области плазменной переработки ООП ОЯТ сопоставимы с его недостатками.

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

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

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

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

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.)

и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы [22]:

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

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 [22]:

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

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 [22]:

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

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 [22]:

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

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

$k_3$  – районный коэффициент, равный 1,3.

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

Таблица 4.16 – Расчёт основной заработной платы

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

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

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

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

заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	НР	И
Основная зарплата	17920	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2688	8155
Зарплата исполнителя, руб.	20608	62524
Итого по статье С <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 [22]:

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

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 [22].

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 4.19.

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

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

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

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле

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

Таблица 4.20 – Сравнительная эффективность разработки

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

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

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

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации метода утилизации 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	Минёнку Роману Анатольевичу

<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	Минёнок Роман Анатольевич		

## **5 Социальная ответственность**

Целью выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) является теоретическое исследование процесса утилизации органических отходов переработки 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 [23].

## 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 [22].

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 [25].

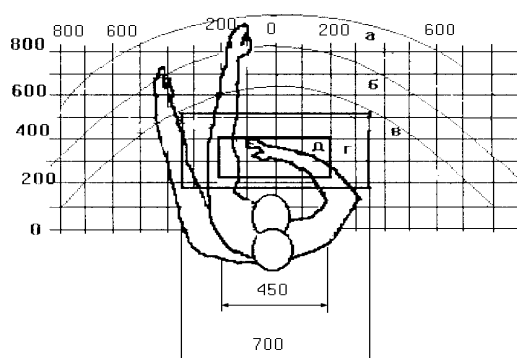


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

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 [25].

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 [25].

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 [25].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях [25].

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 [25].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ соблюдена компоновка рабочей зоны исследователя [25].



## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

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

В таблице 5.1 представлены опасные и вредные факторы в соответствии с проводимой работой в аудитории №001А.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы [25]

Факторы	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [26]
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [27]
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) [24]
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 [28]
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 [25]
6. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [29]
7. Пожаровзрывоопасность	НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности [30].

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) [24].

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> [25].

### **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 [26] 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 [26]. 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 [31]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью  $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$ . Объем лаборатории составляет:

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

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

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

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

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

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой аудитории №001А корпуса № 10 ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [31].

## 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 [27].

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) [27].

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 [27].

Таким образом установлено, что в лаборатории № 001А–10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [27].

### 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 [24] 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 [24].

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 [24] необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь рабочего помещения:

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

где  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 12 = 72 \text{ м}^2.$$

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

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

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

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , 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:

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

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:

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

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Diora со светодиодными лентами при  $\rho_{\text{п}} = 70 \%$ ,  $\rho_c = 50 \%$  и индексе помещения  $i = 2$  равен  $\eta = 0,52$ .

Тогда

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

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

Потребный световой поток светодиодных ламп:

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

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

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

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

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

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

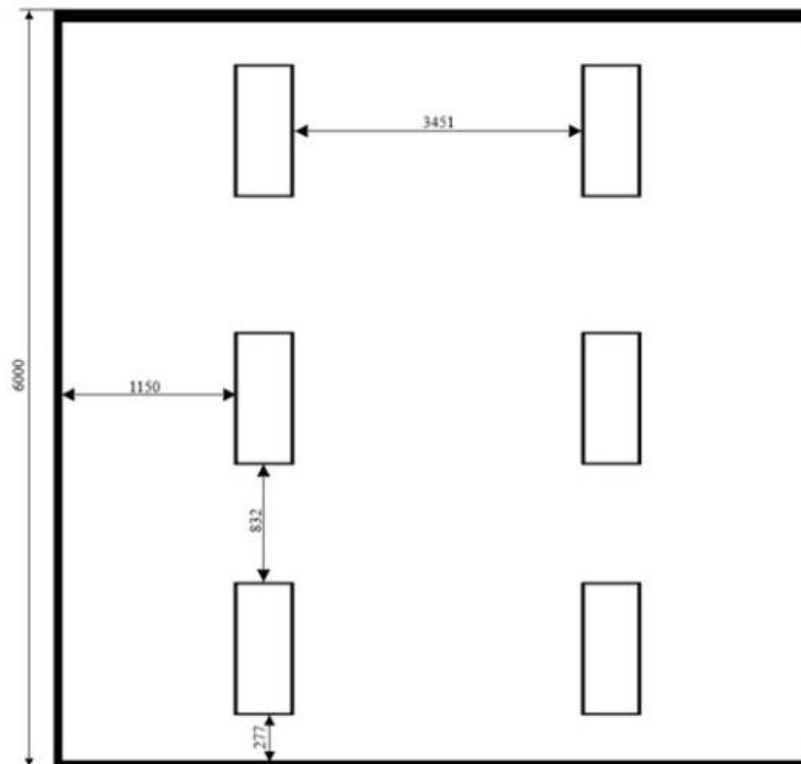


Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

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

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

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

$$P = 12 \cdot 9 = 108 \text{ Вт.}$$

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

### 5.2.6 Превышение уровня шума

Шум ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через



центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне [28]. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБА, что соответствует санитарным нормам [28]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ЭВМ. Уровень шума ЭВМ лежит в пределах 30-40 дБА, что также соответствует нормам.

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

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

В таблице 5.4 приведены нормы уровня шума при различных видах работ [28].

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 [28].

### **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 [28].

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 [24].

В аудитории № 001А корпуса № 10 ТПУ нервно-психические перегрузки не возникают в связи с отсутствием монотонности труда [24].

### **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 [29].

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 [29].

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 [24].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [29].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [29].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [29].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [29].

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 [29].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [29]:

- 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 [29].

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

По электробезопасности аудитория № 001А корпуса № 10 ТПУ относится к 2 классу [29].

### **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 [30]. 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 [30]:

- 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 [30].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [30].

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 [30].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [24].

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 [32]:

- 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 [32]:

- 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 [24];
- шум [28];
- электромагнитное излучение [27];
- освещенность [24];
- психофизиологические факторы [24];
- электробезопасность [29];
- пожаро-взрывобезопасность [30, 32].

Помещение № 001А корпуса № 10 ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [29];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [30, 32].

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 горючих отходов переработки отработавшего ядерного топлива. По их результатам рекомендован процесс плазменной утилизации ГОП ОЯТ в виде горючих водно-органических композиций.

2. Проведён расчёт показателей горения различных водно-органических композиций на основе ООП ОЯТ. По результатам расчетов рекомендованы следующие оптимальные составы горючих водно-органических композиций, имеющие адиабатическую температуру горения  $\approx 1500^{\circ}\text{C}$  и обеспечивающие экологически безопасную утилизацию данных отходов:

- - состав ВОК: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% Вода);
- - состав ВОНК: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% НОП ОЯТ).

3. Проведен расчёт равновесных составов продуктов плазменной утилизации полученной оптимальной по составу водно-органической композиции на основе ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в широком диапазоне температур и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя, а также проведена оценка удельных энергозатрат на процесс их утилизации. По результатам расчетов рекомендован следующий оптимальный режим для процесса их утилизации в воздушной плазме:

- состав композиции: (50% ООП ОЯТ (17,5% ТБФ : 32,5% ГХБД) : 50% Вода / (50% НОП ОЯТ);
- массовое отношение фаз: 65% Воздух : 35 % ВОК / ВОНК;
- температура:  $T = 1500 \pm 200 \text{ K}$ ;
- удельные энергозатраты на процесс:  $\text{Эуд} = 3,5 \text{ МДж/кг}$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wilson D. The Nuclear Fuel Cycle / D. Wilson // Oxford University Press, Oxford, 1996.
2. Ed W.W. Science and Technology of Tributyl Phosphate / W.W. Ed, J.D. // CRC Press, Florida, 1990, – Т. 3, № 2. – С. 11.
3. Choppin G.R. Chemical Separations in Nuclear Waste Management / G.R. Choppin, M.K. Khankhasayev, H.S. Plendl // Battelle Press, Columbus, 2002. – С. 3.
4. McKay H.A.C. Science and Technology of Tributyl Phosphate / H.A.C. McKay, J.H. Miles, J.L. Swanson // CRC Press, Florida. – Т. 3, № 2. – 1990. – С. 1
5. Pella E. Study of carbon, hydrogen and nitrogen determination by combustion-gas chromatography / E. Pella, B. Colombo // Microchimica Acta. – 1973. – Т. 61. – С. 697-719.
6. Madic C. Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, Sixth Information Exchange Meeting / C. Madic // Madrid, Spain, 11–13 December 2000', Nuclear Energy Agency, OECD, Paris. – 2001. – С. 53.
7. Birkett J. Recent developments in the Purex process for nuclear fuel reprocessing: Complexant based stripping for uranium/plutonium separation / J.E. Birkett, M.J. Carrott, O.D. Fox [и др.]. // Chimia. – 2005. – Т. 59. – №. 12. – С. 898-898.
8. Taylor R. J. The applications of formo- and aceto-hydroxamic acids in nuclear fuel reprocessing / R.J. Taylor, I. May, A.L. Wallwork [и др.]. // Journal of alloys and compounds. – 1998. – Т. 271. – С. 534-537.
9. Taylor R. J. Studies of U (IV) oxidation kinetics in nitric acid and TBP phases / R.J. Taylor, V.S. Koltunov, V.I. Marchenko [и др.]. // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2002. – Т. 39. – №. 3. – С. 355-358.
10. Advances in Actinide Science / J.E. Birkett, M.J. Carrott, G. Crooks [и др.]. // Royal Society of Chemistry, forthcoming.
11. Actinide Separations for the 21st Century / O.D. Fox, C.J. Jones, J.E. Birkett // ACS, forthcoming.

12. Reprocessing of spent nuclear fuel / I. May, R.J. Taylor, G. Brown // *Compounds* 1998. – Т. 650. – С. – 271-273.
13. Кулагин В.А., Кулагина Т.А., Матюшенко А.И. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами // *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2013. – №6. С. 123-149.
14. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М. : Химия, 1990. – 304 с.
15. Андрюшин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. – Саров, 1999. – 119 с.
16. Доклад МАГАТЭ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://protown.ru/information/hidden/4469.html>, свободный. – Загл. с экрана.
17. Андрюшин И.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. / И.А. Андрюшин, Ю.А. Юдин – Саров, 1999. – 119 с.
18. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. / Ю.А. Пантелеев, А.М. Александрук, С.А. Никитина // Л.: Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124-147.
19. Писаренко В.В. Справочник лаборанта-химика. Справ. пособие для проф.-техн. учебн. заведений. / В.В. Писаренко. – М.: Высшая школа, 1970.
20. Каренгин А.Г. Физика и техника низкотемпературной плазмы: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008.
21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение : учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев [и др.] : Томский политехнический университет. – Томск : НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
22. Кнышова, Е. Н. Экономика организации : учебник / Е.Н. Кнышова, Е.Е. Панфилова. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. – 335 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-8199-0696-5. – Текст :

электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1911502> (дата обращения: 22.05.2023). – Режим доступа: по подписке.

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

24. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 21.05.2023).

25. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (от 28 января 2021 г. № 2) // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 21.05.2023).

26. СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи : утв. Министерством юстиции Российской Федерации от 18.12.2020 № 61573 // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566085656> (дата обращения: 21.05.2023).

27. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений : утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21 // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 21.05.2023).

28. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> (дата обращения: 21.05.2023).

29. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки // Техэксперт :

[Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 21.05.2023).

30. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 21.05.2023).

31. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051557> (дата обращения: 21.05.2023).

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

33. ГОСТ 12.1.044-2018 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов // Техэксперт : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 21.05.2023).

## Приложение А

### Plasma utilization of organic waste after spent nuclear fuel reprocessing

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Минёнок Роман Анатольевич		

Консультант лингвист Отделения иностранных языков ИЯТШ

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

## **Designations and abbreviations**

NFC - nuclear fuel cycle;

SNF - spent nuclear fuel;

RW - radioactive waste;

OW SNF – organic waste from spent nuclear fuel reprocessing;

IW SNF - inorganic waste from spent nuclear fuel reprocessing;

TBPH – tributyl phosphate;

HCHB – hexachlorobutadiene;

WOC - water-organic composition;

WONC - water-organic nitrate composition;

FE - fuel element.

## Introduction

The creation of a closed nuclear fuel cycle is an innovative project that Russia is the first in the world to implement. It provides not only for the processing of spent nuclear fuel, but also for the extraction of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{U}$ , the production of MOX fuel on their basis and its supply to nuclear power plants. This makes it possible to dispose of all types of radioactive waste, while obtaining products that can be stored for a long time. However, in the process of SNF reprocessing, not only SNF reprocessing wastes are formed, including  $^{235}\text{U}$  fission products, but also organic SNF processing wastes, which are used extractants for the extraction of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{U}$  from SNF.

Ensuring safe life on Earth in the conditions of intensive development of nuclear energy requires solving the problem of processing organic waste, which is widely discussed in government, scientific and public circles in many countries. However, the current technology does not provide efficient technologies for this.

Radioactive waste from nuclear power plants and SNF have different characteristics. After processing spent nuclear fuel, it is possible to obtain new nuclear MOX fuel, which makes it a valuable product. On the other hand, radioactive waste is a specific type of waste that can only be neutralized by long-term storage for the decay of the radionuclides contained in it.

The proportion of plutonium and uranium  $^{235}\text{U}$  isotopes in nuclear fuel irradiated at nuclear power plants does not exceed 3%, while the remaining 97% is  $^{238}\text{U}$  and synthesized plutonium  $^{239}\text{Pu}$ . At the first stage of processing, SNF waste without uranium and plutonium, which are weakly concentrated water-salt solutions of metals, contain many non-radioactive products (REE, molybdenum, and others), as well as structural materials (zirconium, iron, nickel, chromium, manganese, and others). The isolation of some of them, for example, valuable and noble metals, may be potentially interesting for further use.

Making products from spent nuclear fuel is a labor-intensive process that requires a lot of time and energy. In addition, the existing technology does not



provide for the possibility of reusing valuable metals that are formed as a result of waste processing.

However, the use of high-temperature plasma can solve this problem, since it allows a significant increase in the energy concentration in the reactor compared to other methods. Plasma technology also has a high energy efficiency, which is due not only to efficient power sources, but also to a reduction in the number of stages in the process of obtaining materials. All this makes the production of products from spent nuclear fuel more efficient and economical.

In the course of the study, the process of disposal of organic waste obtained as a result of spent nuclear fuel processing was studied. For this, combustible water-organic and water-organic nitrate compositions were used, which were optimally selected in composition for carrying out the plasma utilization process in an air atmosphere.

## **1 Purex process (PUREX process)**

The processing of highly radioactive substances is a complex and costly process. To date, the most widely used method is the purex process, which includes the dissolution of fuel elements in nitric acid and subsequent purification of the solution.

To obtain pure U and Pu compounds, special methods are used that allow them to be isolated from fission products and shell elements. After that, plutonium dioxide  $\text{PuO}_2$  is used to manufacture new cores, and uranium is either used to produce cores or to enrich  $^{235}\text{U}$  [1].

The processing of fuel rods requires holding in special storage facilities for several years, so this process requires patience and a special approach. Another problem is the processing and disposal of waste that cannot be recycled.

Thus, the process of processing highly radioactive substances is a complex and multifaceted task that requires the most careful and responsible approach.

Recently, in connection with the improvement of separation technologies, there has been an international interest in the extraction of actinides from spent nuclear fuel. For this, the Purex process has been successfully used for several decades, which allows processing potentially valuable uranium and plutonium. Over time, this process has been refined and adapted to treat higher burnup fuels, as well as metallic and oxide fuels, to reduce solvent extraction cycles and waste generation.

New offers:

- One of the advantages of the Purex process is that it is able to process various types of nuclear fuel efficiently.
- In order to reduce the impact of nuclear energy on the environment, it is necessary to constantly improve and develop nuclear fuel processing technologies.
- Reprocessing of spent nuclear fuel is an important part of the entire process of generating electricity from nuclear sources.

In the context of modern environmental challenges, the issue of processing waste from nuclear energy is becoming increasingly relevant. That is why the development and improvement of separation technologies is one of the most

important tasks for the international community. The Purex process stands out among them for its efficiency and versatility, allowing it to process different types of nuclear fuel. It is necessary to constantly work on improving this process so that it becomes even more efficient and environmentally friendly.

The latest research and development in the field of aqueous fuel processing is dedicated to the improvement of the Purex process and the development of technologies for the separation of minor actinides. Particular attention is paid to the use of new extractants and the use of single-cycle technological schemes for solvent extraction and centrifugal contactors. Implementing such advanced Purex processes in future closed fuel cycles is a key challenge. Thanks to the advances made, hydro-fuel processing processes are becoming more efficient, the cost of installing WOC is being reduced, and the amount of waste generated is being reduced.

For the development of new technologies of nuclear energy, new changes in the technological scheme are rapidly having to be accepted. Changes already implemented include reductions in fission product deactivation factors, as well as U/Pu coprocessing and Pu/Np codesorption. But development does not stand still, and new improvements are aimed at solving other problems, such as resistance to non-proliferation and combustion of minor actinides, without adversely affecting products [2].

One of the interesting achievements confirming this direction is the demonstration of the efficiency of using simple hydroxamic acid complexing agents in the separation of U from Np and Pu. This approach can be applied not only in nuclear power engineering, but also in other industrial sectors where it is necessary to isolate certain substances from a mixture.

It should be noted that this technology does not solve all the problems associated with nuclear power, but is an important step towards creating more efficient and sustainable solutions. It is necessary to continue research and experiments in order to achieve more significant results in this area.

## **1.1 Purex process development and international experience**

The United States in the late 1940s became very active in large-scale processing of plutonium and fuel. Prior to the development of the Purex process, the bismuth phosphate precipitation method was used, which was very inconvenient and inefficient. Then solvent extraction processes were put in place. The use of the Redox and Butex process was widespread in different territories, but they quickly gave way to the Purex process [3].

The Purex process has rightfully earned a lot of accolades in the fields of chemistry and chemical engineering. This process has been shown to have a number of advantages over processes of similar characteristics and remains the dominant nuclear fuel reprocessing technology today. Its protective properties are highly appreciated by professionals and ensure safety in working with nuclear materials.

Despite the many benefits, some problems may arise when using the Purex process. Therefore, working with nuclear fuel always presents a certain risk and requires high qualifications and safe technologies.

Located in a natural area, the Purex processing plant is a special place that combines many facilities necessary for sustainable operation. At the main plant, spent fuel is converted into a solution of  $\text{HNO}_3$ , which is necessary for its chemical separation using extractors. The resulting individual nitrate products can then be used to produce solid oxide materials.

In addition to the main plant, an extensive infrastructure has been organized on the territory, which is of great importance for the operation of the plant. One of the important objects is a system designed for the treatment of solid waste resulting from processing operations.

Systems for the treatment of liquid and gaseous effluents play a special role in the arsenal of the plant's facilities. Their necessity is explained by the fact that in the process of processing various types of waste are released that require specific processing. The Purex processing plant is exactly the case when everything necessary for the sustainable operation of the facility is included in a single characteristic confirming its expertise and significance.

Reprocessing of oxide fuel is one of the key processes that helps to obtain valuable elements used in the production of nuclear energy. In the past, other countries have also had the experience of processing Purex on a different scale - USA, Germany, Russia, Belgium, India [1][2][4].

One of the key steps in reprocessing is the solvent extraction cycles, which help separate and purify uranium and plutonium from the rest of the elements. Certain steps were taken to optimize the process, such as reducing the number of cycles, using salt-free reagents, and introducing early separation of plutonium from uranium. Also, a new technology of contact equipment was used - impulse columns instead of mixer-settlers.

Therefore, thanks to the experience of many countries and technological progress, the processing of oxide fuel has become more efficient and environmentally friendly.

In the UK, the British Nuclear Group site at Sellafield is using new oxide processing methods. One example of this approach is a thermal processing plant that used three solvent extraction cycles. This process scheme differs from earlier processing methods at the Magnox plant, which used four cycles and a later separation.

The reagents used have also changed: instead of iron salts and sodium nitrite, the Sellafield site uses reagents that do not contain salts, U(IV) and gaseous oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>). This approach makes it possible to efficiently extract valuable components from oxides.

Thermal processing is one of the methods of processing nuclear waste, which is increasingly developing in the world due to its efficiency and safety. Despite the advantages of this method, the issue of nuclear waste processing remains relevant and requires deeper research and development.

The use of impulse towers for plutonium streams is one way to improve the efficiency of nuclear fuel reprocessing. Also, the separation plant can be integrated with other operations, which makes it possible to simplify and speed up the processing process. Notably, Thorp processes higher burnup enriched oxide fuels

from advanced gas cooled reactors (AGRs) and light water reactors (LWRs). This is in contrast to the lower burnup, short cooling and natural enrichment of uranium metal Magnox fuel, which is another interesting aspect in this area [1] [2] [4]. Let's look at some details of this process.

Impulse columns are a set of cylindrical columns filled with granules of a suitable material. Ceramic balls or metal balls are used to disperse the fuel flow and generate an impulse pressure that agitates and cleans the flow. As a result of this process, plutonium and other valuable products are separated. In other words, pulse towers are highly efficient in processing plutonium streams due to the use of a special material and the generation of high pressure pulses.

Assume that the iron stream contains a small amount of gold. The separating plant can be used to break the iron apart and strain out the gold. Likewise, pulse columns can be used to separate plutonium and other products in a stream where they are present in small quantities. In general, the use of impulse columns has many advantages for the nuclear fuel reprocessing process, which should be considered when developing new techniques in this area.

## **1.2 Advanced Purex process development**

The development of new technological processes is a key component for improving the processing of water-based fuels, especially in the context of the significance of the use of U, Np and Pu actinides. The use of Purex solvent extraction has shown to be highly efficient and reliable in operation, which implies the need for further improvement and modification of the process. Thus, the need for complete control over actinides within a single extraction cycle is a cornerstone in the development of new technological solutions.

In addition, it is important to ensure the flexibility of the process so that it can be applied to a wide range of raw materials on which processing will be carried out. It must be taken into account that for a quality processing process, the product specifications for the U stream must be at a high level.

This shows that the development of new technological processes for processing water-based fuels is one of the most relevant and promising areas in the field of energy and ecology. At the same time, such processes must inevitably meet high standards and requirements for product quality. In addition, when developing new processes, it is important to consider the possibility of their application in a wide range of resources, which will make the new technology more versatile and cost-effective.

Obtaining an easily cleaned product and effluents using kinetically fast CHON reagents [5] in ring centrifugal contactors is an important task that needs to be solved as quickly as possible. Previously, the German IMPUREX process was used for this purpose, which showed significant progress in the development of advanced processing of technological schemes [6]. His goal was to obtain products of high purity.

To achieve the desired result, it is necessary to conduct research and experimentation to find the best solutions. One such solution is the use of kinetically fast "CHON" reagents, which provide a fast and efficient response in ring centrifugal contactors. Through this process, the minimum volumes of easily cleanable product and effluents can be obtained, which is an important factor, especially when developing advanced process schemes.

In order to obtain high purity products and extract TRU actinides, it is necessary to methodically work through all stages of the process and take into account all possible factors that affect the quality of the product. It is important to remember that each process requires an individual approach and continuous improvement.

On an industrial scale, there is considerable success in operating the Purex process, which is based on the use of a high degree of clarification of the raw material in combination with a very high saturation process scheme. This makes it possible to achieve very high fission product DF values in the first contactor. A potentially useful innovation is currently being considered, complexation, which can replace the reductive removal of Np and Pu using simple hydroxamic acids. In this case, the

process can be even more efficient and environmentally friendly. In addition, it is important to note that the Purex process has a large historical knowledge base, which is an important factor when it is used on an industrial scale.

The development of new technologies for the recycling of TRU actinides in AFCs and generation IV reactors is a key issue in the nuclear power industry. Further improvement of the process is of great importance, so the attention of specialists is always focused on possible ways to improve it [7-11].

One of the main problems is the separation of trivalent actinides from lanthanides during water treatment. This is a complex and important task, which requires the development of new extractants.

It is important to note that there are many different approaches to improve the TRU actinide recycling process. Some of these approaches include the use of new technologies, the development of more efficient water treatment methods, and the creation of new materials through nanotechnology.

In addition, the solution to the problem of separating actinides from lanthanides can have wide applications in various industries, including medicine and electronics. Therefore, improving the recycling process of TRU actinides is of particular importance for society and the economy as a whole.



## **2 Ways to dispose of TBPH**

There are several options for using specialized microorganisms to decompose oil pollution, for example, hardly decomposable TBPH [12] can be mixed with an aqueous solution of mineral salts. This is a fast and effective way that allows you to provide microorganisms with all the necessary elements for life. Another option is to purify hydrocarbons with special strains of microorganisms that are able to quickly break down easily degradable substances. In any case, the microbiological method of hydrocarbon purification is one of the most promising areas of research in the field of ecology.

In the process of cleaning oil pollution, the microbiological method with the addition of hydrocarbons and special microorganisms has proven itself excellently. For example, under special conditions, the mixture is introduced into *Rhodococcus* sp., *Candida* sp. *Pseudomonas stutzeri* and other microorganisms. Aeration provides optimal impact on the polluted environment.

But not only this makes the microbiological method attractive for use in the environment. In ocean studies, the addition of these specific micro-organisms has been proven to provide the basis for more than 80% oil remediation.

Moreover, the use of the microbiological method prevents further environmental poisoning. At the opposite end of the technological advantages lies a security seal and an environmentally friendly solution - the method does not require the use of chemicals. This helps to keep the environment safe, achieve a clean and healthy environment and provide sustainable energy.

Disposal of waste containing thermobaric fuel (TBPH) is a major challenge faced by many industrial companies. But the purification process itself is not simple - the results of the chemical analysis showed that the decomposition of TBPH is impossible without a hydrocarbon liquid. However, there were ways to deal with this problem - the answer was the use of microbiological decomposition. Almost complete decomposition of a mixture of TBPH with hydrocarbons occurs with the help of hydrocarbon-oxidizing microorganisms.

There are several ways to dispose of TBPH, but degradation agents are distinguished, which differ in their composition and mode of action. First, the waste is collected and transported to special installations, where the decomposition process takes place with the help of microorganisms. This method is considered one of the most effective and safe, as it does not require the use of hazardous chemicals or high temperatures. This allows TBPH to be disposed of in a safe and environmentally friendly manner.

Biological methods for the disposal of municipal solid waste (TBPH) have become very popular in recent decades. Experts have developed several methods and technologies that allow more efficient and safe disposal of waste containing TBPH. But one of the methods stands out in particular - it involves the use of an aqueous medium with hydrocarbon-oxidizing microorganisms, mineral salts and C<sub>8</sub>-C<sub>30</sub> hydrocarbons as a means of decomposition. It is this composition that achieves the most effective disinfection of TBPH.

The original disposal methods for TBPH required high temperatures and the use of petroleum products to achieve acceptable results, but this has now changed thanks to biological methods. It is not necessary to heat the waste to high temperatures in order to dispose of it now. It is important to use a decomposition agent with additional components. This allows TBPH to be rendered harmless at temperatures between 15 and 30°C. The lower temperature and no need for petroleum products make the biological method more cost effective and hypoallergenic.

Currently, microbiological decomposition of TBPH is the most effective way to clean up contaminated soils. The essence of this method is to add an aqueous solution of mineral salts to the TBPH mixture, which are necessary for the vital activity of microorganisms. In addition, *Rhodococcus* sp. is also added to the mixture. *Rhodococcus maris*, *Rhodococcus erythropolis*, *Candida* sp. *Pseudomonas stutzeri*, as well as hydrocarbon liquid [13].

The process of microbiological decomposition must be carried out under aeration conditions. This is due to the fact that the microorganisms responsible for decomposition need access to oxygen for their vital activity.

Thus, the use of microbiological decomposition with the addition of hydrocarbon liquid and mineral salts is an effective way to clean contaminated soils and allows you to achieve a high degree of cleaning in a relatively short period of time.

The desire to neutralize wastes containing tributyl phosphate (TBPH) leads to the use of various cleaning methods. One of them is the microbiological degradation of TBPH, which is more efficient than other methods. Also, it should be noted liquid-phase oxidation of TBPH, which, in turn, is also an effective method of neutralization. But if a hydrocarbon liquid is added to the mixture, the decomposition of TBPH will be much faster and almost completely due to microorganisms, which makes this method even more efficient and less dependent on oil pollution. As a result, when choosing a neutralization method, it is necessary to take into account not only its effectiveness, but also the conditions in which it will be used.

There is an effective way to purify the spent TBPH-based extractant from hydrolysis products and yttrium - the process of washing with an aqueous alkali solution. Before choosing a specific cleaning method, a number of factors must be taken into account, such as the type and amount of waste, the availability of special equipment, etc.

To carry out the purification process, an aqueous solution of alkali must contain ethylenediaminetetraacetate Na (I) and metal alkali carbonate in a concentration of 0.6-0.8 mol / dm<sup>3</sup>. The process is carried out at a temperature of about 20 °C at a volume ratio of organic and aqueous phases from 1:1 to 2.

The success of this treatment method for wastes containing TBPH allows it to be considered as one of the possible options when choosing treatment methods. Specific application conditions must be taken into account to ensure cleaning efficiency and compliance with safety requirements.

In addition, it should be taken into account that after the cleaning process, the concentration of alkali should be at least 0.6-0.8 mol/dm<sup>3</sup>. In case of insufficient concentration, problems may arise with the processing of waste by further methods.

The TBPH decontamination method has its drawbacks in use, since its application requires the disposal of liquid toxic waste. Despite this, a method has been found, and NaOH or KOH solutions with a C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> fatty polyhydric alcohol are now used to help overcome these problems.

It is recommended to use xylitol waste as polyhydric alcohols to get the desired result. To do this, it is necessary to re-extract with an acidifier until a precipitate forms, which is then separated.

Next, NaOH or KOH is introduced into the re-extractor to the initial concentration and returned to the beginning of the regeneration process. Thus, safer and more environmentally friendly TBPH processing products are obtained.

This method of neutralization is becoming more and more in demand in the modern world, since it allows not only to dispose of waste, but also to obtain useful products for further use in industry. It also contributes to the improvement of the ecological situation, which is one of the topical issues in our modern life.

Disposal of spent TBPH extractants is an important issue faced by many industrial plants. The existing method of regeneration, although effective, is not without drawbacks. One of them is the high consumption of alkali used for this purpose.

The invention is based on the idea of using anodic and liquid phase oxidation. The liquid phase oxidation process is carried out using an oxidizing system generated electrochemically by passing direct current through a TBPH sulfuric acid solution. The current density should be in the range from 0.1 to 1 A/cm<sup>2</sup>. Thus, the neutralization of TBPH extractants can be carried out much more efficiently and economically.

It should be noted that the use of this method of neutralization will help reduce the harmful effects of spent extractants on the environment. This, in turn, can

improve the environmental safety of manufacturing enterprises and lead to a reduction in environmental risks.

The new invention opens up new possibilities in the field of disposal of spent TBPH extractants and gives hope that industrial enterprises can become more environmentally friendly in the future.

In the process of ensuring optimal operation of the system, it is necessary to consider the choice of sulfuric acid concentration in the range from 30 to 70 wt.%. This is due to the fact that it is necessary to ensure a low vapor pressure of the solvent, which is an important condition for the optimal operation of the entire system. In addition, thanks to this process, TBPH and intermediate products of its oxidation are in the apparatus in the form of an emulsion in a solution of sulfuric acid, which is an important step in the processing of spent mixtures.

But today we want to present a new invention that will allow us to neutralize the spent TBPH extractant using a new anodic and liquid phase oxidation technology. The use of this method is safer and more environmentally friendly, which makes it more preferable to use. In addition, this approach can reduce the cost of substance regeneration, which, of course, is an additional advantage of this method and saves the company's money. As a result, we can consider this invention as a new word in science and hope for its successful application in the future.

The study [14] described the nuances of the TBPH oxidation process. To avoid the accumulation of intermediate peroxide compounds, the process must be carried out at a temperature not lower than 10°C. However, it should also be taken into account that the process should not be carried out at a temperature above 70°C, as this may cause the formation of gaseous compounds and entrainment of unreacted substances from the reactor.

There is an alternative method for deep liquid phase oxidation of TBPH, which is based on the use of a non-diaphragm cell. This method makes it possible to generate an oxidizing system electrochemically, which makes it possible to destroy individual fragments of the TBPH molecule by oxidizing them at the anode and in the bulk of the electrolyte.

It is interesting to note that the non-diaphragm electrolyser is safer and more efficient to use. This technology has a high degree of control and avoids the formation of intermediate compounds that can adversely affect the environment. It also allows more precise control of the parameters of the oxidation process, which makes it more predictable and stable.

The TBPH oxidation process is an important step in chemical reactions. A number of factors need to be considered in selecting the appropriate process method, such as temperature, availability of the necessary tools and resources, and process-oriented goals.

The need to improve the processes of chemical reactions and prevent the possibility of formation of stagnant zones makes it necessary to pay attention to effective mixing. This is especially true when using liquid radioactive waste, such as spent extractant - TBPH.

For the safe disposal of spent TBPH, there is a special method that involves the emulsification of waste with carbonate-alkaline waste obtained at the stage of extractant regeneration. This allows not only to avoid possible environmental pollution, but also to increase the efficiency of resource use.

Alkaline carbonate treatment and sodium oleate are considered to be among the most efficient methods of disposal of radioactive organic waste in biological habitats. To achieve the correct emulsion, you need to take into account the ratio of components and add sodium oleate or its mixture with isoamyl and / or isobutyl alcohol in a certain amount.

The described method of disposal of the spent radioactive extractant in deep underground reservoirs is used. This allows you to protect the environment from hazardous influences.

In addition, it is necessary to constantly improve the methods of disposal of radioactive waste and conduct research on the development of new technologies and approaches. After all, our duty is not only to use natural resources, but also to take care of their preservation for future generations.

There are many factors to consider when handling waste to ensure efficient operation. One of the key points is the creation of an emulsion that will combine all the components of the waste. The situation depends on various factors, among which the volume fractions of isoamyl and / or isobutyl alcohol, which are 0.3 vol. parts, and carbonate-alkaline waste, which is 9 vol. parts. In addition, the presence of sodium oleate, g/l of carbonate-alkaline waste, which should be 100, plays an important role. All these components are able to form an emulsion, which in turn can be injected into a deep reservoir. This method of pushing away from the wellhead with carbonate-alkaline waste is a more economical and efficient way.

In order to ensure the safety of human life and preserve the environment, there is an effective way to dispose of radioactive organic waste. It allows you to remove waste from the biological environment, while being safe and effective. Researchers are constantly developing and improving this method to further improve the process and keep our society safer.

Modern spent nuclear fuel extraction process flowsheets use TBPH mixed with various diluents ranging from light to heavy with limited dissociation ability. This approach makes it possible to efficiently extract pure components from the mixture for further disposal. The use of this technology can lead to the accumulation of decomposition products of the extractant, which can disrupt the normal course of the extraction process [15].

Bioorganic waste in the modern world is a serious environmental problem. Disposal of radioactive organic waste is a necessary step in the struggle to preserve nature and human life. The method of disposal that is used today is no longer new, but has recently found new applications, especially in the design of nuclear power plants. It is important to note that scientific and technological developments in the field of disposal of nuclear fuel residues guarantee the safety of such a process.

There is one important issue that cannot be ignored when using HCHB as a diluent. It is not only about its corrosive properties, but also about the impact on the environment. For example, when using HCHB, radiolysis promotes the release of chlorine-containing acids, which, after contact with water, can lead to hydrolysis and

other hazards. If precautions are taken, the likelihood of corrosive processes can be reduced when using HCHB in diluents. For example, special protective coatings can be applied that reduce the contact of HCHB with metal surfaces. In addition, there are other safer thinner alternatives that are not as aggressive or cause corrosion problems.