

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 – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов

УДК 621.039.75:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Помесячная Екатерина Дмитриевна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-2	Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа

ПК(У)-3	Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4	Способен использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готов к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способен к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готов к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способен к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готов к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готов к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13	Способен к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
ПК(У)-14	Готов разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способен к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Передерин Юрий Владимирович

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

Задание выдал руководитель

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Помесячная Екатерина Дмитриевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Д	Помесячной Екатерине Дмитриевне

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Коэффициенты для расчета заработной платы.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования. Исследование конкурентных технических решений. Проведение SWOT-анализа</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки сравнительной эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	канд. экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Помесячная Е.Д.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 0А8Д	ФИО Помесячной Екатерине Дмитриевне
-----------------------	---

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

Тема ВКР:

Исследование процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: иловые отложения жидких радиоактивных отходов. Область применения: атомная промышленность.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правовые нормы трудового законодательства; – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ: – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Помесячная Е. Д.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 73 страницы, 11 рисунков, 26 таблиц, 15 источников, 1 приложение, 38 формул.

Ключевые слова: плазма, высокочастотный факельный плазмотрон, жидкие радиоактивные отходы, иловые отложения, ило-органическая композиция.

Актуальность темы: в России накоплено более 400 млн. т. жидких радиоактивных отходов, а ежегодный их прирост составляет 10 млн. т. При этом применяемые методы переработки таких отходов многостадийны, крайне энергозатратны и неэкологичны. Вопрос необходимости новых, концептуальных решений по переработке жидких радиоактивных отходов, приобретает нарастающий интерес.

Цель работы: исследование процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов.

Задачи работы: определить показатели горючести и составы ило-органических композиций, обеспечивающие их энергоэффективную утилизацию. Определить оптимальные режимы процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде ило-органических композиций в воздушной плазме. Определить оптимальные режимы плазменной иммобилизации твердых продуктов утилизации иловых отложений.

Структура работы: работа включает в себя пять разделов, первый из которых содержит рассмотрение способов утилизации ИЛО; второй – определение оптимальных составов ИЛОК; третий – определение режимов плазменной иммобилизации; четвертый – экономический расчет и план-график работ; пятый – охрану труда и технику безопасности при работах с вредными веществами.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2015.

Содержание

Введение.....	11
1 Способы утилизации иловых отложений	12
1.1 Образование иловых отложений	12
1.2 Утилизация и стабилизация ИЛО	12
1.2.1 Плазменная утилизация	13
2 Термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде ило-органических композиций.....	14
2.1 Расчет показателей горючести ило-органических композиций.....	14
2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде ило-органических композиций.....	16
2.3 Энергозатраты на процесс плазменной утилизации ило-органических композиций	17
3 Экспериментальное подтверждение.....	20
3.1 Схема плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона	20
3.2 Плазменная утилизация иловых отложений	25
3.3 Плазменная иммобилизация иловых отложений	29
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	31
4.1 Потенциальные потребители ВКР	31
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	31
4.3 SWOT-анализ.....	33
4.4 Планирование проекта.....	34
4.5 Бюджет проекта.....	36
4.5.1 Расчет материальных затрат	37
4.5.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ .	37
4.5.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования	39
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	41
4.5.5 Накладные расходы	42
4.6 Определение ресурсной эффективности проекта.....	43

Выводы по разделу.....	46
5 Социальная ответственность	47
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	47
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	47
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	49
5.2 Производственная безопасность	51
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	51
5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов	53
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата.....	53
5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения	54
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	55
5.3.4 Превышение уровня шума	58
5.3.5 Психофизиологические факторы	59
5.3.6 Поражение электрическим током	60
5.4 Экологическая безопасность	62
5.5 Химическая безопасность	63
5.6 Пожарная и взрывная безопасность.....	64
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	66
5.7.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования	66
Выводы по разделу.....	68
Выводы по работе	69
Заключение	70
Список использованных источников	71
Приложение А	73

Введение

Образование радиоактивных отходов (РАО) неизбежное следствие применения в деятельности человека атомной промышленности. РАО являются небезопасными как для человека, так и для окружающей среды.

Обращение с РАО – актуальная проблема, которая имеет экологическое, социальное и экономическое значение. Накопление РАО обусловлено не только многолетней работой атомных электростанций (АЭС), но и недавно начавшимся выводом блоков АЭС из эксплуатации.

На предприятиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) за время работы накоплены миллионы тонн ЖРО в виде иловых отложений (ИЛО). Применяемые методы утилизации и стабилизации ИЛО являются многостадийными и требуют значительных энергозатрат [13, 14].

Таким образом, необходима разработка технологии, позволяющей переработать ИЛО менее энергозатратно и более экологично.

Цель работы заключается в исследовании процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов.

Задачи, способствующие достижению поставленной цели:

1. Обзор и анализ применяемых методов переработки ИЛО.
2. Расчет показателей горючести и состава ило-органических композиций (ИЛОК) на основе ИЛО, обеспечивающие их энергоэффективную переработку.
3. Термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации и иммобилизации ИЛО в воздушной плазме в виде ИЛОК, оценка энергозатрат на процесс и определение оптимальных режимов.
4. Экспериментальное подтверждение полученных результатов.

1 Способы утилизации иловых отложений

1.1 Образование иловых отложений

На предприятиях ЯТЦ за время работы накоплены миллионы тонн ЖРО в виде иловых отложений (ИЛО). Состав ИЛО представляет из себя набор элементов: 3–17 % Fe, 2,8–8,5 % Si, 0,2–3,2 % Ca, 1,0–2,8 % Mg, 0,7–1,9 % Na, 0,1–0,9 % P, H₂O – остальное [12].

Образованные иловые отложения в бассейнах выдержки имеют состав, сходный с составом речного ила. Речной ил, в свою очередь, состоит из глин на основе алюминия и кремния. Эффективность фильтрации воды механическими фильтрами от ила крайне мала, что влечет за собой его попадание в бассейны выдержки, формируя донные отложения [13].

1.2 Утилизация и стабилизация ИЛО

Извлечение радионуклидов или же выделение фракции отходов с большим содержанием радионуклидов – ориентир при переработке радиоактивных ИЛО. Применяемые методы утилизации и стабилизации ИЛО: сорбционные, химические, электрохимические, термические и другие [15].

Сорбционный метод заключается в добавлении сорбционных компонентов, позволяющих извлечь радионуклиды.

Химический метод обусловлен обработкой ИЛО химическими соединениями и дальнейшим извлечением радионуклидов.

Электрохимический метод подразумевает пропускание электрического тока через ИЛО, в последствии на одном из электродов накапливаются радионуклиды.

Все эти методы крайне энергозатратны и многостадийны, что является весомым недостатком. Перспективным является использование газоразрядной плазмы для переработки ИЛО.

1.2.1 Плазменная утилизация

Плазма – инструмент, при помощи которого можно разлагать практически любое вещество до атомарного состояния. В плазменной утилизации основной процесс – сжигание органической составляющей с предварительной ее газификацией при помощи плазмотрона. Сжигание сопровождается образованием пирогаза, очисткой продуктов сгорания и выбросом в окружающую среду обезвреженных продуктов в газообразном состоянии.

Неорганическая составляющая подвергается плавлению с последующим извлечением в виде жидкого шлака, образующего при застывании стеклоподобную массу. При захоронении благодаря соединению в шлаке вредных соединений масса поддерживает целостность, которая сохраняется сотни и даже тысячи лет. При захоронении такового шлака исключается риск загрязнения находящейся вокруг среды, в что количестве и от радиоактивных компонент, еще попадающих в состав шлака и накрепко удерживающихся в нем.

Плазмотрон позволяет создавать такие условия, как недостаток O_2 и высокая температура, что значительно уменьшает или даже исключает возможность появления опасных продуктов (диоксинов и фуранов).

Практически все типы домашних и промышленных отходов (например, удобрения, отходы пищевой индустрии, отходы птицеводства и свиноводства, отходы электрической индустрии, серосодержащие отходы, грязный почва, отходы керамики, пестициды и др.) очень эффективно перерабатываются при помощи плазменной технологии.

2 Термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде ило-органических композиций

2.1 Расчет показателей горючести ило-органических композиций

Для отнесения жидких отходов к категории «горючие» они должны обладать низшей теплотворной способностью (Q_n^p) более 8,4 МДж/кг. Величину Q_n^p вычисляют по формуле 2.1:

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_n^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (2.1)$$

где Q_n^c – теплота сгорания только горючего компонента (например, ацетона), МДж/кг;

W и A – содержание соответственно воды и негорючих минеральных веществ в ИЛОК, %;

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Однако, для многих отходов критерий оценки $Q_n^p \geq 8,4$ МДж/кг зачастую оказывается завышенным. Для более объективной оценки рассчитывается адиабатическая температура горения по формуле 2.2:

$$T_{ad} = \frac{(100 - v_{ок})Q_n^p + v_{ок} C_{ок} t_{ок}}{100VC}, \quad (2.2)$$

где $v_{ок}$ – массовая доля окислителя (воздуха), поступающего в реактор.

$t_{ок}$ – температура окислителя, 0 °С.

$C_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя (воздуха) при $T=300$ К, (кДж/м³/град);

V – удельный объем продуктов плазменной переработки ИЛОК (получаемый при термодинамическом моделировании процесса с использованием лицензионной программы «TERRA»), м³/кг;

C – объемная равновесная теплоемкость продуктов плазменной переработки ИЛОК, (получаемая при термодинамическом моделировании процесса с использованием лицензионной программы «TERRA»), кДж/(м³ · К).

Выбор оптимального состава ИЛОК произведен исходя из необходимой адиабатической температуры горения $T_{ад} \approx 1500$ К, которая обеспечивает самостоятельное горение.

Используя формулы 2.1 и 2.2 рассчитаны составы ИЛОК и занесены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Показатели горючести ИЛОК-1 на основе иловых отложений и ацетона

ИЛО, %	Ацетон, %	Q^H_p , МДж/кг	$T_{ад}$, К
80	20	2,24	393,94
77	23	3,59	635,58
75	25	4,49	802,58
72	28	5,84	1062,50
70	30	6,73	1242,39
67	33	8,09	1522,74
65	35	8,98	1414,06
62	38	10,33	2020,36

Анализируя полученные значения, можно рекомендовать ило-органическую композицию ИЛОК-1 на основе иловых отложений с адиабатической температурой горения $T_{ад} \approx 1500$ К, имеющую следующий состав: 65% ИЛО : 35% ацетон.

Таблица 2.2 – Показатели горючести ИЛОК-2 на основе иловых отложений и этанола

ИЛО, %	Этанол, %	Q^H_p , МДж/кг	$T_{ад}$, К
75	5	0,25	57,29
72	8	1,59	297,01
72	9	2,04	379,29
70	10	2,49	462,81
67	13	3,84	721,09
65	15	4,74	899,99
62	38	6,09	1179,09
60	40	6,99	1472,25

Анализируя полученные значения, можно рекомендовать ило-органическую композицию ИЛОК-2 на основе иловых отложений и этанола с адиабатической температурой горения $T_{ад} \approx 1500$ К, имеющую следующий оптимальный состав: 60 % ИЛО : 40 % этанол.

Так как ацетон имеет более высокую взаимную растворимость с ИЛО, в дальнейшем исследована ило-органическая композиция на основе ацетона ИЛОК-1.

2.2 Термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде ило-органических композиций

Для установления оптимального процентного содержания массовой доли воздуха в композиции проведено моделирование процесса в лицензионной программе «TERRA». В результате получены составы продуктов плазменной утилизации ИЛО в воздушной плазме в двух состояниях: газообразном и конденсированном. Давление в моделируемом процессе равно 0,1 МПа, диапазон температур довольно широк: 300÷4000 К

Рисунок 2.1 отображает составы ИЛОК-1 в двух состояниях: газообразном и конденсированном.

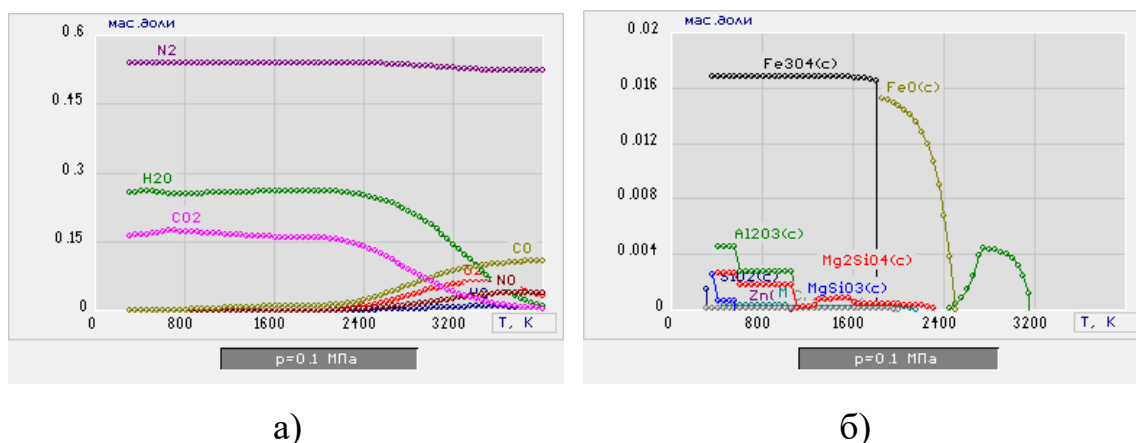
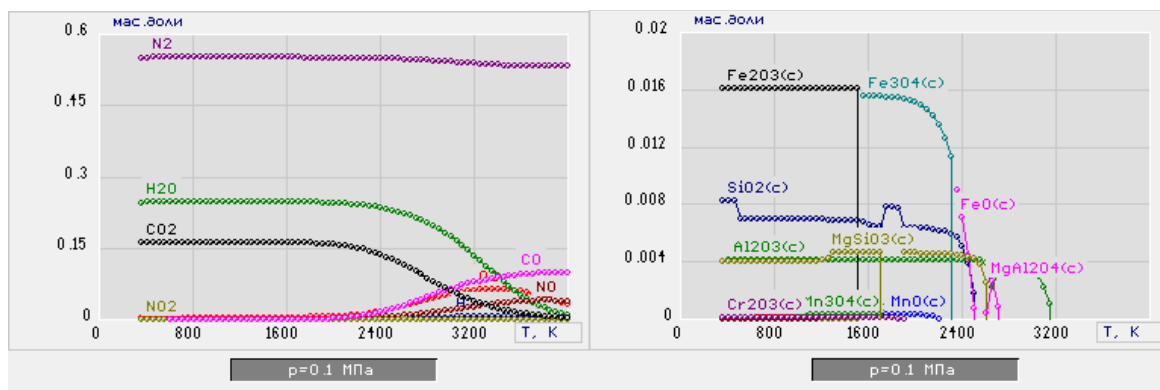


Рисунок 2.1 – Составы ИЛОК-1 (65 % воздух : 35% ИЛОК-1) в двух состояниях: газообразном (а) и конденсированном (б)

Проанализировав полученные составы (рис. 2.1 а и б) следует, что при рабочих температурах до 3200 К основными продуктами плазменной утилизации ИЛО в газообразном состоянии: N_2 , CO_2 и H_2O , в конденсированном: $Fe_3O_4(c)$, $FeO(c)$, $Al_2O_3(c)$, $Mg_2SiO_4(c)$, $ZnO(c)$, $MgO(c)$, $Mg_2SiO_4(c)$, SiO_2 .

Режим протекания утилизации ИЛО считается оптимальным при наличии магнитного оксида железа $Fe_2O_3(c)$. Наличие магнитного оксида железа в составе твердых продуктов позволит применить магнитное осаждение для их извлечения из водных суспензий при использовании «мокрой» очистки отходящих газов.

Увеличение процентного содержания воздуха в композиции до 70 % (рис. 2.2) влечет за собой появление в конденсированном состоянии магнитного оксида железа $Fe_2O_3(c)$, следовательно, режим протекания процесса можно считать оптимальным.



а)

б)

Рисунок 2.2 – Составы ИЛОК-1 (70 % воздух : 30 % ИЛОК-1) в двух состояниях: газообразном (а) и конденсированном (б)

2.3 Энергозатраты на процесс плазменной утилизации ило-органических композиций

При помощи лицензионной программы «TERRA» произведена оценка энергозатрат на утилизацию ИЛО. Для расчета затрат энергии по формуле 2.3

необходимы значения полной энтальпии I_T продуктов плазменной утилизации (I_T , кДж/кг).

$$\Delta_{\text{общ}} = I_T - I_{300} \text{ [кДж/кг]} \quad (2.3)$$

Удельные затраты энергии получены из расчета на 1 кг:

$$\Delta_{\text{уд}} = \Delta_{\text{общ}}/Z \text{ [кДж/кг]} \quad (2.4)$$

Полученные значения сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Затраты энергии на процесс утилизации ИЛОК-1 при различных температурах

T, К	I_T , кДж/кг	$I_T - I_{300}$, кДж/кг	$\Delta_{\text{уд}}$, кДж/кг	$\Delta_{\text{уд}}$, МДж/кг
500	-4900	269	7219,54	7,22
700	-4640	529	10208,97	10,21
1100	-4070	1099	13527,14	13,53
1500	-3450	1719	16813,73	16,81
2100	-2340	2829	85031,56	85,03
2300	-1820	3349	114378,42	114,38
2500	-1060	4109	287141,86	287,14

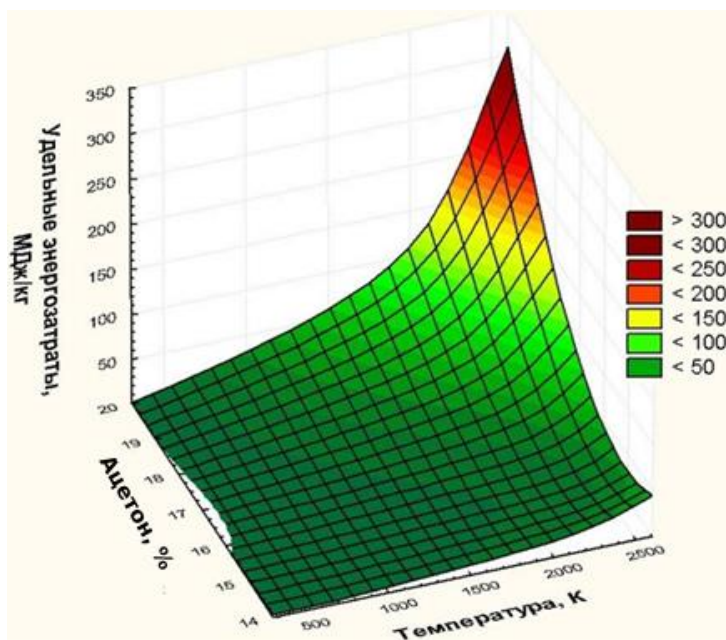


Рисунок 2.3 – Зависимость удельных затрат энергии от содержания ацетона и рабочей температуры

Используя полученные значения, оставлены рекомендации для практической реализации процесса плазменной утилизации ИЛО в виде ИЛОК:

- композиция ИЛОК-1 (65 % ИЛО : 35% Ацетон)
- массовое отношение фаз (70 % Воздух : 30 % ИЛОК-1)
- интервал рабочих температур (1500 ± 100 К);
- удельные энергозатраты ($14,6 \div 18,8$ МДж/кг).

3 Экспериментальные подтверждение

3.1 Схема плазменной установки на базе ВЧФ-плазмотрона

Экспериментальная установка на базе ВЧФ-плазмотрона предназначена для генерирования потоков неравновесной воздушной плазмы с температурой до 5000 К. Общий вид установки представлен на рисунке 3.1.

В общем случае экспериментальная установка представляет собой функциональное объединение двух блоков:

- высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13 (1);
- технологический блок (2).

Высокочастотный генератор ВЧГ размещён в экранированном металлическом шкафу, обеспечивающем надёжную защиту от электромагнитного излучения, и предназначен для питания установки.

Основные технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13 приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13

Величина	Ед. изм.	Значение
Напряжение питающей сети	В	380
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВт	100
Колебательная мощность	кВт	60±6
Рабочая частота	МГц	13,56±0,13
Коэффициент полезного действия	%	не менее 75
Напряжение анодное	кВ	10,4÷10,5
Ток анодный	А	7,6÷7,7
Ток сеточный	А	1,8
Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	не менее 1,4

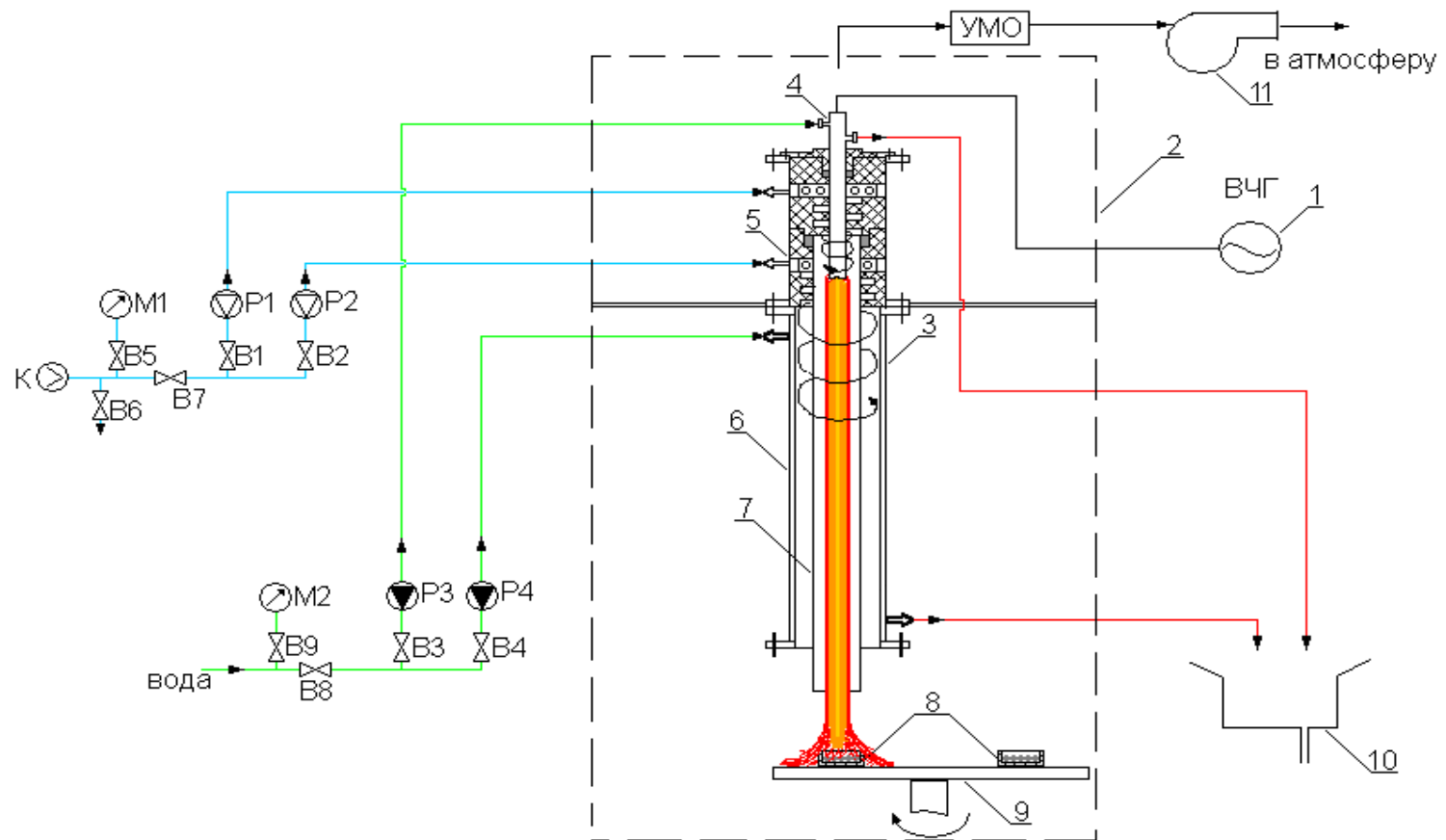


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазмотрона:

1 – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13; 2 – технологический блок; 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – водоохлаждаемый электрод; 5 – узел ввода плазмообразующего и охлаждающего газа; 6 – корпус ВЧФ-плазмотрона; 7 – кварцевая разрядная камера; 8 – тигель; 9 – подставка; 9а – кварцевая камера; 10 – слив охлаждающей воды; 11 – вытяжной вентилятор; УМО – узел мокрой отчистки; К – компрессор; М1, М2 – манометры; Р1-Р4 – ротаметры; В1-В9 – вентили

Технологический блок 2 предназначен для обработки проб материалов, помещенных в тигель 8 из термостойкого материала, струей воздушной неравновесной плазмы, которая генерируется ВЧФ-плазмотроном 3.

Предварительно подготовленная проба исходного материала загружалась в тигель 8 из термостойкого материала (нержавеющая сталь), взвешивалась на лабораторных весах ВЛТЭ-2200 (предел допускаемой погрешности ± 100 мг) и помещалась на подставку 9 под струю воздушной неравновесной плазмы, которая генерируется ВЧФ-плазмотроном 3.

После плазменной обработки пробы в течение заданного интервала времени тигель с пробой забирался, взвешивался и снова помещался на подставку 9 под струю неравновесной воздушной плазмы. Это продолжалось до прекращения уменьшения массы тигля с пробой. Опыт по каждому из составов исходного материала проводился трижды, после чего полученные результаты усреднялись.

Технологические режимы работы экспериментальной установки вычислялись при помощи следующих соотношений.

Потребляемая мощность ВЧ-генератора от промышленной сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

где I_a - ток анода А;

U_a - напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Мощность, выделяемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.2)$$

где \dot{m}_a - массовый расход воды, кг/с;

Δt_a - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = \dot{m}_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.3)$$

где \dot{m}_c - массовый расход воды, кг/с;

Δt_c - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/(кг·°С).

Мощность, выделяемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.4)$$

где $m_{эл}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{эл}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность, выделяемая на корпусе ВЧФ-плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

где $m_{кп}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{кп}$ - разность начальной и конечной температуры охлаждающей воды, °С;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_э), \text{ кВт} \quad (3.6)$$

Мощность плазменной струи есть разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, выделяющейся на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_г}, \text{ кДж/кг} \quad (3.8)$$

где $Q_г$ - массовый расход плазмообразующего газа, кг/с.

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

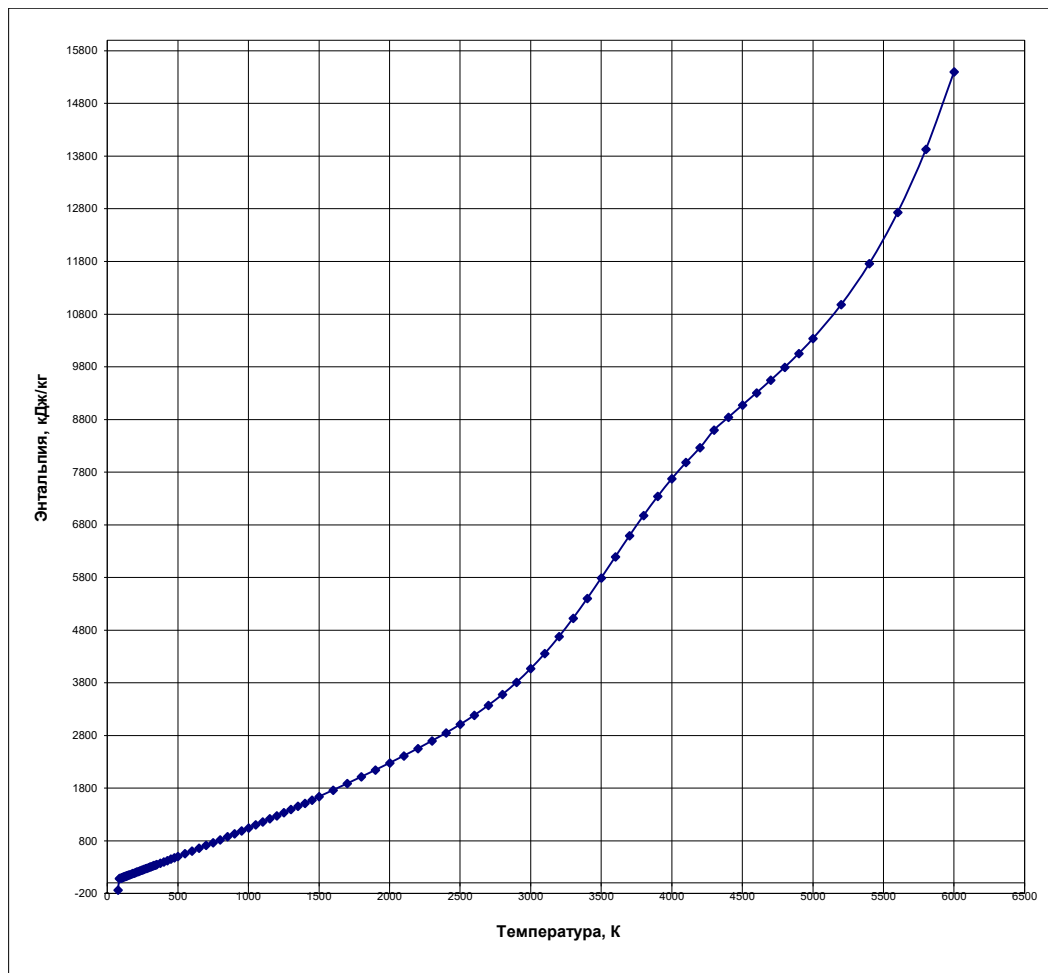


Рисунок 3.2 – Зависимость энтальпии воздуха от его температуры

В таблице 3.3 приведены технологические режимы работы установки. Эксперименты проводились при постоянном расходе плазмообразующего газа $Q_{\text{пг}} = 4,3 \text{ г/с}$.

Таблица 3.3 – Технологические режимы работы установки

№ п/п	U_a , кВ	I_a , А	I_c , А	P_o , кВт	P_a , кВт	P_c , кВт	$P_{эл}$, кВт	$P_{кп}$, кВт	$P_{стр}$, кВт	H_T , кДж/кг	$T_{стр}$, К
1	11,5	2,5	1,2	28,8	18,4	1,6	2,1	0,4	6,3	2149	1900
2	11,5	2,5	1,2	28,8	18,5	2,1	2,2	0,4	5,4	1899	1700
3	11,5	2,5	1,2	28,8	18,6	2,4	2,1	0,5	5,2	1824	1600

С учетом полученных результатов в табл. 3.3 выбираем режим работы установки, обеспечивающий максимальную среднемассовую температуру воздушной плазменной струи $\approx 1900 \text{ К}$.

3.2 Плазменная утилизация иловых отложений

В процессе экспериментов был проведен ряд опытов по сжиганию иловых отложений под струей воздушной плазмы для определения скорости плазменного горения иловых отложений в условиях воздушной плазмы, генерируемой высокочастотным факельным плазмотроном (ВЧФ-плазмотроном).

Вначале исходным сырьем была неоптимальная по составу ило-органическая композиция ИЛОК-1, включающая 10% иловых отложений: 10% ацетона : 80% воды. Исходная проба (20 г) загружалась в тигель 8, взвешивалась на лабораторных весах и помещалась на подставку 9 под струю воздушной неравновесной плазмы, которая генерируется ВЧФ-плазмотроном 3. После плазменной обработки в течение заданного интервала времени (30 сек) тигель с пробой забирался, взвешивался и снова помещался на подставку 9 под струю воздушной плазмы. Это продолжалось до прекращения уменьшения массы тигля с пробой. На рисунке 3.3 представлено изменение массы пробы неоптимальной ИЛОК-1 в процессе плазменного горения от времени сжигания.

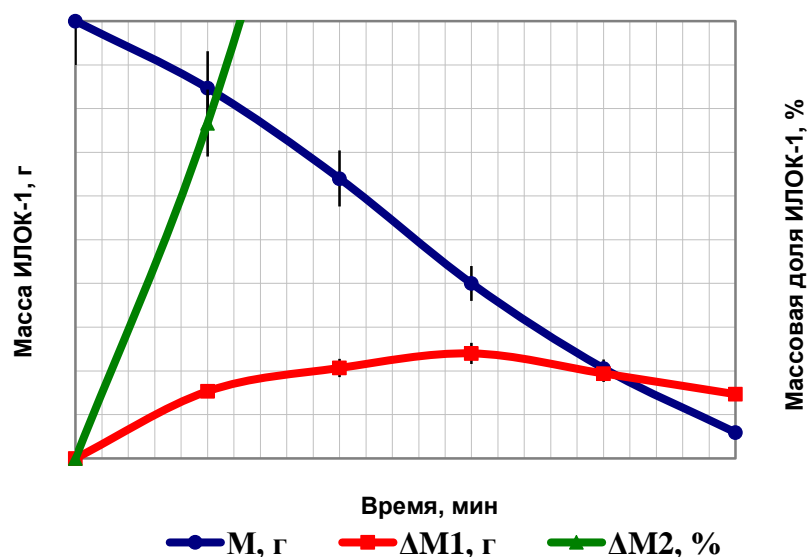


Рисунок 3.3 – Изменение массы пробы ИЛОК-1 в воздушной плазме ВЧФ-разряда (10 % ИЛО : 10 % ацетон : 80 % вода)

Из анализа полученных результатов (рис. 3.3) следует, что за первые 90 секунд выгорает основная масса ($\approx 60\%$), за вторую минуту еще 35% и далее происходит плавное дожигание оставшейся пробы. Общее время полного сжигания составило 2.5 минуты.

Далее предварительно подготовленная проба ИЛОК-1 (10% ИЛО : 20% ацетон : 70% вода). Навеска 20 г загружалась в тигель 8, взвешивалась на лабораторных весах и помещалась на подставку 9 под струю воздушной плазмы. После плазменной обработки (30 сек) тигель с пробой забирался, взвешивался и снова помещался на подставку 9 под струю воздушной плазмы.

На рисунке 3.4 представлены изменения массы M , массы между соседними замерами $\Delta M1$ и массовой доли $\Delta M2$ пробы ИЛОК на основе иловых отложений и ацетона при плазменной обработке в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

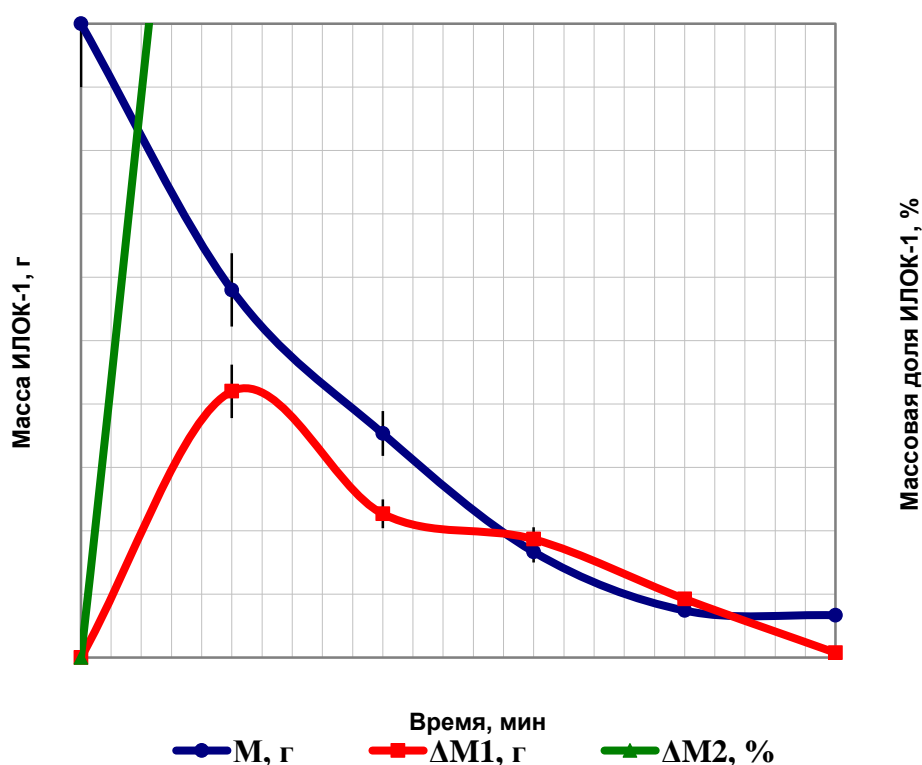


Рисунок 3.4 – Изменение массы пробы ИЛОК-1 в воздушной плазме ВЧФ-разряда (10 % ИЛО : 20 % ацетон : 70 % вода)

Из анализов полученных результатов (рис. 3.4), наибольшая часть ИЛОК-1 сгорает в 1-ю минуту (13 г), это преимущественно горение ацетона и выпаривание воды. Далее идет уменьшение массы сгорания в единицу времени до 1 г механических примесей. Зеленый график показывает, что к 150-й секунде эксперимента сгорело 94 % исходной навески ИЛОК-1.

Далее был исследован процесс плазменной утилизации ИЛОК-1 (10 % ИЛО : 30 % ацетон : 60% вода). Как и ранее, предварительно подготовленная проба ило-органической композиции на основе иловых отложений и ацетона (20 г) загружалась в тигель 8, взвешивалась на лабораторных весах и помещалась на подставку 9 под струю воздушной неравновесной плазмы, генерируемой ВЧФ-плазмотроном 3. После плазменной обработки (30 сек) тигель с пробой забирался, взвешивался и снова помещался на подставку 9 под струю воздушной неравновесной плазмы.

На рисунке 3.5 представлены характерные изменения массы M , массы между соседними замерами $\Delta M1$ и массовой доли $\Delta M2$ пробы ило-органической композиции на основе иловых отложений и ацетона при плазменной обработке в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

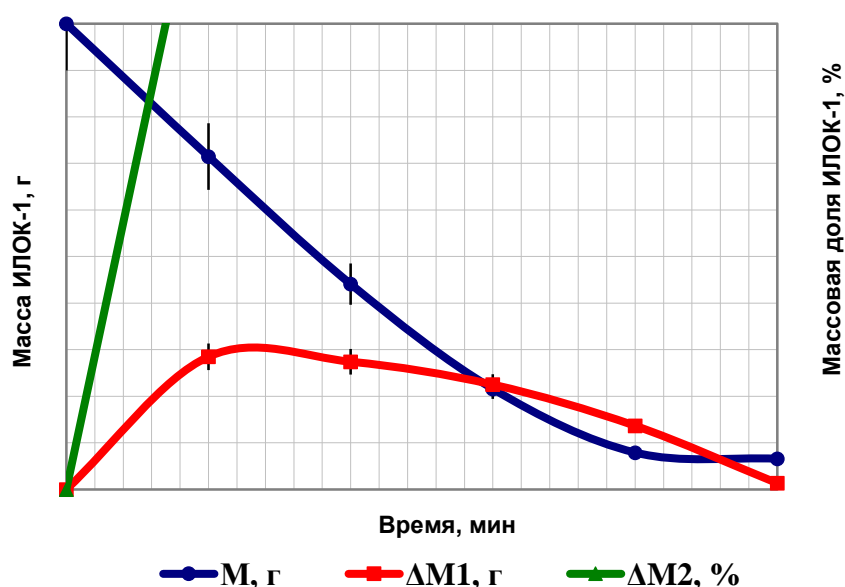


Рисунок 3.5 – Изменение массы пробы ИЛОК-1 в воздушной плазме ВЧФ-разряда (10% ИЛО : 30% ацетон : 60% вода)

Из анализа полученных результатов (рис. 3.5), что наибольшая часть ИЛОК-1 сгорает в течение первой минуты (11 г). Это преимущественно горение ацетона и выпаривание воды, далее идет уменьшение массы сгорания в единицу времени и, начиная с 150-й секунды, масса практически не уменьшается, это говорит, что в пробе остались механические примеси (1 г). Зеленый график показывает, что к 150-й секунде эксперимента сгорело 93% исходной навески.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований подтверждают рекомендованные режимы для процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде оптимальных по составу ило-органических композиций в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

3.3 Плазменная иммобилизация иловых отложений

На следующем этапе были проведены экспериментальные исследования процесса прямой плазменной иммобилизации модельных ИЛО в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному воздействию (NaCl, KCl). Состав исследуемой композиции: 90 % ИЛО-10 % NaCl.

В таблице 4.1 режимы работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона.

Таблица 4.1 – Режимы плазменной иммобилизации модельных ИЛО в расплаве хлорида натрия в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда

U _a , кВ	I _a , А	I _c , А	P _о , кВт	P _а , кВт	P _с , кВт	P _{эл} , кВт	P _{кп} , кВт	P _{стр} , кВт	H _т , кДж/кг	T _{пс} , К	η _п %
11,3	2,3	1,2	26,5	9,8	1,0	0,6	0,1	14,8	5030	3200	56,0
12,2	2,3	1,2	28,1	9,3	0,8	0,9	0,2	16,9	5545	3400	60,0
12,2	2,3	1,2	28,1	8,3	1,1	0,9	0,2	17,4	5850	3500	62,0
12,2	2,3	1,2	28,1	9,1	1,2	0,6	0,2	16,7	5710	3450	60,0

Рисунок 4.1 демонстрирует влияние мощности ВЧФ-разряда и массовой доли ИЛОК-1 на температуру плазменной утилизации.

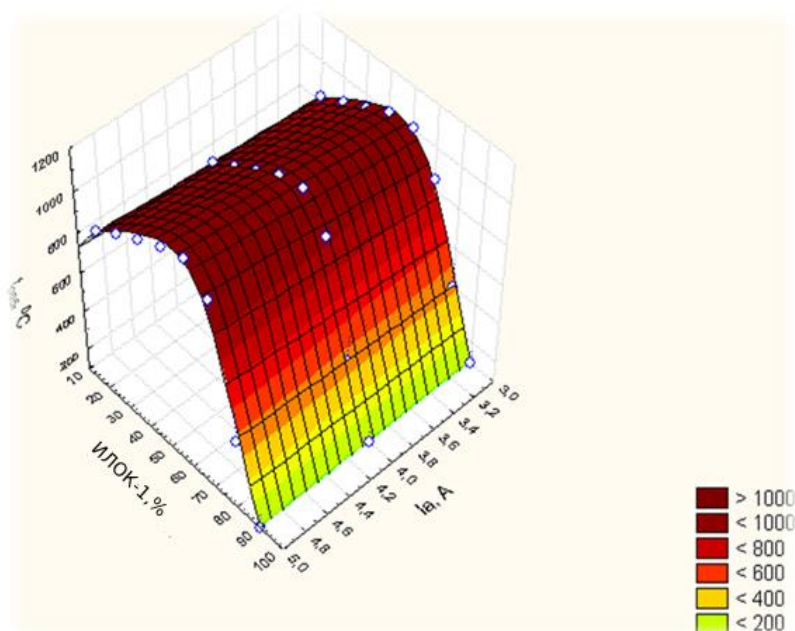


Рисунок 4.1 – Зависимость температуры от мощности ВЧФ-разряда и массовой доли ИЛОК-1

Анализируя полученную зависимость (рис. 4.1), получены основные режимы плазменной иммобилизации ИЛО в виде ило-органических композиций, полученные в ходе экспериментальных исследований процесса утилизации на модельных ИЛО:

- расход ИЛОК, л/ч ≈ 300
- массовая доля ИЛОК, % ≈ 50
- $T_{\text{раб}}$, °C ≈ 1100
- Затраты электроэнергии, МВт·ч/т ИЛОК $\approx 0,1$

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

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

4.1 Потенциальные потребители ВКР

В процессе выполнения ВКР были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести атомную промышленность и научно-исследовательские институты. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

В данной работе исследованы возможности процесса плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО в воздушной плазме ВЧФ-разряда

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1.

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 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{κ}	K_{ϕ}	K_{κ}
1. Скорость расчёта	0,5	5	4	2,5	2,0
2. Удобство использования выбранной модели	0,3	4	3	1,2	0,9
3. Простота понимания модели	0,1	5	5	0,5	0,5
4. Надежность модели	0,05	4	2	0,2	0,1
5. Сходимость модели	0,03	4	4	0,12	0,12
6. Адаптивность метода	0,02	4	4	0,08	0,08
Итого	1	26	22	4,6	3,7

Таким образом, можно сделать вывод о том, что исследуемый процесс переработки иловых отложений ЖРО по многим показателям является наиболее предпочтительным, чем традиционный метод, что подтверждает коэффициент конкурентоспособности $K_{\phi}(4,6) > K_{\kappa}(3,7)$.

4.3 SWOT-анализ

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

Приведем матрицу SWOT-анализа для процесса переработки иловых отложений ЖРО в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Невысокая стоимость переработки сырья.</p> <p>С2. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии.</p> <p>С3. Компактность необходимого оборудования.</p> <p>С4. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов.</p> <p>Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p>Сл4. Работа с модельными композициями.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В3. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Предлагаемая переработка иловых отложений ЖРО менее энергозатратна.</p> <p>2. В случае успеха удастся переработать часть захороненного отложений.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Повышение спроса на данную технологию обеспечит приток кадров.</p> <p>2. Использование научно-исследовательского потенциала ТПУ позволит подобрать необходимую композицию.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Неудача эксперимента.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на исследуемую технологию.</p> <p>2. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных композиций обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной композицией или в случае прекращения финансирования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.</p>

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

4.4 Планирование проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и исполнитель (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Термодинамическое моделирование процесса переработки иловых отложений	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона	И
	7	Анализ результатов работы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания ВКР	2	01.02.2022	02.02.2022	Помесячная Е.Д. Каренгин А.Г.

2	Календарное планирование работ по теме	4	03.02.2022	07.02.2022	Помесячная Е.Д.
3	Изучение материалов по теме	14	08.02.2022	22.02.2022	Помесячная Е.Д.
4	Анализ исходных параметров	5	24.02.2022	01.03.2022	Помесячная Е.Д.
5	Выбор метода выполнения работы	8	02.03.2022	10.03.2022	Помесячная Е.Д. Каренгин А.Г.
6	Применение метода к исходным параметрам	28	11.03.2022	09.04.2022	Помесячная Е.Д.
7	Анализ результатов работы	30	10.04.2022	10.05.2022	Помесячная Е.Д.
8	Составление отчета по работе	10	11.05.2022	21.05.2022	Помесячная Е.Д.
ИТОГО:		97			

Диаграмма Гантта – 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 4.11 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 4.11– Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение задания ВКР	Научный руководитель, Исполнитель	2	■													
2	Календарное планирование	Исполнитель	4	■													

	работ по теме																	
3	Изучение материалов по теме	Исполнитель	17	■														
4	Термодинамическое моделирование процесса	Исполнитель	7		■													
5	Выбор метода выполнения работы	Научный руководитель, исполнитель	9			■	■											
6	Исследование режимов работы ВЧФ-плазмотрона	Исполнитель	35					■	■	■								
7	Анализ результатов работы	Исполнитель	16										■	■	■			
8	Составление отчета по работе	Исполнитель	6															■

■ – исполнитель, ■ – научный руководитель.

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

4.5 Бюджет проекта

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.

4.5.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на плазматроне и на компьютере. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на этанол и нитрат магния $Mg(NO_3)_2$. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Этанол	60	2,5 л.	150
Нитрат магния $Mg(NO_3)_2$	1040	2,5 кг.	2600
Итого:	2750 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 2750 рублей.

4.5.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

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 4.13 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ	1	15	10000000	10000000

	8-60/13-01				
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
Итого:	1045000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.2:

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

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.3:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{15} = 0,06$$

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:

Модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,06 \cdot 10000000}{12} \cdot 4 = 200000 \text{ руб.}$$

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:

$$A = 200000 + 4950 = 204950 \text{ руб.}$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет составила 0,06, а общая сумма амортизационных отчислений 200000 рублей. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 4950 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 204950 рублей.

4.5.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

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.

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

где $K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты.

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

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

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

Средневзвешенная заработная плата рассчитывается по формуле 4.7:

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

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (10.4 месяца, при отпуске в 48 рабочих дней, 6-дневная неделя);

T_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.14).

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
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 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

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

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

k_z – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 37700 рублей. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	49010	2098	8	16780
Исполнитель	13890	18057	748	63	47135
Итого $Z_{осн}$					63915 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 4.16.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	16780	47135
Дополнительная зарплата, руб.	2517	7070
Зарплата исполнителя, руб.	19297	54205
Итого по статье С _{зп} , руб.	73502 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 19297 руб, а исполнителя – 54205 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 73502 рублей.

4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 19297 = 5828 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 54205 = 16370 \text{ руб.}$$

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 5828 руб., а для исполнителя 16370 рубля.

4.5.5 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.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

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

Накладные расходы составят:

$$Z_{накл} = 0,16(204950 + 2750 + 63915 + 22198) = 47010 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательского проекта, приведенная в таблице 4.17.

Таблица 4.17– 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
204950 руб.	2750 руб.	63915 руб.	9587 руб.	22198 руб.	303400 руб.	47010 руб.	350410 руб.

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 350410 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 47010 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

4.6 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 4.11:

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Энергосбережение	0,1	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	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 как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (4.12)$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

Проект	Бюджет, руб.	Интегральный финансовый показатель разработки
Текущий проект	350410	0.89
Аналог 1	180000	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:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p}, \quad (4.13)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a}, \quad (4.14)$$

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

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

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 4.15:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_p} \quad (4.15)$$

Таблица 4.19 – 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.

Выводы по разделу

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

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

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 350410 руб.;

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

5 Социальная ответственность

В работе проводится исследование процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов. Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии прямой плазменной утилизации и иммобилизации радиоактивных иловых отложений бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и других радиоактивных отходов.

Эксперименты проводились в лаборатории № 001А 10 корпуса Томского политехнического университета, при этом использовался плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

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 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [11]. 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 [11] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

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

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

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

– обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

– 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;

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

– 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.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [10].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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

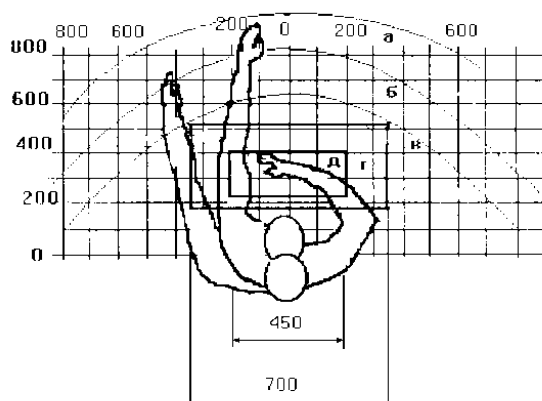


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г, д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно [6].

При выборе рабочего места, а именно письменного стола, должны быть учтены требования, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

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 [6].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

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

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную деятельность, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [6].

В лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ полностью выполняются установленные нормы [6].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения экспериментов в работе используется плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

Производственные условия на месте выполнения работы характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые по природе возникновения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [7].

Опасные и вредные факторы, которые могут воздействовать на персонал при проведении эксперимента и работе на ПЭВМ, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Опасные и вредные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами.	Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [1].
Работа на плазменной установке.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [2], СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [3].
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [4].
Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [5], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [2].

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- нервно-эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ отсутствуют.

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

5.3.1 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 нормами [7] и приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	22-24	40	0,1

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [7].

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию.

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 [7]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$. Объем лаборатории №001А составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 6 \text{ м} \cdot 12 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 504 \text{ м}^3. \quad (5.1)$$

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

$$BO = \frac{Q}{V} = (2400 \div 4400) / 504 = 4,8 \div 8,7. \quad (5.2)$$

Таким образом, установлено, что микроклимат в лаборатории №001А 10 корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [7].

5.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока, и является источником ВЧ-излучения. 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 [3].

Экран и системные блоки ЭВМ также 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 уровню, представленному в таблице 5.4.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [3].

Таблица 5.4 – 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 располагаться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

– применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [3].

Таким образом, установлено, что в лаборатории №001А 10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [3].

5.3.3 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.

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [7].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:

– комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;

– местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [7].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (5.3)$$

где a – длина, м; b – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2,$$

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 $K_s = 1,5$. Коэффициент неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

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

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

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

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

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

Из формулы

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

находим число светодиодных лент N

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

η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 6}{2(6 + 6)} = 1,5. \quad (5.8)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока светодиодных лент попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Dioga со светодиодными лентами при $\rho_{\Pi} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$ и индексе помещения $i = 1,5$ равен $\eta = 0,5$.

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,2} = 11,81 \text{ лент;}$$

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

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_n = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 2856 \text{ Лм.}$$

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 лаборатории №001А.

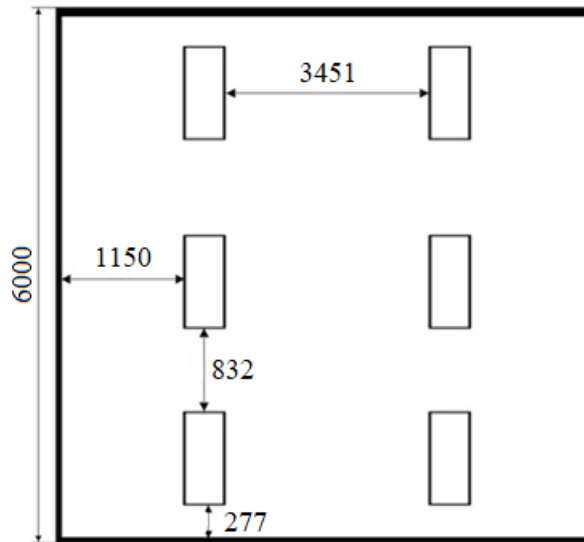


Рисунок 5.2 – План лаборатории №001А и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

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

$$\frac{(\Phi_{л\delta} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\delta} \cdot 100\%} = \frac{(2900 - 2856)}{2900 \cdot 100\%} = 1,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 12 \cdot 9 = 108 \text{ Вт}.$$

Рассчитано количество светильников и расстояние между ними в лаборатории №001А 10 корпуса ТПУ.

5.3.4 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но и действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди

многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБ, что соответствует санитарным нормам [5], приведенным в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
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	55

В лаборатории №001А 10 учебного корпуса ТПУ уровень шума соответствует санитарным нормам [5].

5.3.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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 активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развитию утомления, переутомления, стрессу.

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 [7].

5.3.6 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, то есть 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 [2].

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 [2].

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 [7].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [2].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [2].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [2].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [2].

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение, и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения [7].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [2]:

- 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.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

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 [7].

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

При выполнении ВКР в лаборатории №001А 10 корпуса ТПУ применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

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

5.4 Экологическая безопасность

В работе проводится исследование процесса воздушно-плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов. При этом используется плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 и ПЭВМ.

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и ВЧФ-плазматрон не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не

переработанном виде от века до полутора тысяч лет [7].

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте [7]:

- правильная утилизация;
- использование энергосберегающих ламп;
- использование аккумуляторов вместо солевых батареек.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии [7].

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде до сотен лет.

5.5 Химическая безопасность

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

В таблице 5.6 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [8].

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества малоопасные [8].

Таблица 5.6 – ПДК вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид самария	4,0	3
2	Оксид неодима	2,5	3
3	Оксид магния	3,0	3
4	Ацетон	0,2	4

Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных движимых лопастей, обеспечивающих скорость потока воздуха 18,76 м/с через газоход (вентиляцию).

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты: резиновые перчатки, лабораторный халат, респиратор «лепесток» [9].

5.6 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 [4]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [4]:

- 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 этанолом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола 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 [4].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [4].

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 [4].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [7].

Режимные мероприятия: установление правил организации работ, соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [7]:

- 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 [4]:

- сообщить руководству (дежурному);

- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону 112;

- принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.7.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – 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.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 5.7 рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидации последствий.

Таблица 5.7 – Чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
1	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
2	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
3	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

Выводы по разделу

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

- микроклимат [7];
- шум и вибрация [5];
- электромагнитное излучение [3];
- освещенность [7];
- психофизиологические факторы [7];
- химическая безопасность [8];
- электробезопасность [2];
- пожаро-взрывобезопасность [4].

Помещение № 001А 10 корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [2];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [4].

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

Выводы по работе

1. Проведён расчёт показателей горючести различных по составу ило-органических композиций на основе иловых отложений и ацетона. Определен состав ило-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1500 К и обеспечивающих их энергоэффективную утилизацию: ИЛОК-1 (65 % ИЛО : 35% ацетон).

2. Проведено термодинамическое моделирование процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде композиции ИЛОК-1 в широком диапазоне температур (300÷4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10÷90 %). По его результатам определены следующие оптимальные условия для практической реализации процесса, обеспечивающие получение магнитного оксида железа в составе продуктов:

- массовое отношение фаз (70 % Воздух : 30 % ИЛОК-1);
- интервал рабочих температур (1500±100 К);
- удельные энергозатраты (14,6 ÷ 18,8 МДж/кг).

3. Проведены экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации иловых отложений в виде композиции ИЛОК-1 в воздушной плазме ВЧФ-разряда. При рекомендованных режимах получены опытные партии порошков простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитный оксид железа.

4. Проведены экспериментальные исследования и показана возможность процесса прямой плазменной иммобилизации иловых отложений в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному воздействию.

Заключение

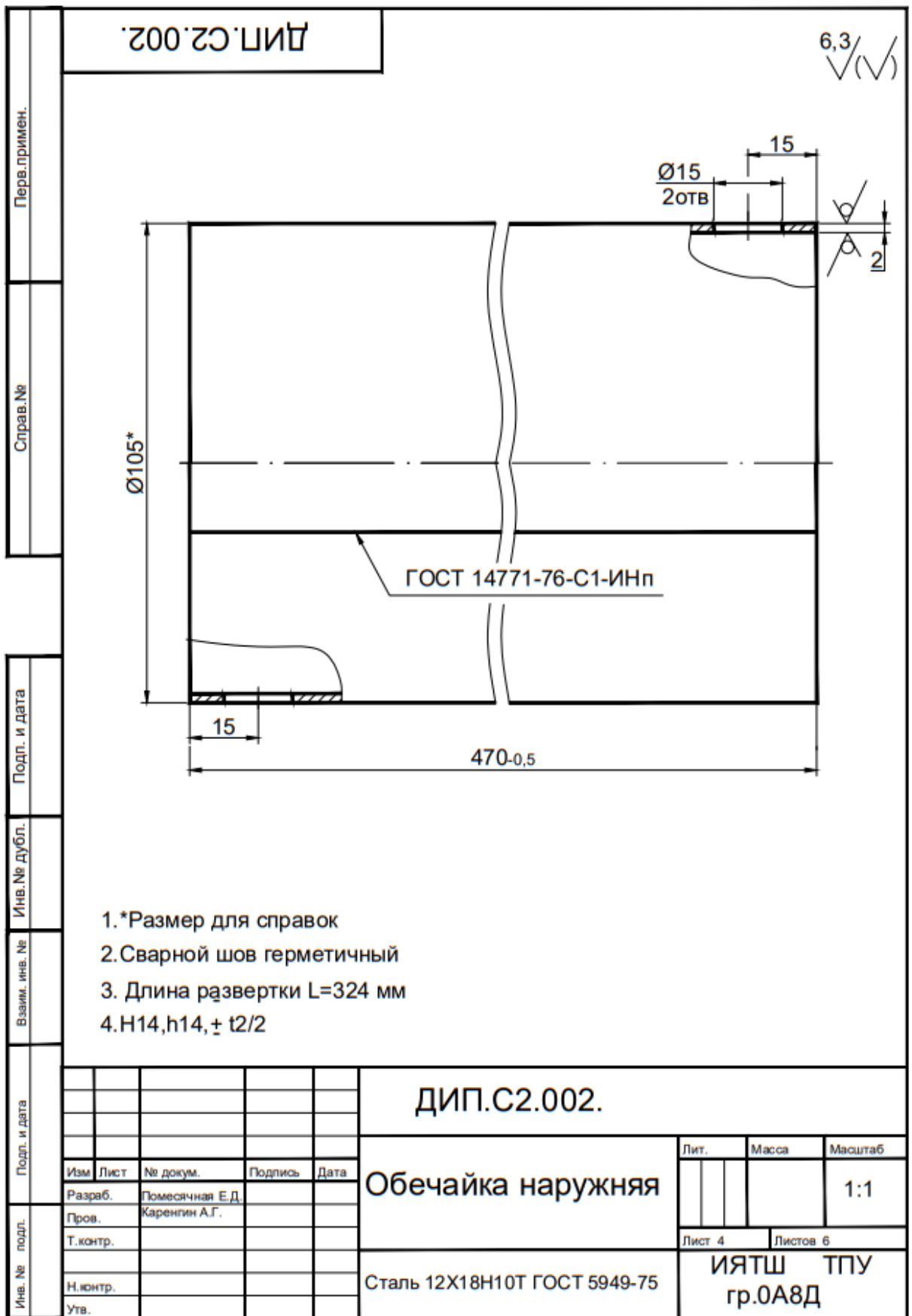
Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии и оборудования для промышленной утилизации и иммобилизации иловых отложений жидких радиоактивных отходов.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества».
2. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность».
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона».
4. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность».
5. СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ».
7. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
8. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
9. ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
10. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
11. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 28.03.2021) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002.
12. Орешкин Е. А., Каренгин А. Г., Шаманин И. В. // IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 18.
13. Соболев И. А., Хомчик Л. М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 75–78.
14. Шингарев Н. Э. и др. Способы обращения с илами водоемов-хранилищ радиоактивных отходов. // Экология и промышленность России, 2000. – № 3. – С. 43–45.

15. Shekhovtsova A. P., Karengin A. G. Efficiency Assessment of Using Flammable Compounds from Water Treatment and Methanol Production Waste for Plasma Synthesis of Iron-Containing Pigments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. – Vol. 142. – Article number 012045. – P. 1–7.

Приложение А



Формат А4