

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Кафедра Техническая физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов

УДК 621.039.54: 621.039.75: 66.061.355

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Д	Павленко Анастасия Павловна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмент	Сечина А.А.	к.хим.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТФ ФТИ	Шаманин И.В.	д.ф-м.н, профессор		

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТФ ФТИ
_____ И.В. Шаманин
«__» _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Павленко Анастасия Павловна

Тема работы:

Моделирование и исследование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов	
Утверждена приказом ректора	от 21.01.2016 г. № 538/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать процесс плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов (АЭР) в виде водно-солеорганических композиций (ВСОК). Определить условия, обеспечивающие энергоэффективность и экологическую безопасность процесса плазменной обработки АЭР в воздушной плазме в виде ВСОК
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Аналитический обзор современных технологий обращения и переработки радиоактивных отходов. 2. Моделирование процесса плазменной обработки АЭР в виде ВСОК. Определение оптимальных составов ВСОК и режимов, обеспечивающих их энергоэффективную и экологически безопасную обработку в воздушной плазме. 3. Экспериментальное подтверждение рекомендованных условий для разрабатываемого процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов. 4. Экономическое обоснование проведения НИР. 5. Выводы по работе. Заключение
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	доцент кафедры «Техническая физика» Каренгин А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент кафедры «Менеджмент» Сечина А.А.
Социальная ответственность	ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.05.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	Павленко А.П.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Павленко Анастасии Павловне

Институт	ФТИ	Кафедра	Техническая физика
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Норматив заработной платы 2. Стоимость расходных материалов 3. Стоимость расхода электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Коэффициенты для расчета заработной платы 2. Тариф на электроэнергию
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисление во внебюджетные фонды 2. Расчет дополнительной заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования 3. Бюджет научно-технического исследования
2. Разработка календарного план-графика выполнения ВКР	1. Определение показателя технической готовности темы, длительности этапов, коэффициента календарности и продолжительности работ 2. Построение календарного план графика проведения ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение коэффициента социально-научного эффекта НИР 2. Определение коэффициента научно-технического эффекта дипломной работы 3. Оценка ресурсной эффективности НИР

Перечень графического материала:

1. Календарный план-график выполнения ВКР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмент	Сечина А.А.	к.хим.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	Павленко Анастасия Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Павленко Анастасии Павловне

Институт		Кафедра	
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды электрической, пожарной и взрывной природы.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – безопасность вредных веществ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	Павленко Анастасия Павловна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 91 страница, 21 рисунок, 14 таблиц, 21 источник, 4 приложения.

Ключевые слова: плазма, высокочастотный факельный разряд, ВЧФ-плазмотрон, реактор, жидкие радиоактивные отходы, водно-солеорганическая композиция, плазменная обработка

Объектом исследования является процесс плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов в воздушно-плазменном потоке в виде водно-солеорганических композиций (ВСОК).

Цель работы – моделирование и исследование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов в воздушной плазме в виде ВСОК.

В процессе исследования проведено математическое и термодинамическое моделирование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов в виде водно-солеорганических композиций.

В результате исследования определены оптимальные составы горючих ВСОК и рекомендованы оптимальные режимы для практической реализации исследуемого процесса в воздушной плазме.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменной обработки жидких радиоактивных отходов.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для энергоэффективной обработки жидких радиоактивных отходов.

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

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

Температура вспышки – наиболее низкая температура, при которой воспламеняющаяся жидкость, нагреваемая при проверяемых условиях, выделяет достаточное количество пара, чтобы воспламениться (в виде вспышки) при соприкосновении с огнем.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит самопроизвольный процесс горения приводящий к возникновению пламенного горения или взрыва.

Адиабатическая температура горения – это температура полного сгорания смесей любого состава при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду.

Низшая теплота сгорания – количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учёта теплоты конденсации водяного пара.

Обозначения и сокращения

АЭР – азотнокислые экстракционные рафинаты.

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ–плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ВСОК – водно-солеорганическая композиция.

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы.

РАО – радиоактивные отходы.

ТРО – твердые радиоактивные отходы.

Содержание

Реферат	6
Определения	7
Обозначения и сокращения	8
Введение.....	12
1 Способы обращения с жидкими радиоактивными отходами.....	13
1.1 Способы обработки ЖРО	15
1.1.1 Соосаждение	16
1.1.2 Фильтрация	17
1.1.3 Дистилляция	19
1.1.4 Ионный обмен	20
1.1.5 Электродиализ	21
1.2 Отверждение	22
1.2.1 Битумирование	23
1.2.2 Цементирование	24
1.2.3 Остекловывание	25
1.3 Варианты и критерии подземного хранения	27
2 Моделирование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов в виде водно-солеорганических композиций	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Расчёт показателей горения водно-солеорганических композиций..	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Расчёт равновесных составов продуктов плазменной обработки водно- солеорганических композиций	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Расчет энергозатрат.....	Ошибка! Закладка не определена.

3 Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов в воздушной плазме.	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Описание схемы лабораторного плазменного стенда ..	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.2 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки азотнокислых экстракционных рафинатов...	Ошибка! Закладка не определена.
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	28
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	28
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	28
4.1.2 SWOT-анализ	29
4.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	31
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	31
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР	32
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	33
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	35
4.3.1 Расчет материальных затрат	35
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	37
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	39
4.3.4 Накладные расходы.....	39
4.3.5 Контрагентные расходы	40

4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	40
4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	41
4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	41
4.4 Определение ресурсоэффективности исследования	42
5 Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ- плазмотроне и ПЭВМ	Ошибка! Закладка не определена.
5.2.1 Организационные мероприятия.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2.2 Технические мероприятия.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2.3 Условия безопасности работы	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Пожарная и взрывная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
Выводы	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список использованных источников	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Г	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

В наше время количество органического топлива на нашей планете катастрофически сокращается, энергопотребление же растет. Данные условия подталкивают к развитию альтернативных источников энергии. Наиболее реальным источником энергии является ядерное топливо. Штатная работа ядерной энергетической установки имеет преимущество перед энергетической установкой на органическом топливе – минимальное вредное воздействие на окружающую среду. Однако не стоит забывать о возможности радиационной аварии и о скоплениях отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов. Реальное значение этих рисков ниже уровня многих других техногенных рисков. Однако общественность уже сформировала отрицательное мнение о ядерной энергетике, причиной тому послужили аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1».

Для того чтобы изменить это общественное мнение необходимо широко продемонстрировать реальную безопасность ядерной энергетической технологии. В этом поможет внедрение в ядерную энергетику энергоблоков с реакторами высокой степени безопасности, а так же постоянное совершенствование методов обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

1 Способы обращения с жидкими радиоактивными отходами

Количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), хранящихся на территории нашей страны, уже составляет около 500 млн. куб. м.[8] Само по себе хранение таких отходов является потенциальной опасностью для людей и окружающей среды. Это означает, что радиоактивные отходы (РАО) необходимо перерабатывать и окончательно надежно удалять из сферы деятельности людей, должна быть предусмотрена максимально возможная безопасность.

Многие страны придерживаются стандартного метода захоронения долгоживущих высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. Отходы помещаются в шахты, штошки или могильники, располагающиеся преимущественно в скальных массивах сиенитовых пород на глубине (700÷1000) м. [1]

В случае масштабных захоронений появляется существенная сложность в выборе места захоронения из-за повышения уровня риска и отсутствия подходящих природных условий.

На рисунке А1 представлена принципиальная схема стадий обращения с РАО. Основные правила по обращению с РАО, в общем, одинаковы и основываются на нормах, установленных национальными нормативными документами. (Приложение А)

Основное количество ЖРО образуется на предприятиях ядерно-топливного цикла (АЭС, заводы по изготовлению ТВЭЛ, заводы по обогащению и извлечению урана). Гарантия безопасности может быть обеспечена надежной локализацией наработанных РАО, их должной обработкой, а затем хранением и окончательным захоронением продуктов обработки. [1]

На образование ЖРО на предприятиях ядерно-топливного цикла могут повлиять:

- протечки теплоносителя;
- работа установок поддержания водно-химического режима контуров;
- работа установок спец водоочисток;
- процессы дезактивации оборудования, помещений и спецодежды.

Также ЖРО могут образовываться в санитарных шлюзах и радиохимических лабораториях.

Для переработки жидких радиоактивных отходов существуют специальные водоочистки (СВО). В таких СВО из ЖРО выделяют дистиллят, очищенный на столько, что его можно использовать для производственных нужд. Оставшиеся компоненты образуют кубовый остаток, обладающий высокой активностью, и радиоактивный газ. Также в процессе переработки ЖРО накапливаются, так называемые, вторичных ЖРО: отработавшие сорбенты, пульпы, регенерационные и промывочные растворы, которые также требуют переработки.

Если количество радионуклида в жидких отходах превышает допустимую норму концентрации для питьевой воды, можно сказать, что они радиоактивны.

ЖРО классифицируются по значению объемной активности на три категории: высокоактивные (ВАО), среднеактивные (САО) и низкоактивные (НАО) (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Классификация жидких РАО по уровню активности

ЖРО	Удельная активность, 10 Бк/л
Низкоактивные	Менее 3,7
Среднеактивные	$3,7 \div 3,7 \cdot 10^5$
Высокоактивные	Более 3,7-105 (более 1,0)

В таблице 2.2. представлено среднее количество образования радиоактивных вод, требующих переработки на энергоблоках различных типов реакторов в год.

Таблица 2.2 – Накопление ЖРО для энергоблоков различных типов реакторов.

Тип энергоблока	Радиоактивные воды, тыс. м ³ /год
ВВЭР-1000	20÷30
РБМК-1000	до 100
BWR	40÷60
PWR	10÷20

На первом этапе переработки ЖРО предварительно очищают и обрабатывают, после чего перерабатывают на специальных установках глубокого выпаривания, затем отверждают – включают в состав связывающих компонентов: битума, цементного раствора, стекла или керамики [2]

1.1 Способы обработки ЖРО

ЖРО содержат в себе примеси, эти примеси можно разделить на четыре группы.

Первую группу составят нерастворимые в воде взвеси в виде песка, продуктов коррозии, нерастворимых оксидов и гидроксидов. Также примеси первой группы могут содержать в себе органические вещества в виде измельченных ионообменных смол, сорбированных на частицах взвеси радионуклидов. Для извлечения этих примесей из растворов используют физико-химические процессы, основанные на адгезии, коагуляции и флотации. В завершении отчистки используют механические способы — отстаивание и фильтрацию.

Вторую группу составят примеси, находящиеся в коллоидном состоянии, и высокомолекулярные вещества. К примесям этой группы относятся минеральные масла, различные моющие препараты, некоторые органические вещества, а также органо минеральные частицы почв и грунтов,

поступающих из насосов с охлаждающей водой. Наиболее эффективными процессами очистки воды от этих примесей является соосаждение и метод обратного осмоса.

Третья группа включает в себя молекулярно-растворимые соединения – растворенные газы и некоторые органические соединения. Основным способом удаления из воды веществ этой группы являются дегазация и абсорбция.

В четвертую группу входят электролиты – вещества, которые диссоциируют в воде на ионы. Очистка воды от этих веществ основана на соосаждении и дистилляции. Также могут быть использованы ионообменные реакции, обратный осмос и электродиализ.

1.1.1 Соосаждение

Соосаждение – это захват примесей (микрокомпонентов) осадком макрокомпонентов. Соосаждение как способ обработки радиоактивных вод находит применение в ядерной энергетике в виде двух методов – объемной коагуляции и соосаждения с кристаллическими осадками.

Объемной коагуляцией называют процесс укрупнение коллоидных или грубодисперсных частиц. Такое слияние частиц происходит под действием молекулярных сил сцепления. При обработке воды методом коагуляции радионуклиды осаждаются совместно с осадками гидроксидов алюминия или железа [1]. Гидроксиды алюминия и железа образуются в результате гидролиза солей этих металлов. Кроме растворимых радиоактивных загрязнений коагулянты обеспечивают более полное осаждение взвешенных и коллоидных частиц, содержащихся в воде.

В целях увеличения степени очистки воды от радионуклидов методом объемной коагуляции процесс интенсифицируют добавлением в обрабатываемую воду сорбентов и реагентов, образующих с радионуклидами

труднорастворимые соединения. Например, добавление размолотого активированного угля и нитрата серебра.

При соосаждении с кристаллическими осадками, радионуклид, присутствующий в растворе в ионном или молекулярно-дисперсном состоянии, может соосаждаться с определенными кристаллическими осадками при их образовании в растворе. Широко применяется способ содово-известкового умягчения воды.

К недостаткам метода соосаждения можно отнести: относительно большой расход реагентов; необходимость достаточно точной дозировки их и поддержания определенной температуры воды и pH; образование большого количества РАО в виде пульпы.

Следует так же отметить, что метод соосаждения применяется в качестве предварительной очистки перед дистилляцией [2].

1.1.2 Фильтрация

Очищая воду от находящихся во взвешенном состоянии частиц, использует фильтрацию воды через слой зернистого материала. Очистка воды фильтрацией удобна в связи с определенными процессами, протекающими в процессе очистки: адгезия взвешенных частиц на поверхности материала; механическое задержание взвеси в порах, образующихся зернами фильтрующего материала. Если смеси имеют различные знаки заряда, то в процессе приближения частиц принимают участие и электрические силы. Разделяют два режима фильтрации через слой зернистого материала – медленный и быстрый.

Для медленной фильтрации характерны низкие скорости и, следовательно, очень большие площади фильтрующей поверхности, измеряемые тысячами квадратных метров – поля фильтрации. При медленном просачивании воды через песчаный грунт в самом верхнем его слое толщиной несколько сантиметров на поверхности песчинок образуется тонкая илистая

пленка, представляющая из себя продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и выполняющая основную функцию очистки воды от загрязнений. В верхнем слое грунта, толщина которого составляет около 8 см, находится около 90 % всех радиоактивных продуктов, во втором слое (толщиной около 20 см) — примерно 8 %, остальной же материал (толщиной примерно 170 см) содержит в себе лишь 2 %. При этом, наиболее качественно удаляются радионуклиды Zr, Y, Ce, для которых коэффициент очистки составит: $K_{оч} = 5-30$. Хуже удаляются ^{90}Sr , ^{106}Ru ($K_{оч} < 2$).

Но у такой системы очистки есть большой недостаток. Очень сложно собрать и удалить на захоронение радиоактивный песок (верхний слой). Нерациональна и его промывка песка, так как при этом образуется огромное количество ЖРО.

При очистке методом быстрой фильтрации воду пропускают под напором, создаваемым насосом, через прослойку крупнозернистого либо порошкообразного фильтрующего материала.

При быстрой фильтрации хорошо удаляются только радионуклиды, например оксидах железа, но лишь в том случае, если они связаны с хлопьями коагулянтами или сорбированы на продуктах коррозии. В силу чего, быстрая фильтрация применяется в основном вместе с объемной коагуляцией, как предварительная ступень очистки. Хорошо сорбируются некоторые радионуклиды находящиеся в дисперсном состоянии: ^{51}Cr , Mn, ^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{95}Zr , La, Ce, для них $K_{оч} = (15 \div 20)$. Слабее удаляются радионуклиды, которые находятся в ионном состоянии: ^{24}Na , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba . [2]

1.1.3 Дистилляция

Дистилляция является одним из наиболее эффективных способов очистки жидких радиоактивных отходов от растворимых солей. При проведении данного процесса ЖРО испаряют в дистилляторах (выпарных аппаратах, испарителях), затем пар конденсируют в охладителях. Некоторые примеси являются весьма малорастворимыми в пару, на этом и основана очистка воды.

При кипении воды образуются капли, содержание примесей в которых и их размер влияют на загрязнение пара. Капельный унос приобретает важное значение, вследствие того, что количество примесей в воде велико. Загрязнение пара можно описать соотношением:

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

где S_{Π} – содержание примесей в паре; $S_{\text{к.в}}$ – содержание примесей в кипящей воде; ω – коэффициент механического уноса (влажность пара).

Широкое распространение получила двухступенчатая промывка пара флегмой. При такой обработке пар оставляет большую часть активных примесей в слое флегмы, барботируясь через слой дистиллята. Такой подход обеспечивает высокую степень очистки ЖРО.

Необходимо заметить, что количество вторичных жидких РАО, при таком способе обработки ЖРО, минимально, что является большим плюсом. Но есть и негативные стороны: некоторые радиоактивные вещества могут улетучиваться с паром; происходит вспенивание и попадание высокоактивной пены в дистиллят, вследствие наличия поверхностно-активных веществ [1].

Рассматривая данный метод дистилляции в целом, можно сказать о его эффективности – обеспечивает высокий коэффициент очистки (порядка 10^4 по отношению к исходной воде); распространен – практически на всех АЭС.

1.1.4 Ионный обмен

В процессе ионного обмена происходит извлечение из водных растворов различных ионов при помощи их обмена на другие ионы, которые входят в состав фильтрующих материалов.

Используя данный метод, воду очищают пропусканием ее через слой ионитов, которые загружены в насыпной фильтр или намыты тонким слоем в намывном фильтре. Удаление из воды радионуклидов способом ионного обмена основано на том, что многие радионуклиды находятся в виде ионов или коллоидов, которые при контакте с ионитом также сорбируются фильтрующим материалом. [1]

Если солесодержание воды не превышает 1 г/л, то обработку радиоактивных вод методом ионного обмена можно считать экономически выгодной. Если же такое условие не выполняется, то смолы быстро истощатся, а заменить фильтрующий материал, вследствие его высокой стоимости обходится дорого. А если использовать регенерацию, то это приведет к появлению большого количества вторичных РАО, которые также необходимо будет переработать перед захоронением. В силу этих причин тому при обработке высокоминерализованных радиоактивных вод было предусмотрено их предварительное обессоливание методом дистилляции или обратного осмоса.

К недостаткам ионного обмена относятся: высокая стоимость ионитов; большой расход реагентов для регенерации; образование больших количеств ЖРО; низкая термическая и радиационная стойкость ионитов; низкая эффективность при очистке сильно загрязненных высокоминерализованных вод. Но нельзя не заметить, что метод является простым, надежным и вполне обеспечивает достаточно высокие значения $K_{оч}$ для ЖРО.

1.1.5 Электродиализ

Для очистки ЖРО также применяют электродиализ, основанный на явлении электролиза. Если к катоду и аноду приложить постоянный электрический ток, то катионы и анионы начнут двигаться по направлению к катоду и аноду, соответственно, разряжаются на них. При установлении на пути ионов полупроницаемые мембраны, которые могут пропускать катионы и анионы, тогда возможно разделение исходного раствора на чистую воду и концентрат (рис. 1.1).

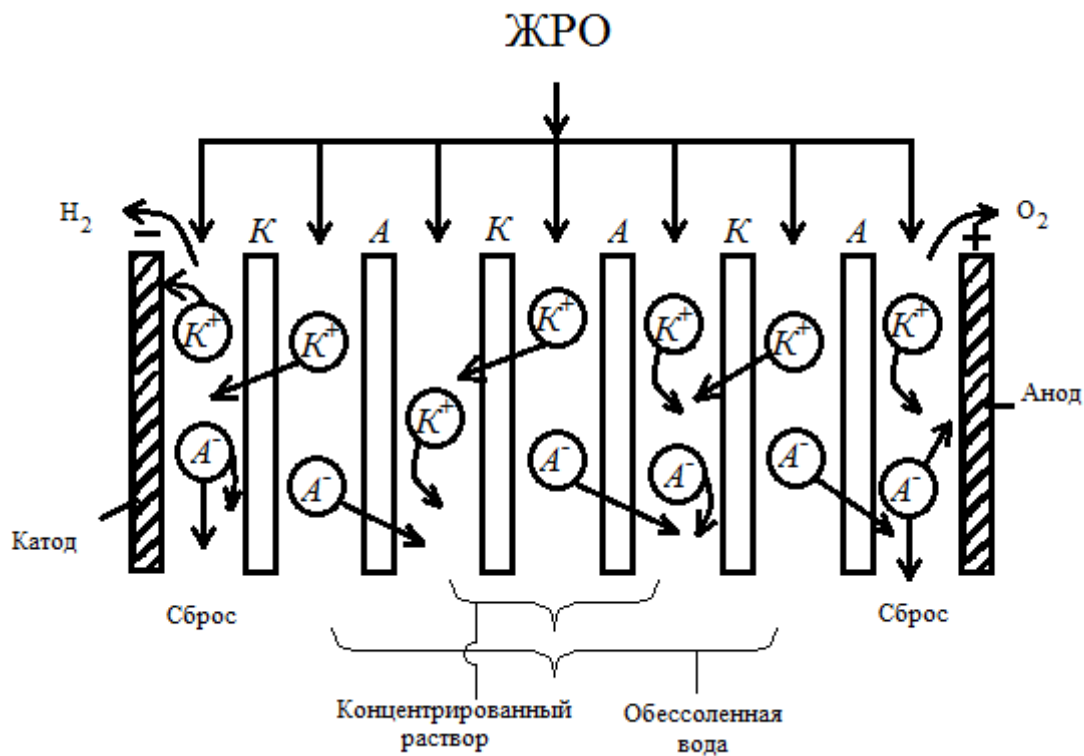


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема электродиализатора [3]

В крайних камерах электродиализатора происходит выделение газообразного водорода (катод) и кислорода (анод). Этот способ очистки воды от растворенных солей получил название электродиализа. Мембраны в условиях процесса служат только для селективного пропуска катионов и анионов и не требуют регенерации [3].

Для данного способа нужны особые мембраны, которым присущи определенные свойства: высокая селективность; малая проницаемость для воды; хорошая электропроводность; высокая механическая и химическая стойкость. Работают мембраны при солесодержании исходной воды до 8,5 г/л, обеспечивая $K_{oc} = 10$; объем опресненной воды составляет $(0,8 \div 1,1)$ мл $\text{м}^2/\text{с}$ с 1 м^2 площади поверхности пары мембран $(3 \div 4)$ л/ч с 1 м площади) [1]

В составе исходных ЖРО не должно содержаться взвешенных частиц, так как эти частицы могут осаждаться в камерах и вызывать образование кальциевых и магниевых отложений на мембранах. Чтобы предотвратить образование отложений выполняют подкисление ЖРО либо периодически изменяют полярности электродов в электродиализаторе. Когда электродиализатор находится в работе, в его камере может образовываться твердая фаза за счет электрокоагуляции коллоидных частиц. Изменив скорость воды можно легко удалить такой осадок.

Также существуют иные способы очистки ЖРО, такие как: флотация и вымораживание; обратный осмос; дегазация; ионоселективная сорбция.

1.2 Отверждение

Отверждение ЖРО обеспечивает безопасное, надежное долговременное хранения таких отходов. Из используемых и разрабатываемых методов отверждения жидких радиоактивных отходов необходимо отметить: битумирование, цементирование и остекловывание.

Если удельная активность ЖРО не превышает $(3,7 \div 10)$ Бк/л, то их отверждают. В случае, когда это значение больше, ЖРО разбавляются низкоактивными отходами.

1.2.1 Битумирование

Одним из самых широко применяемых методов отверждения продуктов переработки ЖРО является метод битумирования. Битум – универсальный связующий ингредиент. Он может включить в себя практически все продукты переработки ЖРО. К положительным сторонам данного метода можно отнести относительную простоту аппаратного оформления технологического процесса, а также и то, что битумный компаунд обладает хорошими характеристиками.

Битумирование концентратов ЖРО может проводиться в непрерывном или в периодическом режиме. Полученный битумный компаунд должен обладать заданными характеристиками: определенной влажностью, водостойчивостью, вязкостью. Для процесса битумирования существуют определенные рекомендации: температура $(130\div 160)^\circ\text{C}$; для пульпы ионообменных смол — 40°C ; наполнение (по массе) битумного компаунда по солям – 50 %, по ионообменным смолам – 40 % [1]

На примере отверждения кубового остатка рассмотрим установку битумирования ЖРО непрерывного действия. На рисунке 1.2 изображена схема установки битумирования периодического действия. Установка включает в себя: узел приема чистого битума (две емкости вместимостью 25^3 м каждая и дозировочная емкость 6), узел приема ЖРО 4 и дозатор 5, узел битумирования (битуматор 7, насос перекачки битумного компаунда 2 и контейнер-упаковка 1), узел конденсации и газоочистки (кожухотрубный конденсатор 70, сборник конденсата вместимостью 6 м^3 15, фильтры грубой 11, тонкой 12 очистки газов и вентиляционная установка 16).

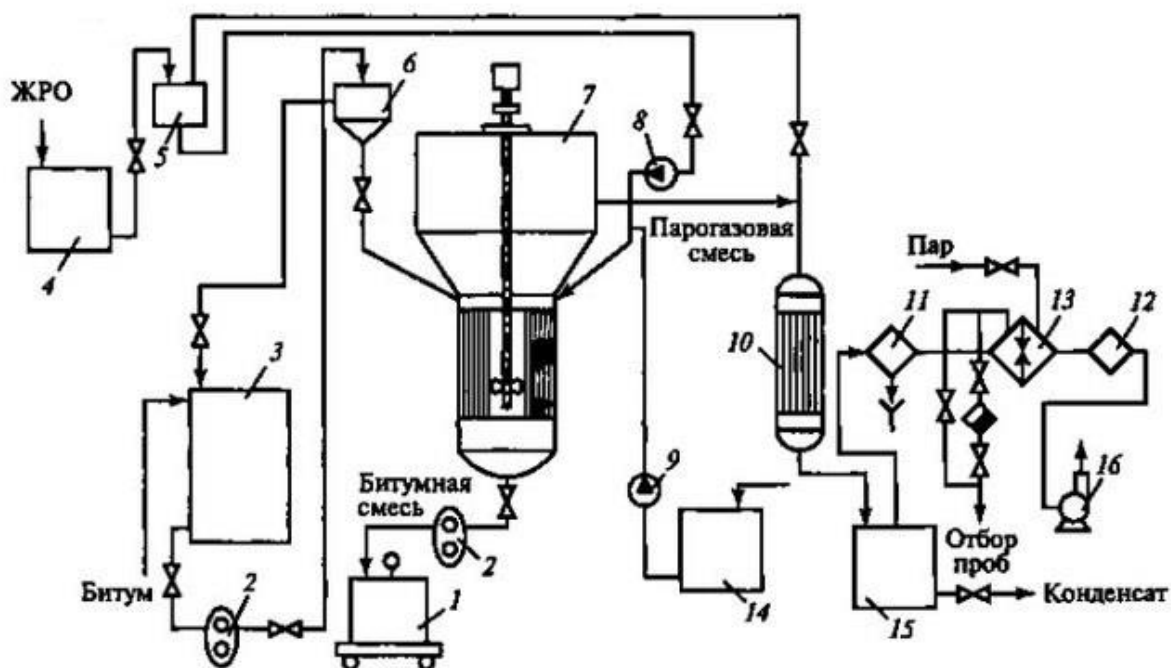


Рисунок 1.2 – Установка битумирования ЖРО периодического действия:
 7 – контейнер-упаковка; 2 – битумный насос; 3 – емкость чистого битума; 4 – емкость ЖРО; 5 – дозатор раствора; 6 – дозатор битума; 7 – битуматор ДБ-100; 8 – насос-дозатор; 9 – насос; 10 – конденсатор; 11, 12 – фильтры грубой и тонкой очистки; 13 – теплообменник; 14, 15 – баки промывочного раствора и конденсата; 16 – вентиляционная установка. [2]

Битуматор работает в циклическом режиме, за один цикл такой работы он переработает порцию ЖРО, которую удалят в транспортном теплоизолированном контейнере, объемом 1 м³. Далее, контейнеры сливают свое содержимое в специальный отсек гидроизолированного бетонного хранилища.

1.2.2 Цементирование

Еще одним процессом отверждения продуктов ЖРО является процесс цементирования. Жидкие отходы смешивают с цементом, в результате чего образуется материал, основанный на кристаллических соединениях

гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Чтобы получились прочные цементные блоки необходимо, чтобы выполнялось следующее условие: концентрация солей должна быть меньше 200 г/л.

К недостаткам цементирования ЖРО можно отнести небольшое сокращение объема конечного продукта, в сравнении с начальным объемом, который подается на цементирование. Максимально сократить объема можно в 1,3 раза, сохраняя удовлетворительное качество конечного продукта.

Перечислим некоторые способы цементирования:

- в емкости с мешалкой, из нижней части которой цементная смесь поступает на затаривание в бочки или бетонные емкости;
- в бочке, предназначенной для хранения цементной смеси, с перемешиванием ее в данной бочке мешалкой;
- в герметично закрытой бочке с помещенным в нее грузом при вращении бочки одновременно в нескольких плоскостях;
- в шнековом устройстве с перемешиванием цемента и ЖРО.

В первых двух случаях процесс обычно выполняется периодически [1].

1.2.3 Остекловывание

Остекловывание можно считать универсальным методом, который обеспечивает достаточно надежную локализацию радионуклидов жидких радиоактивных отходов любого уровня активности. Несмотря на то, что битумирование и цементирование обладают сравнительной простой технологией и аппаратным оснащением, они не смогут выпустить продукт отверждения достаточно высокого качества и обеспечить заметное сокращение его исходного объема. Стоит отметить также, что конечный продукт битумирования пожароопасен, а цементный продукт подвержен заметному выщелачиванию радионуклидов. В случае остекловывания радиоактивных отходов коэффициент уменьшения объема достигает (4÷6) при высоком

качестве конечного продукта и минимальной скорости выщелачивания (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Характеристики отвержденных ЖРО [4]

Параметр	Стеклоблоки	Битумно-солевой компаунд	Цементные блоки
Массовое содержание оксидов РАО в конечном продукте, %	до 40	10÷20	5÷10
Коэффициент уменьшения объема	4÷6	1÷1,5	0,7÷0,9
Прочность на сжатие, МПа	600÷1000	-	70÷200
Скорость выщелачивания, г/(см • сут): - ^{137}Cs - ^{90}Sr - ^{239}Pu	$10^{-5} \div 10^{-6}$ $10^{-6} \div 10^{-7}$ $10^{-6} \div 10^{-8}$	$10^{-3} \div 10^{-4}$ $10^{-3} \div 10^{-5}$ $10^{-3} \div 10^{-5}$	$10^{-2} \div 10^{-3}$ $10^{-2} \div 10^{-4}$ $10^{-2} \div 10^{-4}$

В начале остекловывание РАО применялось для высокоактивных отходов (РАО ядерного топливного цикла и регенерации ядерного топлива), а затем оно стало использоваться и для отходов среднего уровня активности. Работы велись в направлении определения оптимальных технологий процесса, состава стеклянной матрицы и режимов остекловывания: разрабатывались технологические процессы получения фосфатных и силикатных стекломатериалов. На первом этапе считалось, что наиболее надежными являются двухстадийный процесс с применением тигля разового использования и одноступенчатый процесс без предварительной кальцинации.

1.3 Варианты и критерии подземного хранения

Кондиционированные РАО могут быть помещены в подземное хранилище. Хранилище включает в себя геологическую среду и искусственные сооружения. В окружающую хранилище геологическую среду входят: пласты, в которых размещаются РАО; соседние пласты и природные материалы на поверхности земли. К числу искусственных сооружений относятся: вырытые полости; инженерные конструкции внутри полостей; материалы для подсыпки и герметизирования, а также сооружения на поверхности, которые связаны с эксплуатацией подземного хранилища (например, технические барьеры для защиты от эрозии и движения вод, установки для обращения с РАО). Вариантами подземного хранения являются:

а) помещение твердых радиоактивных отходов (ТРО) в специально спроектированные и сооруженные хранилища на достаточных глубинах (как правило, более 200 м) в таких континентальных породах, как каменная соль, глинистые образования или кристаллические породы;

б) размещение ТРО в искусственных или природных скальных полостях на различных глубинах, в том числе на глубине менее 200 м;

в) размещение ТРО в приповерхностных слоях с использованием или без использования технических барьеров (этот тип хранилищ также включает в себя хранилища, построенные на поверхности с последующей засыпкой их землей);

г) закачка самотвердеющих ЖРО в искусственные трещины в водонепроницаемых пластах, в том числе методом гидравлического разрыва пластов;

д) закачка жидких или газообразных отходов в изолированные пористые и водопроницаемые пласты [8].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование процесса плазменной обработки жидких радиоактивных отходов (азотнокислых экстракционных рафинатов) в воздушно-плазменном потоке. Отходы имеют вид диспергированных водно-солеорганических композиций, обладающих низшей теплотворной способностью, обеспечивающей их энергоэффективную плазменную обработку.

На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Также, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе технологии утилизации жидких отходов.

В данном разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

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

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе выполнения данной работы были определены оптимальные по составу водно-соле-органические композиции на основе азотнокислых рафинатов и установлены режимы, обеспечивающие их энергоэффективную

обработку в воздушной плазме. Разработка в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком предприятия ядерно-топливного цикла, входящие в госкорпорацию «Росатом». В частности ПАО «Машиностроительный завод» (г.Электросталь, Московская область), ФГУП ФИАО «Горно-химический комбинат» (г.Железногорск, Красноярский край)

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [12].

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

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

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

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

Слабыми сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

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

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

К возможностям данной технологии можно отнести:

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

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

К угрозам по отношению к технологии можно отнести:

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

Данные занесены в таблицу B1 (Приложение В)

Далее проведем поиск соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и построим итоговую матрицу SWOT – анализа. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Данные занесены в таблицу B2 (Приложение В)

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

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

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

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.1

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр Руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [12].

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 104 - 10} \approx 1.45$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	5,5
2	10	15	12	Б	12	17,4
3	5	7	5,8	Б	5,8	8,4
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	3,2
6	10	15	12	Б	12	17,5
7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3,5
8	5	7	5,8	Б	5,8	8,4
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
10	6	10	7,6	Б	7,6	11
11	4	7	5,2	Б	5,2	7,5
Итого:			66,2		60,3	87,4

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный

ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится на основе данных из таблицы 4.4 разбивкой по дням (декадам, месяцам) за период времени дипломирования. Работы на графике выделены различным цветом (штриховкой) в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план – график в виде диаграммы Ганта приведен в таблице В3.(Приложение В)

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.
- Рассчитаем те, которые имеются в нашей работе.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при

разработке проекта:

К категории материалов относят:

- сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

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

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.5)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

$$C_{эл} = 2,7 \cdot 100 \cdot 16 = 4320 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.6)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

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

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 16 = 230,4 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_m = C_{эл} + C_{вд} , \quad (4.7)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.8)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы.

$$З_m = 4320 + 230,4 = 4550,4 \text{ руб.}$$

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

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.9)$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

Где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.11)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	104	104
-праздничные дни	10	10
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	—
-невыходы по болезни	—	
Действительный годовой фонд рабочего времени	204	252

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

Где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента $Z_{ТС}$ составляет 22300 руб.);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	22300	1,3	28990	1201	11	13211
Инженер	3300	-	3300	157	61	9577
Итого $Z_{осн}$						22788

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.14)$$

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

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,271 \cdot 14532 = 3938 \text{ руб.}$$

4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = k_{\text{нр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.15)$$

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

$$З_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 14532 = 4360 \text{ руб.}$$

4.3.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования

производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

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

4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

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

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

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	4550	Пункт 4.3.1

2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	22788	Пункт 4.3.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	3938	Пункт 4.3.3
4. Накладные расходы	4360	Пункт 4.3.4
5. Контрагентские расходы	0	Пункт 4.3.5
6. Затраты на специальное оборудование для научных работ	0	Пункт 4.3.6
7. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 4.3.7
8. Бюджет затрат НТИ	35636	Сумма ст. 1–8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 88 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 35636 рублей.

Эта сумма оправдывается перспективами применения плазменного метода, а также установки на его основе для проведения по переработке жидких радиоактивных отходов.

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования. Данный показатель можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

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

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

Список публикаций

1. Павленко А.П., Каренгин А.Г. «Моделирование и исследование процесса плазменной обработки радиационно загрязненных водно-солевых отходов в виде азотнокислых экстракционных рафинатов» // II международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение», Томск, 19-23 октября 2015. С.34
2. Павленко А.П., Каренгин А.А., Каренгин А.Г. «Моделирование кинетики обработки радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций» // II международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение», Томск, 19-23 октября 2015. С.40