

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Отверждение жидких радиоактивных отходов путем создания МКФ-компаунда УДК <u>621.039.75:536.421.4</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5А	Титов Евгений Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник ОТЛ РЗ ФГУП ФЯО «Горно- химический комбинат»	Чубреев Д.О.	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
P2	Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.
P3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области
P4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
P5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
P6	Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных физических установок и приборов
P7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
P9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P10	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, официальной регистрации компьютерных программ и баз данных.

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра: Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой

(Подпись) _____
(Дата) Шаманин И.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич

Тема работы:

Отверждение жидких радиоактивных отходов путем создания МКФ-компаунда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	770/с от 10.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– иловые отложения с технологического тоннеля.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– обзор и анализ работ по тематике «Методы отверждения жидких радиоактивных отходов»; – подготовка лаборатории для проведения экспериментов в рамках диссертационной работы; – исследование влияния условий выдержки образцов на механическую прочность; – определение зависимости прочности МКФ от скорости перемешивания реагентов; – анализ влияния соотношения химических реагентов, температуры воды и времени выдержки на прочность компаунда; – испытание полученных образцов на прочность к сжатию; – испытание компаундов на устойчивость к воде; – оценка влияния количества иловых отложений на прочность компаундов;

	<ul style="list-style-type: none"> – поиск способов уменьшения гигроскопичности компаундов; – анализ результатов и выявление параметров осуществления процесса, влияющих на качество компаундов; – расчёт себестоимости проведения исследовательской работы; – разработка производственной безопасности при проведении экспериментов (в соответствии со стандартами и инструкциями по технике безопасности).
Перечень графического материала	– презентация;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Ермакова Я.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Literature review / Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник ОТЛ РЗ ФГУП ФЯО «Горно-химический комбинат»	Чубреев Д.О.	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Затраты на специальное оборудование, которые могут определяться согласно прейскуранту или договорной цене, затраты на заработную плату, которые рассчитываются исходя из тарифной ставки и коэффициентов. Страховые отчисления, прочие и накладные расходы, которые определяются исходя из полной суммы заработной платы исполнителя проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности для проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Иерархическая структура работ</i> 4. <i>Календарный план проекта</i> 5. <i>Бюджет проекта</i> 6. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, вредные химические вещества); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы). – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу)
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	электробезопасность, пожаробезопасность, требования охраны труда при работе на ПЭВМ, химическая безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения); – охрана окружающей среды.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Титов Евгений Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 117 с., 21 рис., 31 табл., 33 источников, 1 прил.

Ключевые слова: МКФ-керамика, компаунд, отверждение, радиоактивные отходы.

Объектом исследования являются свойства компаундов из дигидрофосфата калия и оксида магния при различных параметрах проведения процесса.

Цель работы – исследование и доработка существующего метода отверждения радиоактивных отходов путем создания МКФ-компаундов.

В процессе исследования проводились эксперименты по изучению свойств компаундов из дигидрофосфата калия и оксида магния при различных параметрах проведения процесса.

В результате исследования получены экспериментальные данные о влиянии на механическую прочность: условий выдержки образцов, скорости перемешивании реагентов, соотношении химических реагентов, температуры воды и времени выдержки компаундов, количества иловых отложений. Проведен поиск способов уменьшения гигроскопичности матрицы. Так же полученные образцы испытаны на прочность к сжатию и водостойчивость.

Степень внедрения: средняя.

Область применения: обращение с РАО.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

В будущем планируется продолжение исследований параметров процесса отверждения жидких радиоактивных отходов путем создания МКФ-компаунда.

Обозначения и сокращения

РАО – Радиоактивные отходы;

ЖРО – Жидкие радиоактивные отходы;

МКФ – Магний-калий-фосфатная;

АЭС – Атомная электростанция;

ЦГСЭН – Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора;

ТРО – Твердые радиоактивные отходы;

ПУХЖРО – Промежуточный узел хранения жидких радиоактивных отходов;

ТУЭ – Транс-урановые элементы;

ГРО – Газообразные радиоактивные отходы;

САО – Средне-активные отходы;

ВАО – Высокоактивные отходы;

ИСИ – Имитация сухого остатка ила;

ОЯТ – Отработавшее ядерное топливо.

Оглавление

Введение	12
1 Методы обращения с жидкими радиоактивными отходами	14
1.1 Происхождение и классификация жидких радиоактивных отходов	14
1.2 Очистка и концентрирование жидких радиоактивных отходов	17
1.3 Временное хранение жидких радиоактивных отходов	18
1.4 Отверждение жидких радиоактивных отходов.....	22
1.4.1 Физико-химические основы процессов отверждения.....	22
1.4.2 Характеристики отвержденных радиоактивных отходов.....	24
1.4.2.1 Механизмы выщелачивания радионуклидов	24
1.4.2.2 Стойкость отвержденных отходов к термическому воздействию.....	26
1.4.2.3 Воздействие на свойства отвержденных отходов ионизирующего излучения	27
1.4.3 Методы отверждения жидких радиоактивных отходов	29
1.4.3.1 Битумирование жидких радиоактивных отходов.....	29
1.4.3.2 Цементирование жидких радиоактивных отходов.....	32
1.4.3.3 Остекловывание жидких радиоактивных отходов	35
1.4.3.4 Включение радионуклидов в керамическую матрицу	37
2 Экспериментальная часть.....	41
2.1 Материалы и методы исследования	41
2.1.1 Применяемые методы в отверждении компаундов.....	41
2.1.1.1 Температурный контроль.....	41
2.1.1.2 Определение прочностных характеристик.....	42
2.1.2 Материалы для создания МКФ-керамики.....	43
2.1.2.1 Используемые реагенты	43
2.1.2.2 Иловые отложения	44
2.2 Исследование процесса отверждения с применением имитатора ила	45
2.2.1 Анализ влияния условий выдержки компаунда	45
2.3 Исследование процесса отверждения с применением ила, извлеченного из технологического тоннеля.....	47

2.3.1	Определение зависимости прочности МКФ от скорости перемешивания реагентов	47
2.3.2	Анализ влияния соотношения химических реагентов, температуры воды и времени выдержки на прочность компаунда	49
2.3.2.1	Испытание полученных образцов на сжатие	53
2.3.3	Испытание компаундов на устойчивость к воде	54
2.3.4	Оценка влияния количества иловых отложений на прочность компаундов	55
2.3.5	Способы уменьшения гигроскопичности компаундов	57
2.4	Обсуждение результатов	61
3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
3.1	Потенциальные потребители результатов исследования	63
3.1.1	Анализ конкурентных технических решений	65
3.1.2	SWOT-анализ.....	67
3.2	Планирование управления научно-техническим проектом.....	69
3.2.1	Контрольные события проекта	69
3.2.2	План проекта.....	70
3.3	Бюджет научного исследования	72
3.3.1	Расчёт материальных затрат	73
3.3.2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	74
3.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	75
3.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	76
3.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды	77
3.3.6	Накладные расходы	77
3.3.7	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	78
3.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	79
4	Социальная ответственность.....	83
4.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	83
4.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и с вредными веществами	85

4.2.1 Организационные мероприятия	85
4.2.2 Технические мероприятия.....	85
4.3 Условия безопасной работы.....	88
4.4 Химическая безопасность	90
4.5 Электробезопасность	92
4.6 Пожарная и взрывная безопасность	93
Заключение.....	96
Список публикаций студента.....	98
Список использованных источников	99
Приложение А.....	103

Введение

Актуальность темы. Проблема нарастающего дефицита традиционного вида топлива и планомерный рост энергопотребления в странах мирового сообщества вынуждает развивать альтернативные источники энергии, из которых ядерное топливо является наиболее перспективным [1].

Сильные стороны ядерной энергетики, по сравнению с традиционными видами, состоят в минимальном негативном воздействии на окружающую среду. Однако ядерные энергетические установки обладают некоторыми специфическими техногенными видами риска, обусловленные возможным возникновением радиационной аварии, а также накоплением радиоактивных отходов (РАО) [1]. Данный фактор сформировал определенное негативное мнение у общественности относительно ядерной энергетики. Демонстрация населению реальной безопасности ядерных технологий путем внедрения реакторов с достаточной степенью защиты и усовершенствованием методов обращения с радиоактивными отходами, позволит изменить общественное мнение в этом вопросе.

Так, по всему миру уже накоплено более 320 тысяч тонн отработавшего ядерного топлива, в частности, у России более 20 тысяч тонн. Важным моментом является наличие около 500 миллионов кубических метров жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в российских пунктах хранения. Передержка радиоактивных отходов сама по себе представляет потенциальную опасность для окружающей среды. Из этого следует, что радиоактивные отходы необходимо переработать и безопасно удалить из жизнедеятельности человека. Если же последнее невозможно на современном этапе развития технологий, необходимо направить радиоактивные материалы на длительное хранение, с соблюдением максимально возможной степени безопасности [2].

На данный момент существует ряд способов отверждения жидких радиоактивных отходов. Из реально применяемых и исследуемых технологий отверждения ЖРО стоит отметить включение в керамическую и цементную

матрицы, битумирование, остекловывание, а также переработку до солевого плава.

Наиболее перспективными материалами для отверждения ЖРО с точки зрения их последующего хранения и захоронения представляются различные типы керамики и минералоподобные композиции – аналоги природных минералов, доказавших свою долговременную стабильность (структурную, термическую, радиационную и т.д.).

Эффективность таких матриц объясняется возможностью иммобилизации ЖРО сложного состава, а также повышенной стойкостью к излому, плотностью и теплопроводностью по сравнению с другими видами материалов. Данные параметры свидетельствуют о том, что при одинаковом объеме, но более высокой плотности керамические компаунды способны содержать в себе на порядок больше радиоактивных отходов, чем другие виды матриц. Повышенная теплопроводность кристаллических керамик также будет содействовать снижению температурного градиента в матрицах, что уменьшает вероятность их термического разрушения [3].

Научная новизна результатов проведенных исследований эффективности технологии получения магний-калий-фосфатной (МКФ) керамики в лабораторных условиях состоит в следующем:

- получены образцы компаундов на основе дигидрофосфата калия и оксида магния с включением настоящих илов, извлеченных из технологического тоннеля;
- проведен анализ на соответствие свойств полученного компаунда требованиям, предъявляемым к РАО, отверждённым методом цементирования;
- определены рецептуры для компаундов, а также оптимальные характеристики процесса отверждения ЖРО.

1 Методы обращения с жидкими радиоактивными отходами

1.1 Происхождение и классификация жидких радиоактивных отходов

В ходе эксплуатации АЭС происходит наработка жидких отходов, включающие в себя множество радиоактивных элементов в объемах, не позволяющих сброс в окружающую среду.

Один из факторов попадания радионуклидов в ЖРО – нейтронная активация охлаждающего агента, который содержит в себе примеси. Подавляющее число продуктов активации воды приходится на K_{42} и Na_{24} с периодом полураспада 12 и 15 ч соответственно. Вследствие появления на активированных частях реактора коррозии в теплоносителе происходит накопление Fe_{59} , Mn_{54} , Co_{60} , Sb_{124} , Sb_{122} , Co_{58} , Cr_{51} . Из-за невозможности достичь полной герметичности твэлов, продукты деления могут попадать в теплоноситель. Во время загрузки реактора допускается наличие негерметичных твэлов до 0,1 %. Подавляющая часть продуктов деления, попадающая в теплоноситель – Sr_{90} и Cs_{137} [4].

Предотвратить накопление в реакторе и парогенераторе элементов коррозии представляется возможным, если периодически выводить из аппаратов часть теплоносителя, дезактивировать от радионуклидов и взвесей и возвращать в систему. Отходами аппаратов для поддержки водо-химического баланса называются ионообменные смолы байпасной прочистки теплоносителя.

Обеспечение минимального содержания примесей продуктов коррозии и растворимых солей в контурной воде достигается путем фильтрации воды через намывные механические фильтры, основным материалом которого является перлит.

Таким образом генерируется первая группа гетерогенных отходов – пульпы, выработавшие свой ресурс, материалы фильтров, характеризующиеся высокой активностью (до 10^{10} Бк/л). Радионуклидами, составляющую данную

активность, являются по большей части короткоживущие продукты активации примесей, такие как K_{42} и Na_{24} . Из-за малого времени жизни продуктов активации после небольшой выдержки активность пульпы снижается.

Другим фактором попадания радионуклидов в ЖРО являются ионитовые фильтры, используемые для очистки от солей конденсата турбин. Для этих целей используются насыпные регенерируемые фильтры.

Фильтры регенерируют 5 % раствором азотной кислоты и натриевой щелочи. Использованные растворы относят в категорию гомогенных отходов. Стоит отметить повышенную засоленность использованных регенератов.

Третьим фактором является промывка контура для исключения элементов коррозии с его поверхности.

Промывают контур, как правило, щавелевой кислотой ($Ph = 3$). Использованные промывочные растворы являются радиоактивными отходами, содержащими в себе кислый оксалат аммония и примеси элементов коррозии. Часть щавелевой кислоты при этом окисляется перекисью водорода в ходе промывки контура.

Радиохимическая составляющая контурной воды по большей части зависит от выхода продуктов деления из твэлов, определяющаяся герметичностью их оболочек. Имеется закономерность распределения радионуклидов между элементами очистки контурной воды: механические фильтры будут задерживать, в основном, примеси активированных продуктов коррозии Cr_{51} , Mn_{54} , Fe_{55} , Co_{60} и прочих элементов, а на ионообменных смолах задерживаются растворенные нуклиды в ионной форме, такие как Cs_{137} .

Так же существуют РАО, образующиеся при регенерации отработавших твэлов. Как правило, при регенерации топлива пытаются избежать применения химических добавок, которые с некоторой долей вероятности попадают в водно-хвостовые растворы. Но это получается не всегда, и иногда используют высаливатели для более качественного разделения водной и органической фаз, а также восстановители. Основными добавками при обращении с

высокоактивными отходами являются соединения железа, натрия и сульфат-ионы.

Отдельно стоит выделить радиоактивные иловые отложения, появляющиеся в ходе эксплуатации реактора. Для уноса тепла от отработанных твелов в бассейнах выдержки используется вода, забираемая с близлежащих рек и водоемов. Как правило, на входе она не подвергается серьезной фильтрации, и вместе с ней в бассейн проникают частицы песка и органики, которые со временем накапливаются и осаждаются в иловые отложения. Данный тип жидких радиоактивных отходов рассматривается в данной работе.

Классификация ЖРО

Классификацию ЖРО АЭС разумно проводить по признакам, на базе которых в последующем происходит выбор технологии их обезвреживания [5].

По однородности: гомогенные – смеси от регенерации, промывки контура и дезактивации; гетерогенные – пульпы от материалов фильтров.

Уровень активности: среднеактивные протечки контура, растворы от регенерации, очистки от радиоактивного загрязнения технических средств и промывки контура; низкоактивные растворы после отчистки помещений и одежды; высокоактивные отходы представляют демонтированные части оборудования первого контура, а также некоторые компаунды. В таблице 1 приведены удельные активности для каждого вида ЖРО.

Таблица 1 – Виды жидких радиоактивных отходов

ЖРО	Удельная активность, 10 Бк/л
Среднеактивные	$3,7 \div 3,7 \cdot 10^5$
Низкоактивные	Менее 3,7
Высокоактивные	Более $3,7 \cdot 10^5$

Степень засоленности: солевые – растворы для регенерации, очистки от радиоактивного загрязнения технических средств и промывки контура; малосолевые – протечка контура, растворы после отчистки помещений и одежды.

1.2 Очистка и концентрирование жидких радиоактивных отходов

Переработка ЖРО нацелена на решение двух главных задач: очистка основной части отходов от радионуклидов и их концентрирование в наименьших объемах.

Для этого используют следующие методы: мембранные, сорбционные и термические.

Сорбционные и термические методы исследованы в достаточной степени и работают на практике: в данный момент с помощью них функционируют очистные сооружения, используемые при эксплуатации различных видов реакторов, а также сооружения для регенерации ядерного топлива.

Переработка отходов данными технологиями включает в себя следующие операции:

- образование новой фазы: твердой – при сорбционных методах, а в термических – паровой;
- градация радионуклидов между фазами: в термических методах – жидкая, а в сорбционных – твердая;
- сепарация фаз в инерционных или гравитационных полях, а также фильтрование.

Мембранные методы достаточно хорошо изучены в наше время. Главным преимуществом мембранных методов по сравнению с термическими и сорбционными является отсутствие появления новых фаз [6].

Ранее упомянутые методы не являются новшеством и направлены по большей части на подготовку и опреснение воды.

Конечно же, при внедрении методов в область переработки отходов учитывались специфические требования производства: герметичность оборудования, которая исключала бы вероятность загрязнения радионуклидами помещений, окружающую среду и обслуживающий персонал; увеличение надежности работы оборудования, минимальный уровень проведения

ремонтных работ во вредных условиях, требующих выполнения трудоемких и финансово-затратных мер по дезактивации оборудования.

1.3 Временное хранение жидких радиоактивных отходов

На каждом предприятии, где происходит образование РАО, должны располагаться специальные хранилища. Передержка жидких радиоактивных отходов всех категорий в водоемах и открытых емкостях запрещается. Существующие искусственные и естественные водоемы с ЖРО должны выводиться из эксплуатации по программам и в сроки, согласованные с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора (ЦГСЭН) с последующей реализацией мероприятий по консервации и/или реабилитации.

Места передержки ЖРО, как правило, являются составляющей комплекса ядерных установок. Определяющие требования, которые соблюдаются при строительстве хранилищ РАО таковы: соблюдение радиационной безопасности обслуживающего персонала и недопущение распространения радиоактивных веществ в окружающую среду. Это достигается применением систем дистанционного управления, обслуживания и контроля процессов, протекающих при хранении отходов. В зависимости от назначения хранилища, вида отходов (раствор или пульпа), вида излучателя (α , β , γ), характеристик отходов по солевому или кислотному признаку (кислые, нейтральные, щелочные) и ряду других факторов определяются требования для каждого хранилища. Так, емкости, оборудование и коммуникации для жидких отходов с альфа-активностью (без заметного гамма-излучения) не нуждаются в специальной защите, однако требуют надежной герметизации. Для емкостей с ЖРО, обладающими гамма-излучением, необходима биологическая защита. Для отвода из емкостей выделяющегося водорода и других газов предусматривают газовые сдувки. При отводе теплоты от ЖРО с удельной активностью до 3^{-6} Бк/л (8 Ки/л) может быть использована технологическая вентиляция, при более высокой активности применяют водяное охлаждение [7].

Баки и трубопроводы для кислых растворов выполняются из коррозионностойких сталей. Марку стали определяют в зависимости от концентрации кислот и их химического состава, а также от температуры раствора. При нейтральных и щелочных растворах может быть применена низкоуглеродистая сталь с нанесением на нее радиационно- и кислотостойких лаков, красок и покрытий на основе эпоксидной смолы.

Вместимость каждой группы емкостей (для концентрированных растворов, пульп, отработанных смол и сорбентов) и суммарная вместимость хранилищ определяются количеством отходов каждого вида; временем, на которое рассчитано заполнение емкостей; предполагаемым временем хранения отходов (долговременное или временное хранение); периодом полураспада нуклидов, содержащихся в ЖРО; необходимым резервом (обычно на случай аварии в хранилище предусматривают дополнительные емкости).

Хранилище жидких радиоактивных отходов не должно находиться в пределах первого и второго поясов зоны санитарной охраны подземных водозаборов. Для контроля возможного загрязнения грунтовых вод радиоактивными веществами по периметру хранилища закладываются наблюдательные скважины на расстоянии 5-10 м от внешней поверхности емкостей.

Для поддержания санитарно-гигиенического режима в основу планировки хранилища закладывается принцип деления территории на «грязную» и «чистую» зоны.

Месторасположение хранилищ выбирается с учетом гидрогеологических условий: предпочтительны зоны с низким стоянием грунтовых вод, наличием глинистых и суглинистых грунтов, минимальной скоростью движения грунтовых вод.

Варианты компоновки хранилищ ЖРО могут быть различны в зависимости от назначения ядерной установки. Возможный вариант компоновки хранилища ЖРО для экспериментальных и исследовательских реакторов представлен на рисунке 1.

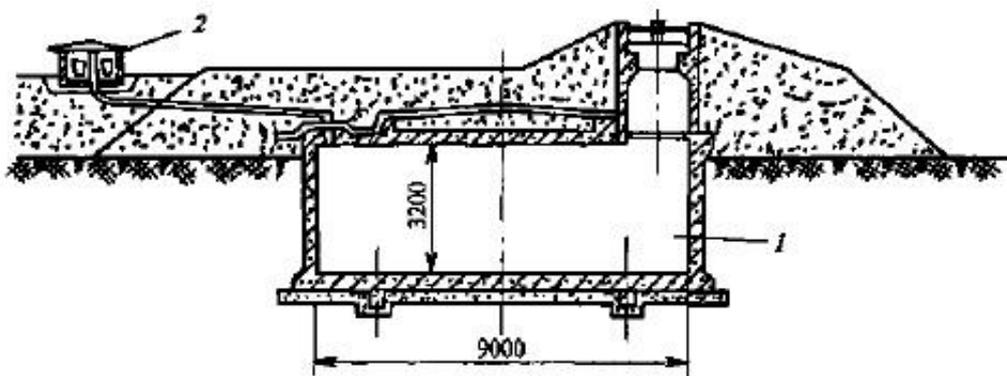


Рисунок 1 – Компоновка хранилища ЖРО для экспериментальных и исследовательских реакторов

1 – бак для хранения ЖРО; 2 – вспомогательное помещение.

Данное хранилище может включать в себя несколько баков вместимостью по 200, 400 или 600 м³ и помещения для технологического оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры и вспомогательных служб. Как правило, баки хранилища заглублены на 3 м (но расстояние до верхнего уровня грунтовых вод должно быть не менее 1,5 м).

Баки для хранения ЖРО могут быть подземными, полуподземными и наземными. Наземные баки делятся: на металлические (из нержавеющей или углеродистой стали); железобетонные необлицованные и облицованные изнутри нержавеющей или углеродистой сталью. В практике чаще находят применение железобетонные (облицованные и необлицованные) баки. Металлические баки обычно размещают в специальных бетонных камерах. Наземная часть бака обваловывается землей. Снаружи железобетонные баки покрывают цементным раствором с добавлением алюмината натрия и затем покрывают слоем битума [8].

Хранилища ЖРО для энергоблоков обладают повышенной вместимостью. Схемы хранилищ представлены на рисунке 2.

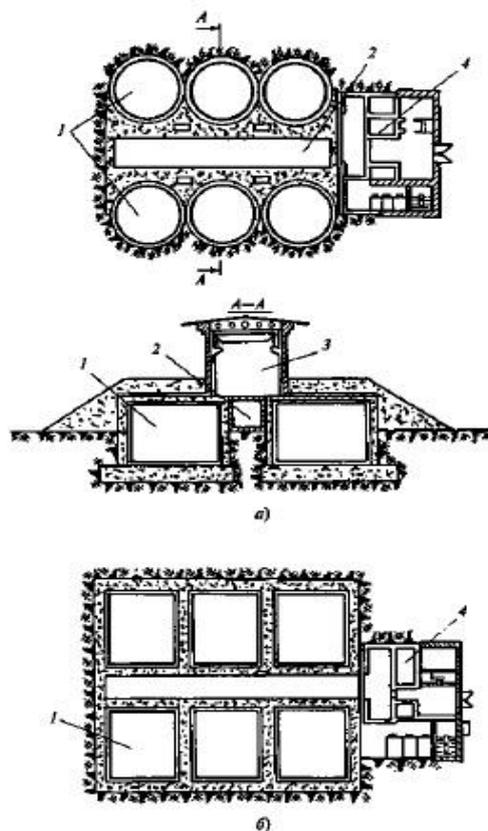


Рисунок 2 – Схемы хранилищ ЖРО

а – с цилиндрическими баками; б – с прямоугольными баками; 1 – баки для хранения ЖРО; 2 – трубный коридор; 3 – монтажный зал; 4 – пристройка.

Из рисунка 2 видно, что хранилище подразделяют на два характерных объема. К первому относятся группа баков с ЖРО, трубный коридор и монтажный зал, предназначенный для обслуживания трубного коридора и контрольной аппаратуры, смонтированной в хранилище. Вторым объемом (пристройка к первому объему) представляет собой помещения со вспомогательным и бытовым оборудованием.

По уровню потенциальной радиационной опасности помещения хранилищ ЖРО делят на три зоны. Первая зона – это помещения с технологическими агрегатами и те, в которых при штатных эксплуатационных условиях постоянно присутствуют радиационные загрязнения (трубные коридоры, помещения монжюсов и насосов перекачки ЖРО, воздухопроводов и фильтров узла очистки сдувок из емкости). Вторая зона включает в себя помещения, имеющие контакт с первой зоной: монтажный зал, помещения ремонта оборудования и его дезактивации, помещения КИП. Третья зона – это

условно «чистая зона» (однако без постоянного пребывания в ней персонала), в которой размещены щитовые управления системами сжатого воздуха, отопления, водопровода, приточной вентиляции, управления и контроля [8].

Наличие помещений трех зон характерно для самостоятельно действующего хранилища. На АЭС отдельные службы хранилища связаны с аналогичными службами энергоблоков. Однако следует отметить, что, как правило, хранилище РАО на АЭС – комплексное: в едином здании сосредоточены хранилища ТРО и ЖРО. Хранилище соединено с главным корпусом АЭС эстакадой, на которой расположены трубопроводный и вентиляционный коридоры и коридор для транспортировки контейнеров с ТРО. Здание комплексного хранилища состоит из двух объемов. Первый объем включает в себя группу баков для хранения ЖРО, трубный коридор для технических коммуникаций, хранилище ТРО и монтажный зал. Второй представляет собой многоэтажную часть здания, в которой располагаются помещения для установок отверждения ЖРО и вспомогательных систем.

Баки с ЖРО объединены «грязными» трубопроводными коридорами и «чистыми» коридорами обслуживания. Боксы хранилища твердых отходов располагаются над боксами хранилища жидких отходов (но бывает и обратное размещение).

Для временного хранения ЖРО на АЭС вплоть до их отверждения существует система промежуточного узла (ПУХЖРО), предназначенная для приема, хранения и предварительной выдержки ЖРО, обеспечивающей распад короткоживущих изотопов перед подачей ЖРО на отверждение.

1.4 Отверждение жидких радиоактивных отходов

1.4.1 Физико-химические основы процессов отверждения

Проникновение вредных веществ в окружающую среду во время хранения РАО в твердой фазе возможно осуществить при растворении твердой фазы или выщелачивании из последнего конкретных соединений методом

пыления, когда присутствует недостаточная механическая прочность, сублимация, заражение газовой фазы из-за повышенного давления пара и других факторов [9]. Эти причины определяют некоторые требования к радиоактивным отходам в твердой фазе: пониженная скорость процесса выщелачивания радиоактивных частиц водой, стойкость к температурному и радиационному воздействию, наличие высокой химической стабильности, которые в свою очередь должны исключать выделение газообразных продуктов и перевода материалов из твердой фазы в газовую, а также создание материала механически и химически стойкого в процессе хранения. Также отвержденные материалы должны:

- способствовать повышенному отводу тепла во время хранения;
- иметь максимальную концентрацию в составе компонентов отходов;
- иметь полностью автоматизированную технологию для безопасного дистанционного управления.

Первостепенной задачей по созданию радиационно- и термически-стойких материалов – исключение из состава воды. Второстепенная задача – разложение солей, подверженные радиолизу. Для создания непылящих продуктов с удовлетворительными теплофизическими и химическими характеристиками, где главная из них – теплопроводность, кальцинированные продукты спекают или сплавливают с стеклообразующими продуктами.

При осуществлении процесса переработки РАО в условиях повышенной температуры существует возможность выхода радионуклидов в парогазовую фазу путем испарения легколетучих компонентов и появления аэрозолей. Компоненты с высоким давлением пара имеют способность образовывать некоторые радионуклиды, такие как Tc_{99} , Cs_{137} и Ru_{106} .

Возникновение аэрозолей происходит на каждой стадии процесса из-за уноса капель жидкости и выхода диспергированных твердых частей с парогазовым потоком. При масс-спектрометрическом анализе аэрозолей наблюдается весь спектр радионуклидов, свойственный для радиоактивных

отходов. Максимально возможная концентрация радиоактивных аэрозолей в воздухе крайне мала, из-за чего необходимо найти условия осуществления процесса, гарантирующих минимальное аэрозолеобразование. Но исключить образования аэрозолей не представляется возможным. Поэтому всякие термические процессы предъявляют требования по созданию специальной системы газоочистки.

1.4.2 Характеристики отвержденных радиоактивных отходов

1.4.2.1 Механизмы выщелачивания радионуклидов

Водостойкость компаунда определяется степенью перехода в воду радионуклидов из отвержденных материалов и степени растворимости соединений. Непостоянной является скорость выщелачивания из данных материалов, так как при продолжительном взаимодействии с водой она снижается, а через некоторый интервал времени ее изменение может стать незначительным, в зависимости от структуры материала.

На начальном периоде степень перехода радионуклидов в воду высчитывается степенью растворимости соединений (сюда входит и число соединений радионуклидов), которые находятся на поверхности контакта с водой. В течении обеднения концентрации радионуклидов с поверхности скорость выщелачивания снижается и находится сложным процессом, который зависит от скорости проникновения воды к новым слоям материала, зависимостью от скорости обмена, появившегося в порах раствора с растворителем, а также явлением диффузии радионуклидов на поверхности микропор. Если имеется изменение структуры отвержденного материала из-за продолжительного контакта с водой, то зависимость времени от скорости выщелачивания будет обладать более сложным характером [10].

Если учесть, что выщелачивание радионуклидов из большей части отвержденных материалов обладает поверхностным характером, применение приведенных ранее единиц скорости выщелачивания, завязанных на общей

активности отвержденного материала нецелесообразно, потому что не дает возможности применить результаты на образцы других параметров. Данных отрицательных сторон лишен используемый способ выражения скорости выщелачивания через отношение активности радионуклидов (перешедшие в воду за время 24 ч с 1 см² с верхних слоев образца) к удельной активности отвержденного материала.

Результаты экспериментов отображают в виде графиков в системе скорости выщелачивания, где R – суммарное время взаимодействия с водой τ . В таком случае скорость выщелачивания можно рассчитать по формуле:

$$R = A_{\tau}/(A_0 S \tau), [\text{см/сут}], \quad (1)$$

где A_{τ} – активность радионуклидов, которые перешли в воду за некоторое время τ ; A_0 – удельная активность отвержденных продуктов; S – верхние слои отвержденных продуктов, взаимодействующая с водой.

Хоть и природа механизма выщелачивания радионуклидов имеет достаточно сложный характер, опыты с отвержденными материалами различных видов показывают, что включение в воду радионуклидов возможно представить с помощью первого закона Фика: отношение между квадратным корнем от времени и доли унесенной активности есть линейная функция. Данный факт позволил применить определение коэффициента суммы процесса выщелачивания при продолжительном контакте с водой и получил название фактор выщелачивания, который аналогичен коэффициенту диффузии, в котором используется такая же размерность.

Стоит отметить, что скорость выщелачивания радионуклидов из твердых материалов имеет многофакторную среду, в которой основным является структура отхода и форма нахождения в ней радионуклидов [11].

1.4.2.2 Стойкость отвержденных отходов к термическому воздействию

Стойкость отвержденных отходов к термическому воздействию – одно из свойств, влияющее на условия хранения. Эта важная особенность серьезно влияет на РАО, предрасположенных к саморазогреву в следствии присутствия распада радионуклидов [12].

Освобождаемая энергия в процессе радиоактивного распада, сублимируется материалом и преобразуется в тепловую. Для продукта, содержащего N изотопов может быть высчитано удельное тепловыделение таким образом:

$$q_v = 5,95 A_k^\beta \sum_N \sum_i P_N \times (\overline{E}_\beta \overline{P}_\beta + n_{\nu iN} n_{\gamma iN} P_{\gamma iN}) \cdot 3,7 \cdot 10^{10}, [\text{Вт/м}^3], \quad (2)$$

где q_v – удельное тепловыделение; A_k^β – удельная β -активность вещества, кБк/л; P_N – относительная активность каждого изотопа, % активности; \overline{E}_β – средняя энергия β -спектра, МэВ/распад; \overline{P}_β – доля энергии β -частиц, поглощенная продуктом; $n_{\nu iN}$ – энергия γ -квантов i -й линии; $n_{\gamma iN}$ – выход β -частиц и γ -квантов; $P_{\gamma iN}$ – доля поглощенной энергии γ -квантов.

Энергия β -частиц остается всецело в отвержденном материале, а часть поглощенной энергии γ -квантов зависит от конкретных условий хранения.

При хранении отвержденных отходов в них может нарастать температура не только из-за удельного тепловыделения, но и от теплофизических свойств отвержденных продуктов и параметров отведения тепла в окружающую среду. Удельные теплопроводности отвержденных ЖРО меняются в интервалах от 0,2, 1-3 и 10 для битумов, стеклокристаллических и остеклованных материалов и металлических матриц соответственно.

Расчетными и экспериментальными методами было выяснено, что температурный эффект при захоронении отходов наблюдается уже при удельной активности 10^{10} Бк/л. В этом случае температура в 50°C при

захоронении компаундов с активностью 10^9 Бк/л достигается при диаметре траншеи около 2,5-3,5 м.

При хранении отвержденных РАО температурные условия определяются с учетом стойкости к температуре необходимых к захоронению материалов. На практике важную роль играют такие характеристики, как пожаро- и взрывобезопасность, термическое разложение с выделением продуктов газообразной формы, изменение водостойкости, скорости выщелачивания радионуклидов, диффузия радионуклидов в окружающую среду и др.

1.4.2.3 Воздействие на свойства отвержденных отходов ионизирующего излучения

Свойства отвержденных отходов с содержанием кальцинированных компонентов должны препятствовать образованию газообразных продуктов радиолиза в ходе хранения [13].

Существующая вероятность появления газообразных продуктов радиолиза объясняется присутствием воды, нитратов и прочих подверженных к радиационному воздействию составляющим. Подтверждается данный факт, как на примере хранения радиоактивных компаундов, так и на опытах, проводимых на цементных препаратах, облучаемых на источнике Co^{60} . Однако развитая поверхность цементных блоков способствует поглощению газообразных компонентов, образовавшихся в результате радиолиза. Заметной поглощённой дозой в результате газовыделения является значение более 10^5 Гр.

Если учесть, что для накопления препарату с удельной активностью $3,7 \cdot 10^{-12}$ Бк/м³ поглощенной дозы необходимо 10^5 Гр необходимо приблизительно 100 лет, можно сделать вывод, что расчет радиационной стойкости применимо для цементов, активность которых более $3,7 \cdot 10^{12}$ Бк/м. Составляющая продуктов в газообразной фазе определяется только от составляющей состава подлежащих к битумированию радиоактивных отходов.

Если же в составе отсутствуют нитраты, то главным продуктом газовой фазы будет являться водород. Наличие нитратов снижает объем водорода и побуждает образование кислорода. Появление продуктов в газовой фазе в ходе хранения битумированных блоков обусловлено радиолитическим разрушением компонентов битума. Данный факт вызывает изменение фракционного состава битума. На рисунке 3 представлено влияние фракционной составляющей битума БН-3 в зависимости от мощности дозы.

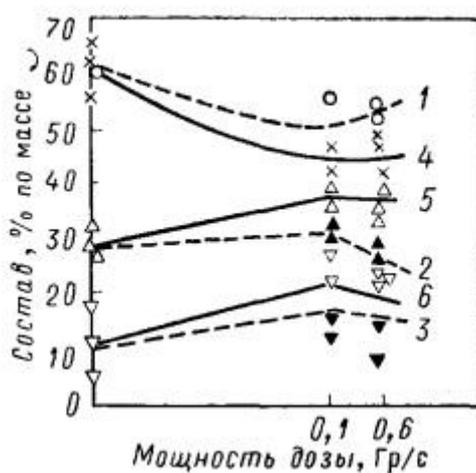


Рисунок 3 – Влияние фракционной составляющей битума БН-3 в зависимости от мощности дозы

1, 2, 3 – отобранные из середины образца смолы соответственно; 4, 5, 6 – отобранные с поверхности образца смолы.

Включение в битумные блоки нитрата натрия имеют повышенную радиационную стойкость, если сравнивать их с чистыми битумами с верхней границей дозы 10^5 Гр. Это объясняется рекомбинацией появляющихся в наполнителе радикалов при облучении, которые затрудняют их взаимодействие.

После облучения битумов скорость выщелачивания радионуклидов меняется несущественно. Вероятно, это зависит от увеличения вязкости слоя поверхности, появляющаяся в следствии перемены фракционной составляющей битумов в ходе облучения.

Для отходов, отвержденных методом остекловывания, выделяются два разных механизма радиационного воздействия. При температурах порядка 100-

150 °С во время хранения на воздухе происходит химические воздействия появляющихся на верхних слоях отвержденных продуктов активных центров с частями воздуха. В ходе чего металл утрачивает контакт с кремнекислородным остовом стекла и вырабатывает на верхних слоях пленку нитрата или гидроокиси. Данные составляющие хорошо проникают в раствор. Следовательно, высокая скорость выщелачивания радионуклидов наблюдается исключительно для первичных долей воды. Разрушение радиацией проходит только на верхних слоях, а внутренние остаются без изменений. Аналогичные радиационно-химические эффекты наблюдались для фосфатных стекол [14].

1.4.3 Методы отверждения жидких радиоактивных отходов

1.4.3.1 Битумирование жидких радиоактивных отходов

Метод битумирования ЖРО нашел широкое применение. Это обусловлено универсальностью битума как связующего ингредиента, в который могут быть включены практически все продукты переработки отходов, хорошими характеристиками получаемого битумного компаунда и относительной простотой аппаратного оформления технологического процесса [15].

Процесс битумирования концентратов жидких радиоактивных отходов проводят в двух режимах: непрерывный и периодический. Характеристики данной технологии обеспечивают получение битумного компаунда определенных параметров: влажность, вязкость, водостойчивость, взрыво- и пожаробезопасность. Рекомендуются следующие основные параметры: удельная активность ЖРО – не более $3,7 \cdot 10^6$ Бк/л; температура процесса в интервале от 130 до 160 °С; содержание по солям готового продукта не должно превышать 50 %, а по ионообменным смолам – 40 %.

Во избежание ухудшения качества компаунда содержание (по массе) бората натрия не должно превышать 20 %, мыла – 4 %. По этой же причине не рекомендуется битумировать ЖРО с $\text{pH} > 12$; температура выгрузки битумного

компаунда должна составлять 100-130 °С, что связано с необходимостью обеспечить требуемые вязкость и гомогенность [16]. В таблице 2 приведены характеристики основных применяемых марок битумов.

Таблица 2 – Характеристики основных применяемых марок битумов

Марка	Температура размягчения, °С	Потеря массы при 160 °С, %	Температура вспышки, °С	Фракционный состав (по массе), %
БНК 45/180	42	1,0	240	68 (масла), 21,6 (смола), 10,7 (асфальтены)
БНД 90/130	40	1,0	200	59 (масла), 22 (смола), 19 (асфальтены)
БНД 60/90	47	1,0	200	То же

С увеличением жесткости битумов при равном солевом наполнении водоустойчивость компаундов ухудшается. Это связано с тем, что жесткие битумы, характеризующиеся более высокой температурой размягчения, не могут создать прочную защитную пленку на минеральных частицах при их высокой концентрации. Поэтому в качестве оптимального варианта целесообразно использовать битумы с температурой размягчения 40-45 °С, какими являются битумы марок БНК 45/180, БНД 60/90, БНД 90/130, а также возможно использование битума БН-111 [17].

Результаты исследования процесса битумирования радиоактивных отходов показали, что данный процесс должен соответствовать определенным условиям:

- при выборе марки битума необходимо учитывать опасность загустения смеси при применении тугоплавких битумов и опасность расслоения при использовании мягких битумов (рекомендуется битум БН-111);
- перемешивание битума с жидкими отходами должно осуществляться при температуре 120-130 °С до практически полного

обезвоживания. Температура ниже 120 °С недопустима ввиду чрезмерного увеличения вязкости смеси и необходимости испарения солевого раствора. В конце процесса битумирования температура должна повышаться до 160 °С для уменьшения вязкости перед сливом компаунда, а также для создания условий прочного связывания в битумной массе радиоизотопа стронция;

- недопустимо появление зон с температурой выше 300 °С во избежание бурных окислительно-восстановительных реакций между битумом и нитратом натрия;

- процесс перемешивания битумной массы с кубовым остатком должен исключать центробежное движение массы в горизонтальной плоскости из-за возможности образования на стенках установки битумирования и нагревателя слоя компаунда, обогащенного нитратом натрия.

На рисунке 4 представлена схема аппарата для битумирования.

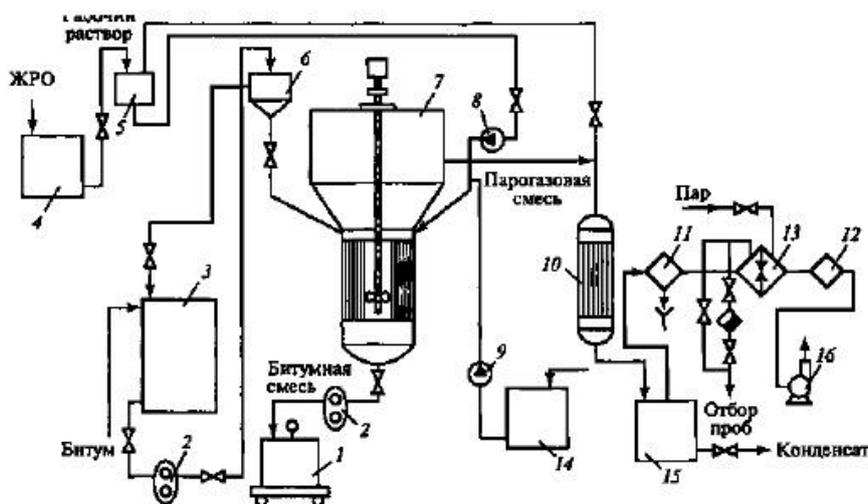


Рисунок 4 – Схема аппарата для битумирования

- 1 – упаковочный контейнер; 2 – насос для битума; 3 – сосуд для чистого битума; 4 – сосуд с жидкими радиоактивными отходами; 5 – дозирующее устройство раствора; 6 – дозирующее устройство битума; 7 – битуматор ДБ-100; 8 – дозирующий насос; 9 – насос; 10 – конденсирующее устройство; 11, 12 – фильтрующее устройство для тонкой и грубой очистки; 13 – теплообменник; 14, 15 – сосуды с промывочным раствором и конденсатом; 16 – вентилирующее устройство.

Битуматор-доупариватель ДБ-100 представляет собой короткотрубный выпарной аппарат с принудительной циркуляцией смеси битума и ЖРО, осуществляемой с помощью винтовой мешалки. Мощность электропривода мешалки составляет 11 кВт. Битуматор имеет сепарационную зону с механическим каплеотбойником. Отсепарированная парогазовая смесь направляется в конденсатор 10. Для обогрева битуматора используется водяной пар с давлением 0,6-0,9 МПа, который подается в межтрубное пространство греющей камеры и в рубашку днища. Суммарная площадь поверхности обогрева составляет 16 м.

Работа битуматора циклическая. В одном цикле перерабатывается порция ЖРО, которая удаляется в транспортный теплоизолированный контейнер вместимостью 1 м³. Из контейнера битумный компаунд может сливаться в специальный отсек гидроизолированного бетонного хранилища [18].

1.4.3.2 Цементирование жидких радиоактивных отходов

Технология цементирования жидких радиоактивных отходов основана на их перемешивании с цементом с учетом добавки модификаторов. После окончания процесса отверждения смеси появляются материалы, основу которых составляют кристаллические группы кальция (гидроалюминаты и гидросиликаты). Получение достаточно прочных к механическому воздействию цементных компаундов возможно при концентрации солей не более 200 г/л.

Цементирование применяется для отверждения ЖРО с удельной активностью до $3,7 \cdot 10^4$ Бк/л (10^4 Ки/л). Захоронение цементных блоков с удельной активностью больше $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л (10^5 Ки/л) требует гидроизоляции и герметизации хранилища [19].

Главной отрицательной чертой производимого продукта методом цементирования жидких радиоактивных отходов является сравнительно небольшое сокращение объема начального количества отходов. Наивысший

коэффициент уменьшения конечного объема продукта приходится на значение 1,3 при нормальном качестве полученного материала.

В настоящий момент применяется 4 способа цементирования:

- с помощью шнекового устройства с постоянным перемешиванием компонентов;

- перемешивание цемента и жидких радиоактивных отходов в запечатанной бочке, в которую помещен груз методом вращения сосуда одновременно в различных плоскостях;

- перемешивание цементной смеси и ЖРО в бочке с помощью мешалки, после чего идет отбор с нижней части тары с последующим разливом её в бетонные емкости;

- способ похожий на предыдущий, но цементирование ЖРО проходит сразу в специализированных бетонных емкостях.

На рисунке 5 представлена установка цементирования, которая имеет программно-дистанционное управление.

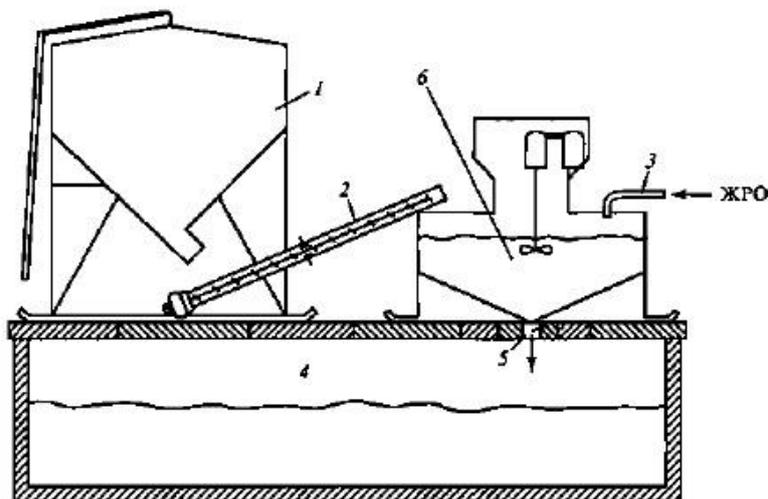


Рисунок 5 – Установка цементирования РАО

1 – бункер с цементов; 2 – шнековое устройство; 3 – трубопровод подачи ЖРО;
4 – хранилище радиоактивных отходов; 5 – раствор смесителя; 6 – смеситель.

Жидкие радиоактивные отходы из специальной емкости подаются в смеситель, туда же из бункера, с помощью шнекового устройства, поступает цемент. Смесь в течение 10 мин перемешивается, а затем через затвор

смесителя сливается в железобетонную емкость. Производительность установки составляет около 10 м³/ч по готовому продукту [20].

Для отходов низкой активности иногда применяется метод заливки цементного раствора в гидроизолированные траншеи. Необходимая текучесть обеспечивалась высоким водовязущим отношением (около 0,7). При этом содержание солей не превышало 4-5 % (по массе), что определяло значительный объем отходов при отверждении.

Исходя из результата опытов по изучению различных вяжущих компонентов утверждается, что для отверждения ЖРО, имеющих, как правило, щелочную среду, предпочтительно использовать шлакопортландцемент, так как при этом прочность продукта с повышением содержания гидроксида натрия в компаунде (в пределах 10%) увеличивается, в то время как прочность продукта на основе портландцемента уменьшается.

Результаты исследования процесса цементирования ЖРО энергоблоков с реакторами ВВЭР показали возможность получения прочных продуктов со степенью наполнения до 15 % по сухому остатку при оптимальном растворовязущем отношении 0,3-0,5. Положительно на снижение скорости выщелачивания продуктов цементирования сказывается добавление в раствор около 10 % глинистых материалов типа бентонита.

Также существует направление совершенствования технологии цементирования РАО по разработке способа защиты цементных компаундов от биодеструкции. Практика обращения с радиоактивными отходами показывает, что несмотря на требования нормативных документов по сортировке поступающих на переработку радиоактивных отходов на горючие и негорючие, существует высокая степень риска попадания горючих (содержащих органические вещества) радиоактивных отходов в конечный продукт переработки методом цементирования – цементный блок. Фрагменты целлюлозосодержащих отходов, подвергаясь биологическому обрастанию микроорганизмами, способствуют снижению технических характеристик цементного компаунда. Целлюлозные материалы, включенные в состав

цементного блока вместе с твердыми РАО, гидролизуются под воздействием щелочной среды цементного раствора и становятся субстратом для развития различной микробной флоры, которая приводит к кислотообразованию, газовыделению, появлению пустот и, в конечном итоге, к частичному разрушению цементной матрицы и возможности проникновения в хранилище воды и выносу радионуклидов [21].

1.4.3.3 Остекловывание жидких радиоактивных отходов

Остекловывание жидких радиоактивных отходов относится к методам, обеспечивающие удовлетворительную надежность локализации отходов высоких и средних уровней активности.

Битумирование и цементирование ЖРО при сравнительной простоте технологии и аппаратного оснащения не позволяют получить конечный продукт отверждения высокого качества и не обеспечивают заметного сокращения исходного объема ЖРО (а в случае цементирования объем конечного продукта зачастую превосходит исходный объем ЖРО). Помимо этого, получаемый методом битумирования продукт является пожароопасным, а методом цементирования продукт имеет повышенную скорость выщелачивания радионуклидов [22].

Применяя метод остекловывания РАО удастся уменьшить полученный конечный объем на 4-6 порядка при удовлетворяющем качестве продукта с незначительной скоростью выщелачивания [23]. В таблице 3 приведены параметры отвержденный жидких радиоактивных отходов.

Таблица 3 – Параметры отвержденный жидких радиоактивных отходов

Параметр	Стеклоблоки	Битумно-солевой компаунд	Цементные блоки
Массовый состав оксидов, %	≥ 40	10-20	5-10

Продолжение таблицы 3

Степень уменьшения объема	4-6	1-1,5	0,7-0,9
Параметр	Стеклоблоки	Битумно-солевой компаунд	Цементные блоки
Прочность на сжатие, МПа	600-1000	—	70-200
Скорость выщелачивания, г/(см ² ·сут):			
Cs ¹³⁷	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶	10 ⁻³ -10 ⁻⁴	10 ⁻² -10 ⁻³
Sr ⁹⁰	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷	10 ⁻³ -10 ⁻⁵	10 ⁻² -10 ⁻⁴
Pu ²³⁹	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	10 ⁻³ -10 ⁻⁵	10 ⁻² -10 ⁻⁴

Сперва метод по остекловыванию РАО применялся для высокоактивных отходов, но затем стал использоваться и для среднеактивных. Исследования проводились с целью нахождения оптимальных параметров технологии, состава стеклянной матрицы, а также подходов к остекловыванию: отработывалась технология получения силикатных и фосфатных стекломатериалов. Изначально считали более надежным двухстадийный процесс, где применялся тигель разового применения, а также процесс в одну стадию без начальной кальцинации.

При двухстадийном процессе на первой стадии производится кальцинация в псевдооживленном слое, на второй – плавка кальцината в бетонном тигле. В качестве примера на рисунке 6 представлена схема установки КС-КТ-100, которая включает в себя узлы приготовления выпаренного раствора, кальцинации, плавки и газоочистки.

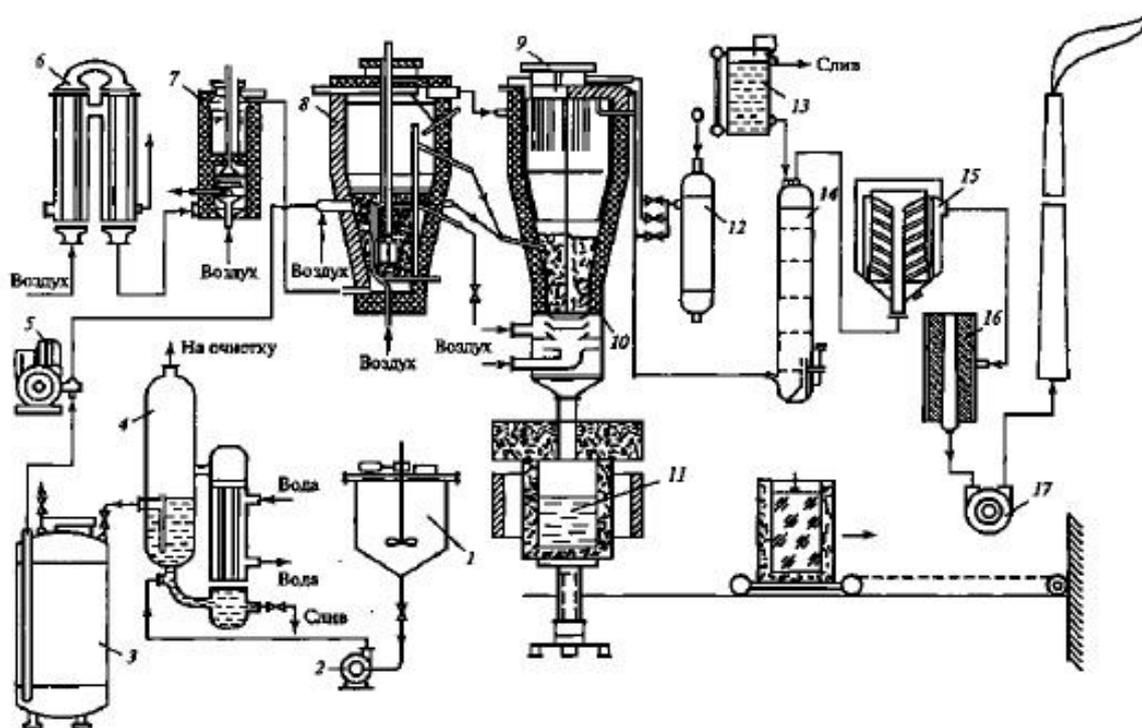


Рисунок 6 – Схема установки КС-КТ-100

1 – монжюс; 2 – насос; 3 – емкость выпаренного раствора; 4 – аппарат для выпаривания; 5 – дозаторный насос; 6 – аппарат теплообменника; 7 – калорифер; 8 – сушильная камера; 9 – фильтрационное устройство; 10 – тарельчатый пневмопитатель; 11 – тигель; 12 – ресивер; 13 – бак; 14 – абсорбционно-барботажная колонна; 15, 16 – фильтрационная установка для тонкой и грубой очистки; 17 – вакуумный насос.

При температуре кальцинации 350-400 °С и скорости псевдооживления 1,5 м/с производительность установки по исходному продукту составляет 100 л/ч, по выпаренному – 65 л/ч, по стеклу – 20 кг/ч. Газоочистка обеспечивает снижение активности газового сброса в $10^7 - 10^9$ раз.

1.4.3.4 Включение радионуклидов в керамическую матрицу

Интенсивно расширяется круг пористых материалов, обладающих высокой химической устойчивостью, термостабильностью и радиационной стойкостью.

Перечисленные свойства позволяют применять данные материалы в качестве матриц-иммобилизаторов радионуклидов для их последующего длительного и контролируемого хранения, оставляя возможность использования в трансмутационном устройстве, либо последующего извлечения. Основная задача состояла в получении материалов, содержащих минимум балласта. При этом радионуклид должен быть в достаточно устойчивой химической форме, которая оставляла бы возможность последующей технологической переработки [24].

В практике обращения с жидкими радиоактивными отходами отверждение радионуклидов предпочтительно с образованием кальцината благодаря достоинству этого метода – практически полному отсутствию балластных компонентов в конечном продукте. Однако есть и недостатки, связанные, во-первых, с процессом его осуществления, наличие стадии с интенсивным пылевыделением, во-вторых, с низкой химической устойчивостью конечной формы вследствие присутствия оксидов элементов групп I, II Периодической системы. Что касается оксидов транс-урановых элементов (ТУЭ), то они являются, наряду с фосфатами, наиболее химически устойчивыми соединениями этих элементов и могут использоваться в качестве безбалластной формы для длительного безопасного хранения, обеспечивая обратимость иммобилизации.

Способ иммобилизации радионуклидов путем введения в пористую матрицу с дальнейшей фиксацией в ней имеет определенное преимущество по сравнению с другими способами благодаря своей простоте и экономичности. В связи с этим решался ряд следующих проблем:

- выбор материала пористой матрицы;
- термическое разложение нитратов непосредственно в самой матрице, определяющее минимальную температуру отжига;
- поведение и свойства оксидов, получаемых при разложении нитратов;

- условия образования соединений между вводимыми растворами и материалом матрицы;
- процессы, происходящие при хранении иммобилизатора.

Принципиально осуществимы два вида иммобилизации: обратимая и необратимая. Обратимая иммобилизация – способ, в котором выбран такой режим отжига, когда не происходит взаимодействия материала матрицы с вводимыми элементами. В результате образуются оксиды, которые впоследствии, при желании, можно вывести из матрицы. Необратимая иммобилизация – способ, в соответствии с которым при отжиге происходит взаимодействие материала матрицы с вводимыми элементами и вывести их из матрицы весьма затруднительно. Получаются материалы, обладающие более высокими прочностными свойствами и высокой химической устойчивостью, в результате чего иммобилизатор при транспортировке и хранении более безопасен [25].

Материалом матрицы может служить керамика или металлы. Основные требования, предъявляемые к ней:

- оптимальная пористость и размер блока, определяющие максимальный объем;
- введенного раствора, его равномерное распределение и удерживание в порах;
- низкая химическая активность при взаимодействии с водой и кислотами.

В настоящий момент используется керамика на основе силикатов, оксида алюминия, титанатов, суперкальциатов и цирканатов, обладающие рядом существенных недостатков. Так, из силикатной керамики применяется только поллуцит и $CsAlSi_2O_{12}$ для узконаправленной иммобилизации цезия, циркона и силикатного апатита (бритолит) для актинидов. На основе оксида магния керамика обладает повышенной хрупкостью, а титанатовая имеет неудовлетворительную гидролитическую устойчивость, которая снижается

после метамиктизации: при выщелачивании в течении 28 суток нормированные потери массы Рu и U возрастают в 30 и 6 раз соответственно.

Недостатки применяемых видов керамик привели к потребности в поиске новых материалов и способов синтеза керамических матриц. С целью разработки оптимального рецепта матрицы для обеспечения надежного включения ЖРО, в работе рассмотрели МКФ-керамику. В следующей главе приведены результаты исследований по изучению свойств минералоподобной матрицы на основе фосфата магния – аналога природного минерала струвита, отличительной особенностью которой является ее образование при комнатной температуре, а также возможности безопасного включения в неё иловых отложений. Использование данной матрицы лежит в основе создаваемой новой технологии отверждения средне- и высокоактивных отходов (САО и ВАО).

Однако существующая технология отверждения иловых отложений в МКФ-матрице имеет ряд существенных недостатков, которые могут быть объяснены недостаточной изученностью данного процесса. В ней не учитываются:

- оптимальные условия выдержки компаунда;
- зависимость прочности МКФ от скорости перемешивания реагентов;
- соотношения химических реагентов, температуры воды и времени выдержки, влияющих на прочность компаунда;
- устойчивость компаундов к воздействию воды;
- влияние количества иловых отложений на прочность компаундов;
- добавки, уменьшающие гигроскопичность матрицы МКФ.

С целью наработки компетенции в данном вопросе был произведен ряд опытов для получения лучшей рецептуры и параметров процесса, а также проведен поиск новых решений проблемы высокой гигроскопичности матрицы.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

В данной диссертационной работе приведено исследование метода по отверждению ЖРО путем создания МКФ-компаунда.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является уточнение оптимальных параметров технологии по иммобилизации жидких радиоактивных отходов с целью дальнейшего промышленного использования данной методики для получения керамики на основе оксида магния и дигидрофосфата калия, пригодных для дальнейшего хранения.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, предприятия по хранению и переработке РАО.

Данное разделение происходит потому, что три вышеупомянутые области выполняют различные задачи. Первоочередная задача атомной промышленности в РФ – максимально безопасное получение энергии, научной отрасли – изобретение новых инновационных технологий, материалов и методологий, предприятий по хранению и переработке РАО – сохранение окружающей среды от вредоносного воздействия излучения радиоактивных отходов.

Все три отрасли имеют сильную потребность в методике включения радиоактивных отходов в керамическую матрицу: атомная промышленность с развитием новых методов захоронения радиоактивных отходов получает возможность использовать новые виды топлива, научная отрасль получает новые стойкие виды керамики, которые могут использоваться для множества целей, предприятия хранения и переработки РАО с изобретением новых безопасных материалов способны работать с большим количеством отходов, нежели ранее, а также упростить процесс переработки РАО.

Сегментировать рынок услуг по разработке оптимальной методики создания МКФ-керамики для хранения РАО можно по степени потребности использования данной методики. Результаты сегментирования представлены на рисунке 20.

		Получение керамики		
		Атомная промышленность	Научная отрасль	Хранение и переработка РАО
Потребность	Сильная			
	Слабая			

Рисунок 20 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Как упоминалось выше, в данной работе было проведено уточнение оптимальных параметров технологии по иммобилизации жидких радиоактивных отходов с целью дальнейшего промышленного использования данной методики для получения пригодных МКФ-керамических материалов.

Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть методы отвержения радиоактивных отходов, наиболее часто применяемые на практике:

- иммобилизация с помощью битумирования;
- иммобилизация с использованием цементирования отходов;
- иммобилизация с помощью остекловывания отходов.

Проведем сравнительную характеристику данных методов.

Цементирование, заключение радиоактивных отходов в полимеры на основе полиэфирных и карбамидных смол просты по технологии. Однако продукты отверждения цемента и карбамидных смол химически не стойки и требуют дополнительной изоляции. Также присутствует низкая радиационная стойкость цемента и степень наполнения его отходами. Кроме того, при цементировании происходит увеличение объема радиоактивных отходов. Технология заключения радиоактивных отходов в полиэфирную смолу так же осложняется необходимостью обезвоживания концентратов.

Стеклоянная матрица, в которую предлагается заключать отходы, обладает неплохими физико-химическими характеристиками. Однако технология остекловывания сложна и энергоемка. Кроме того, необходимо отметить термодинамическую неустойчивость стекла, а также плохую совместимость его с сульфатами и хлоридами. Процесс битумирования так же более трудоемок и энергоемок чем технологии на основе МКФ-матрицы. Кроме того, при термообработке, что необходимо при битумировании, теряются летучие радионуклиды.

Таблица 17 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Удобность в реализации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	5	5	5	0,4	0,5	0,5	0,5
2. Удобство в контроле во время обслуживания	0,1	5	4	3	3	0,5	0,4	0,3	0,3
3. Простота производства по данной технологии	0,07	5	5	3	3	0,35	0,35	0,21	0,21
4. Стойкость к внешним воздействиям после захоронения	0,06	5	4	4	5	0,3	0,24	0,24	0,3
5.1 Безаварийность производственного процесса	0,03	5	5	5	3	0,15	0,15	0,15	0,09
5.2 Влияние вредных веществ на окружающую среду	0,04	4	4	3	4	0,16	0,16	0,12	0,16
6. Потребность в объеме для хранения	0,06	4	4	4	4	0,16	0,16	0,16	0,16
7. Функциональная мощность	0,07	4	3	5	4	0,28	0,21	0,35	0,28
8. Ресурсоемкость	0,07	5	3	3	3	0,35	0,21	0,21	0,21
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	4	3	0,25	0,2	0,2	0,15
2. Значимость для промышленности	0,05	5	4	3	5	0,25	0,2	0,15	0,025
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	4	4	4	1	0,8	0,8	0,8
4. Финансирование	0,1	5	3	3	3	0,5	0,3	0,3	0,3
Итого	1	61	52	49	59	4,69	3,92	3,77	3,48

Оценочная карта анализа представлена в таблице 17. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что изученная в данной диссертационной работе методика является оптимальной для использования в практических целях. Конкурентные методы отверждения жидких радиоактивных отходов достаточно уязвимы из-за сложности и высокой стоимости.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [26].

В таблице 18 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	–	+
B2	–	–	+	+	+
B3	–	–	–	+	+
B4	+	+	+	+	–
B5	+	+	+	–	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 19.

Таблица 19 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Современность технологии</p> <p>C2. Актуальность</p> <p>C3. Технические характеристики</p> <p>C4. Бюджетное финансирование.</p> <p>C5. Возможность оптимизации процесса подготовки образцов.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Ограниченное количество иммобилизованных фракций.</p> <p>Сл2. Недостаточная изученность технологии.</p> <p>Сл3. Длительный срок поставки материалов, необходимых для создания матрицы.</p> <p>Сл4. Длительный срок измерения фазового состава.</p> <p>Сл5. Большое время процесса подготовки образцов для испытания и необходимость ручного труда</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Использование для исследований инфраструктуры НИ ТПУ.</p> <p>V2. Разработка рекомендаций по методу синтеза матриц.</p> <p>V3. Возможность создания новых условий для проведения эксперимента.</p> <p>V4. Поддержка развития атомной энергетики государством.</p> <p>V5. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики.</p> <p>2. Улучшение качества изготавливаемой керамики за счет создания новых методик синтеза матриц.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Возможное совершенствование методики позволяет сократить время процесса подготовки и увеличить автоматизацию производственных условий</p> <p>2. Финансовая поддержка способствует изучению технологии</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возможность отсутствия реагентов.</p> <p>У2. Вероятность разработки подобных методик отверждения ЖРО другими организациями.</p> <p>У3. Задержка финансирования экспериментов.</p> <p>У4. Низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие.</p> <p>У5. Разработка новейших методик создания матриц.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Актуальность темы и широта распространения исследований на данную тематику заставляет заказчиков заранее обеспечить непрерывные поставки ЖРО и реагентов для дальнейших исследований.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Необходимо развивать технологии производства и поставки, чтобы избежать задержек в поставках и плановых мероприятий.</p> <p>2. Ограниченное количество иммобилизованных фракций можно расширить путем разработки состава добавок.</p>

Вывод: Данная технология на данный момент представляет собой один из самых перспективных методов, актуальность и сильная финансовая

составляющая нивелируют действия конкурентов, а также сложность исполнения.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разработанной методики отверждения ЖРО значительно преобладают над ее недостатками.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2017	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2017	
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2017	Отчет
5	Календарное планирование работ	12.02.2017	План работ
6	Изучение особенностей подготовки образцов	13.02.2017	Отчет
7	Освоение методики отверждения ЖРО	14.02.2017	Отчет
8	Проведение экспериментов	15.02.2017- 30.03.2017	Отчет
9	Выполнение расчетов и анализ полученных данных	28.03.2017	Отчет
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2017	Отчет
11	Составление пояснительной записки	14.02.2017- 25.04.2017	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2017	
13	Подготовка к защите	27.04.2017- 25.05.2017	

3.2.2 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта, представленный в таблице 21. Работы представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ [27].

Таблица 21 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	1	1.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	1	3.02.2017	5.02.2017	Руководитель
3	Выбор направления исследований	2	5.02.2017	10.02.2017	Руководитель, Студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2017	12.02.2017	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2017	13.02.2017	Руководитель, студент
6	Изучение особенностей подготовки образцов	1	13.02.2017	14.02.2017	Студент
7	Освоение методики отверждения ЖРО	1	14.02.2017	14.02.2017	Студент
8	Проведение экспериментов	45	15.02.2017	30.03.2017	Студент
9	Выполнение расчетов и анализ полученных данных	2	28.03.2017	30.03.2017	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2017	30.03.2017	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2017	25.04.2017	Студент

Продолжение таблицы 21

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2017	27.04.2017	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	7	27.04.2017	25.05.2017	Студент

В таблице 22 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 22 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февраль			Март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания	Р	1	■														
2	Составление и утверждение технического задания	С	1		■													
3	Выбор направления исследований	С, Р	2		■													
4	Подбор и изучение материалов по теме	Р	2			■												
5	Календарное планирование работ	С	1		■													
6	Изучение особенностей подготовки образцов	С	1			■												
7	Освоение методики отверждения ЖРО	С, Р	1			■												

Продолжение таблицы 22

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			Март			апрель			май			июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
8	Проведение экспериментов	С	45														
9	Выполнение расчетов и анализ полученных данных	С	2														
10	Обобщение и оценка результатов	С,Р	1														
11	Составление пояснительной записки	С	72														
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С,Р	1														
13	Подготовка к защите	С	29														

■ – Студент; ▨ – Руководитель

3.3 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (4)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 23.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,81 \cdot 0,5 \cdot 955 = 2774 \quad (5)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,81 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
1. Электроэнергия для ЭВМ	кВт·ч	955	5,81	2774
2. Электропитание ручного миксера	кВт·ч	15	5,81	523

Продолжение таблицы 23

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
3. Бумага	шт.	150	0,2	30
4. Печать на листе А4	шт.	400	2	800
5. Карандаш	шт.	2	9	18
6. Ластик	шт.	1	11	11
7. Доступ в интернет	месяц	5	400	2000
8. Учебная литература	шт.	2	550	1100
9. ПЭВМ	шт.	1	57800	57800
10. Электрический ручной миксер ЗУБР ЭКСПЕРТ ЗМР-1200Э-1	шт.	1	4679	4679
Итого				69735

3.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Проведем расчет амортизации специального оборудования, применявшегося в процессе научной работы. Лабораторный пресс П-50, цена единицы оборудования – $\Phi = 295$ тыс. рублей, норма амортизации $N = 7,7$

Рассчитаем сумму амортизационных отчислений за год:

$$A = (N \cdot \Phi) / 100 = 22,715 \text{ тыс. рублей}$$

Дневная сумма отчислений будет составлять:

$$A_d = A / 365 = 22715 / 365 = 66,23 \text{ рубля}$$

Сумма отчислений за период проведения исследования будет составлять:

$$A_{\text{исс}} = A_o \cdot t = 66,23 \cdot 90 = 5600,96 \text{ рублей}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (6)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, студента) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 21);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 22).

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot k_p, \quad (9)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 25.

Таблица 25 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	Z_{tc} , руб.	k_p	Z_m , Руб	$Z_{дн}$, руб	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	-	-	26300	1,3	34190	1786,81	12507,7
Магистр	-	-	1800	1,3	2340	122,3	11740,1
Итого $Z_{осн}$					24247,8		

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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 (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 26.

Таблица 26 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	12507,7	1500,92
Итого			1500,92

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (24247,8 + 1500,92) = 7724,6 \text{ руб.}$$

3.3.6 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 хозяйственного инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 14 %.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,14 \cdot (24247,8 + 1500,92 + 7724,6) = 4686,2 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НТИ

Исполнитель	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ, руб.	69735
Амортизационные отчисления, руб.	5600,96
Основная заработная плата, руб.	24247,8
Дополнительная заработная плата, руб.	1500,92
Сумма отчислений во внебюджетные фонды (30%), руб.	7724,6
Накладные расходы, руб.	4686,2
Бюджет затрат НТИ, руб.	113495,5

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах. Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{303102,49}{303102,49} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (11)$$

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^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 27).

Таблица 27 – Оценка характеристик исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
1. Удобность в реализации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	5	5	5
2. Удобство в контроле во время обслуживания	0,1	5	4	3	3
3. Простота производства по данной технологии	0,07	5	5	3	3
4. Стойкость к внешним воздействиям после захоронения	0,06	5	4	4	5
5.1 Безаварийность производственного процесса	0,03	5	5	5	3
5.2 Влияние вредных веществ на окружающую среду	0,04	4	4	3	4
6. Потребность в объеме для хранения	0,06	4	4	4	4
7. Функциональная мощность	0,07	4	3	5	4
8. Ресурсоемкость	0,07	5	3	3	3
ИТОГО	1	61	52	49	59

$$I_{pi} = 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,06 + 4 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,07 = 4,28$$

$$\text{Аналог1} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,07 + 4 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,06 + 3 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0,07 = 4,01$$

$$\text{Аналог2} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,07 + 4 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,03 + 3 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0,07 = 3,84$$

$$\text{Аналог3} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,06 + 3 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,06 + 4 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0,07 = 4,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога $I_{финаi}^{ai}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}; \quad I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}}. \quad (12)$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{4,28}{1} = 4,28; \quad I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{4,01}{1,05} = 3,82;$$

$$I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,84}{1,16} = 3,31; \quad I_{фина3}^{a3} = \frac{I_m^{a3}}{I_{фина3}^{a3}} = \frac{4,25}{1,12} = 3,79;$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (13)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,16	1,29	1,36

Продолжение таблицы 28

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,28	4,01	3,84	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,28	3,82	3,31	3,79
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,04	1,16	1,12

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

4 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководителями, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности [28].

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические (таблица 29).

Таблица 29 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПЭВМ	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [31]
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т. д.)	–	СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [30]
	–	Пожарная безопасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации [33]
Работа с вредными веществами	Химическое отравление		ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности»

На магистранта во время выполнения ВКР воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические;
- химические (вредные вещества).

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы,

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

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и с вредными веществами

4.2.1 Организационные мероприятия

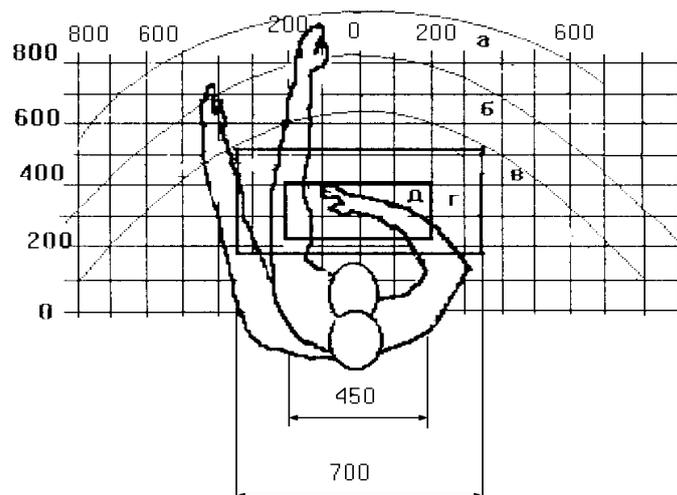
Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 21).



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

Рисунок 21 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура размещается в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони –

литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 ÷ 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног

высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола $420 \div 550$ мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии $500 \div 600$ мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии $100 \div 300$ мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° . Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической

напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры

микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – (20 ÷ 25) °С, зимой – (13 ÷ 15) °С. В лаборатории осуществляется искусственная вентиляция. Воздух нагнетается через специализированную приточку, а удаляется через вытяжки. Основным достоинством такой вентиляции состоит в том, что приточный воздух поступает в помещение с предварительной очисткой и нагреванием.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная часть исходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [30] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц ÷ 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц ÷ 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др.

В соответствии с нормами [30] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/ч.

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

4.4 Химическая безопасность

В данной работе использовались вредные вещества: соединения в виде порошка дигидрофосфата калия, оксида магния) [ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности»], характеристики которых приведены в таблице 31:

Таблица 31 - Характеристика вредных веществ

Название вещества	Физические свойства	ПДК РЗ, мг/м ³ . (класс опасности)	Общий характер воздействия	Первая помощь
Дигидрофосфат калия	Порошок белого цвета без запаха, T _{пл} = 252°C, ρ = 2,38 г/см ³	10 (4 класс опасности)	Попадая в организм человека дигидрофосфат калия частично превращается в фосфатную кислоту, что может вызвать ожог слизистых оболочек.	Промыть глаза и носовые пазухи чистой водой или 2% раствором натрия гидрокарбоната. Для очистки ЖКТ принимать внутрь щелочное питье (боржоми)

Продолжение таблицы 31

Название вещества	Физические свойства	ПДК РЗ, мг/м ³ . (класс опасности)	Общий характер воздействия	Первая помощь
Оксид магния	Порошок, состоящий из мельчайших бесцветных кристаллов T _{пл} = 2825°C, ρ = 3,58 г/см ³	6 (3 класс опасности)	При более значительном содержании частиц оксида магния в воздухе способен вызывать раздражение глаз и органов дыхания, чувство жжения в горле, кашель и аллергические реакции.	При остром отравлении промыть желудок обильным количеством воды. Возможно введение внутривенно глюконата или хлорида кальция.

При работе в химической лаборатории возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:

- химические ожоги при попадании на кожу или в глаза едких химических веществ;
- порезы рук при небрежном обращении с лабораторной посудой;
- отравление парами или газами высокотоксичных химических веществ;
- возникновение пожара при неаккуратном обращении с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

Общие требования при работе в химической лаборатории:

- При работе в лаборатории должна использоваться следующая спецодежда и средства индивидуальной защиты: халат хлопчатобумажный, резиновые перчатки, очки защитные.
- В лаборатории должна быть медаптечка с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств.
- Лаборатория должна быть оборудована вытяжным шкафом для хранения кислот, щелочей и проведения опытов с ЛВЖ и ГЖ.

4.5 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением;
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток, проходя через организм человека, может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое;
- электролитическое (химическое);
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщеплении крови и иной органической жидкости, в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц. Такое влияние опасно для органов дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, так как это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [30].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [33] 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. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т. п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

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 [32].

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

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

– исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

– применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

– 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 аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;

- позвонить в аварийную службу;

- принять меры в соответствии с инструкцией.

Список публикаций студента

1. Диплом 1 степени за доклад «Математический расчет траектории движения катионов кальция в водном растворе под действием асимметричного электрического поля» представленный на III Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение», сентябрь 2016 г. Томск.
2. Титов Е. С., Дорофеева Л. И. Моделирование обменных процессов разделения на твердофазных соединениях // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов III Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 19-23 Сентября 2016. - Томск: Графика, 2016 - С. 63
3. Орлов А. А., Кравченко А. В., Титов Е. С., Лебедев А. Я. Обзор перспективных методов рециркуляции урана в ядерно-топливном цикле // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 2/2. - С. 35-39
4. Беспала Е. В., Титов Е. С. Расчет температурного поля внутри плазмохимического реактора для разделения изотопов углерода // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов II Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 19-23 Октября 2015. - Томск: Графика, 2015 - С. 25
5. Dorofeeva L. I., Boretsky E. A., Titov E. S. Modeling of exchange separation processes on solid-phase compounds [Electronic resorces] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 142.

Список использованных источников

1. Гагаринский А.Ю. Социальная приемлемость ядерной энергетики и проблемы радиоактивных отходов / А.Ю. Гагаринский, В.М. Новиков, Вальстрем // Доклады и выступления на Второй ежегодной конференции ядерного общества. М, 1992. Ч. 1.
2. Обращение с радиоактивными отходами АЭС Российской Федерации: Доклад на Международной научно-практической конференции «Радиоэкологическая безопасность современной цивилизации Л.И. Мартыновченко, А.А. Резник, Л.П. Хамьянов и др. // Атом-пресса. 2012. № 5. С. 21–24.
3. Захаров М.А. Пористые материалы как новые матрицы для иммобилизации долгоживущих радионуклидов – продуктов переработки ядерного топлива АЭС / М.А. Захаров // Радиоактивные отходы. Проблемы и решения. М.: Ядерное общество, 2002. Ч. 2. С. 234.
4. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 / С.А. Тевлин. М.: Издательство МЭИ, 2002.
5. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: справочник / В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов и др. М.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Поляков А.С. Обращение с радиоактивными отходами на радиохимических предприятиях Министерства Российской Федерации по атомной энергии: Доклад на Международной научно-практической конференции «Радиоэкологическая безопасность современной цивилизации». М., 6–8 июня 1995 / А.С. Поляков, Г.Б. Борисов // Атом-пресса. 1995. № 5. С. 26–30.
7. Дмитриев С.А. Пути разрешения проблемы хранения кубовых остатков на АЭС / С.А. Дмитриев, Ф.А. Лифанов, А.Е. Савкин // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 256.

8. Корчагин Ю.П. Снижение поступления радиоактивных отходов на АЭС и современные технологии их переработки / Ю.П. Корчагин // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 69.
9. Инютин Е.И. Выдержка радиоактивных отходов до захоронения / Е.И. Инютин, А.Л. Кочетков, А.Г. Цикунов // Атомная энергия. 1990. Т. 69. Вып. 6. С. 402–403.
10. Чечеткин Ю.В. Обращение с радиоактивными отходами / Ю.В. Нечеткий, Ф.Н. Грачев. Самара: Самарский дом печати, 2000.
11. Плазменная переработка твердых радиоактивных отходов среднего уровня активности / С.А. Дмитриев, Ф.А. Лифанов, М.А. Полканов и др. // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 142.
12. Бимер Н.В. Опыт сжигания отходов низкой активности лабораторий ядерных исследований Чок-Ривер / Н.В. Бимер // Atomic Energy of Canada Limited. 1981.
13. Подход к оценке безопасности способов обращения с жидкими радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла / С.А. Кабакчи, О.М. Ковалевич, Р.Б. Шарафутдинов и др. / Атомная энергия. 2002. Т. 92. Вып. 3.
14. Остекловывание радиоактивных отходов в индукционных плавителях / Н.А. Соболев, Ф.А. Лифанов и др. // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 121.
15. Разработка методов отверждения жидких высокоактивных отходов в СССР / А.С. Никофоров, В.Н. Основин и др. // Доклады и выступления на 11-й ежегодной конференции ЯО. М., 1992. Ч. 2. С. 260.
16. Кузнецов Ю.А. Экономическая оценка вариантов длительного хранения РАО на АЭС / Ю.А. Кузнецов // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 231.
17. Орлов В.В. Обращение с РАО в крупномасштабной ядерной энергетике будущего / В.В. Орлов, И.Х. Ганев, Л.А. Кочетков и др. // Доклады на 1-й конференции ОЯ СССР. Обнинск, 1990.

18. Кесслер Г. Ядерная энергетика: пер. с англ. / Г. Кесслер. М.: Энергоатомиздат, 1986. Лебедев А. Н., Шальнов А. В. Основы физики и техники ускорителей: в 3-х т. Учеб. Пособие для вузов. Т. 1. Ускорители заряженных частиц. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.

19. Совершенствование технологии цементирования РАО в МосНПО «Радон» / А.П. Варлаков, О.А. Горбунова и др. // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002.

20. Обезвреживание ЖРО с иммобилизацией радионуклидов в минералоподобной цементной матрице / О.В. Старков, Н.Г. Богданович и др. // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002. С. 168.

21. Вертман А.А. Альтернативная технология обезвреживания водохвостовых отходов и хранения продуктов их кальцинации / А.А. Вертман, Ю.И. Звездин, В.Е. Кузь // Радиоактивные отходы. Проблемы и решения. М.: Ядерное общество, 2002. Ч. 2. С. 277.

22. Разработка методов отверждения жидких высокоактивных отходов в СССР / А.С. Никофоров, В.Н. Основин и др. // Доклады и выступления на 11-й ежегодной конференции ЯО. М., 1992. Ч. 2. С. 260.

23. Концепция по обращению с отработавшим ядерным топливом Министерства Российской Федерации по атомной энергии. М.: Минатомэнерго РФ, 2003.

24. Потемкина Т.Н. Исследование фазовых превращений соединений редкоземельных элементов в процессе иммобилизации пенокорундов / Т.И. Потемкина, М.А. Захаров, Т.Э. Плотникова // Радиоактивные отходы. Проблемы и решения. М.: Ядерное общество, 2002. Ч. 2. С. 307.

25. Включение продуктов деления в состав пористого пенокорундового иммобилизатора на примере европия / М.А. Захаров, А.А. Козарь и др. // Радиоактивные отходы. Проблемы и решения. М.: Ядерное общество, 2002. Ч. 2. С. 310.

26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.

Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 73 с.

27. Ресурсоэффективность отрасли: учебное пособие / Н. А. Гаврикова [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 111 с.

28. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 1976.01.01. – М., 1974. – 3 с.

29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – Введ. 2003.06.30. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 53 с.

30. ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности».

31. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – Введ. 1983.07.01. – М., 1983. – 7 с.

32. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – Введ. 2003.06.30. – М., 2003. – 185 с.

33. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Введ. 1998.01.01. – М., 1998. – 17 с.

Приложение А

Methods for liquid radioactive waste treatment

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Титов Е.С.		

Консультант кафедры ТФ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Новоселов И.Ю.	—		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ермакова Я.В.			

Contents

INTRODUCTION	103
1 Methods for liquid radioactive waste treatment	104
1.1 Origin and types of liquid radioactive waste	104
1.2 Purification and concentration of liquid radioactive waste.....	105
1.3 Temporary storage of liquid radioactive waste.....	107
1.4 Radioactive waste solidification	109
1.4.1 Physicochemical basis of the solidification process	109
1.4.2 Methods of radioactive waste solidification	109
1.4.2.1 Bituminization of radioactive wastes.....	109
1.4.2.2 Cementation of liquid radioactive wastes.....	111
1.4.2.3 Vitrification of liquid radioactive waste	112
1.4.2.4 Synthesis of ceramic matrices for the radionuclides	113
CONCLUSION	114
REFERENCES	115

INTRODUCTION

Choosing a suitable waste form for nuclear waste immobilisation is difficult and durability is not the sole criterion. In any immobilisation process where radioactive materials are used, the process and operational conditions can become complicated, particularly if operated remotely and equipment maintenance is required. Therefore priority is given to reliable, simple, rugged technologies and equipment, which may have advantages over complex or sensitive equipment [1].

1 Methods for liquid radioactive waste treatment

1.1 Origin and types of liquid radioactive waste

The nuclear power plant produces a volume of liquid waste. Liquid wastes containing high level of radioactive elements are not allowed to be discharged into the environment.

Neutron activation of the cooling agent, which contains impurities, is one of the factors that affects appearance of radionuclides in LWR. Primary sources of activity in water include the activation products of water impurities including K_{42} which has a half-life of 12 hours, and Na_{24} which has a half-life of 15 hours.

As a consequence of the appearance of corrosion on the activated parts of the reactor, an accumulation of Fe_{59} , Mn_{54} , Co_{60} , Sb_{124} , Sb_{122} , Co_{58} , Cr_{51} takes place in the coolant.

Correctness requires it to be noted that primary coolant water chemistry plays a significant role in the depression of ex-core corrosion processes because the increase in corrosion product concentration in the coolant will increase the risk of occurrence of crud deposits (not autochthonic) on the cladding surfaces.

Corrosion processes in the primary circuit, corrosion product transport and activated coolant corrosion product characteristics depend directly on the coolant water chemistry and out-of-core construction materials.

Ionite filters that purify the turbine condensate salts are another factor that affects appearance of radionuclides in LRW. For this purpose, bulk regenerated filters are used.

The third factor is the washing of the circuit to exclude corrosion elements from its surface.

Solutions on the basis of oxalic acid and hydrogen peroxide find an application in initial decontamination procedure in case of a fuel element failure and a consequent contamination of the primary circuit with nuclear fuel elements and uranium fission products. The oxalic acid and peroxide solutions dissolve the

dispersed nuclear fuel particles; in addition, they remove the protective oxide layers and deposits on carbon steel surfaces [2].

Radioactive silt deposits (RSD) of the spent fuel rod cooling pools were used as an object of this paper.

Classification of LRW

Liquid radioactive waste can be classified into two categories according to its constituents: homogeneous (aqueous radioactive waste) and heterogeneous (mixed liquid radioactive waste).

Depending on the level of activity liquid wastes are subdivided into low activity waste (solutions after cleaning of premises and clothes), intermediate activity waste (circuit leakage, solutions from regeneration and purification from radioactive contamination of technical means and washing of the circuit) and high activity waste (dismantled parts of the primary circuit equipment and some compounds).

Types of liquid radioactive waste depending on the level of activity are given in the Table 1.

Table 1 – Types of LRW

LWR	Specific activity, 10 Bq / l
Intermediate activity waste	$3,7 \div 3,7 \cdot 10^5$
Low activity waste	$< 3,7$
High activity waste	$> 3,7 \cdot 10^5$

Liquid radioactive waste can be classified into two categories according to its salt content: saline (e.g. solutions for regeneration and washing out the circuit) and low-salt (e.g. leakage of the circuit, solutions after cleaning the premises and clothes).

1.2 Purification and concentration of liquid radioactive waste

Processing of liquid radioactive waste is aimed at solving two main tasks: cleaning the bulk of the waste from the concentration of radionuclides and the latest in a minimum volume.

For these purposes, the following methods are used: membrane, sorption and thermal.

Sorption methods have extensive applications to remove soluble radionuclides from LRW produced in nuclear fuel cycle operations. Ion exchange process involves the replacement of cations or anions between an insoluble solid matrix containing ionizable polar groups and a liquid solution. The process is selective, stoichiometric and, as a rule, reversible; therefore ion exchangers can be «regenerated» and radioactive liquid waste recovered with high activity content or if the exchangers become «exhausted» they are removed and treated as radioactive wastes.

Thermal method is effective for concentrating or removing salts, heavy metals and a variety of hazardous materials from waste effluent, reducing large volumes of liquid wastes with high factor decontaminations. The process is commonly used for the treatment of high, intermediate and low level waste effluents; in particular for the treatment of small volumes of highly active effluents and may be carried out through the use of commercially available evaporation equipment. However, evaporation has some important limitations: unsuitable for waste effluents containing large concentrations of inactive salts, expensive because its large energy requirement and the presence of some organic compounds can produce explosions during evaporation.

Membrane methods can be considered as the most energy-saving separation techniques. Separation abilities of membranes allow the elimination of many non-effective and energy consuming methods and their replacement by new, modern technologies, friendly environment friendly. An application of membrane methods for liquid radioactive wastes treatment requires solving many problems connected with the proper selection of the membranes, membrane modules and other equipment according local conditions: chemical and radiochemical composition of the effluents treated, their activity and total salinity.

1.3 Temporary storage of liquid radioactive waste

Every nuclear power plant must have the temporary storage of liquid waste. Overexposure of liquid radioactive wastes of all categories in reservoirs and open containers is prohibited.

As a rule, places of LRW overexposure are a component of a complex of nuclear facilities. Defining requirements that are observed in the construction of radwaste storage facilities are:

- Observance of radiation safety of maintenance personnel;
- Prevention of the spread of radioactive substances into the environment.

Factors to consider when determining the requirements scope include: size of the structure(s), complexity of design or construction, type of radioactive waste to be stored (wet, solidified wet, or dry low-level), within or outside the plant protected area, and the extent of prior NRC review.

The storage of liquid radioactive waste should not be located within the first and second belts of the zone of sanitary protection of underground water intakes. To monitor possible contamination of groundwater with radioactive substances, observation wells are placed at the perimeter of the storage facility at a distance of 5-10 m from the outer surface of the tanks.

The options for the layout of LRW storage facilities can be different depending on the purpose of the nuclear installation. A possible variant of the layout of the LRW storage for experimental and research reactors is shown in Figure 1.

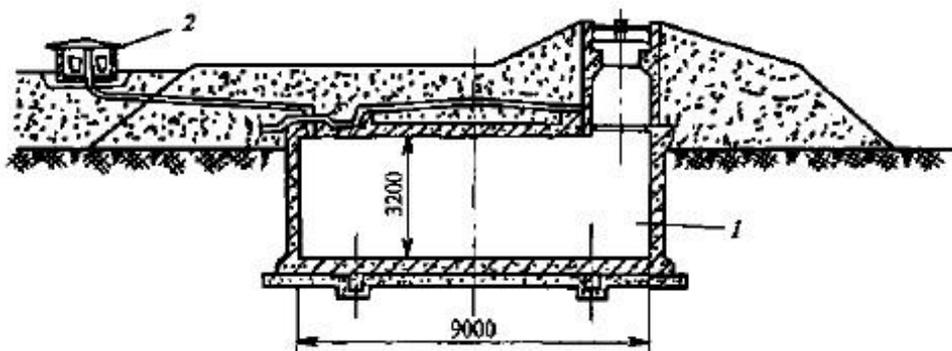


Figure 1 - Layout of the LRW storage for experimental and research reactors

1- LRW storage tank; 2 - auxiliary room.

Tank design and constructional materials shall ensure the working lifespan no less than that of NPP. The tank volume shall provide for 3-month technological seasoning of LRW (not less) till its recycling for decay of short-lived radionuclides.

The storage schemas are shown in Figure 2.

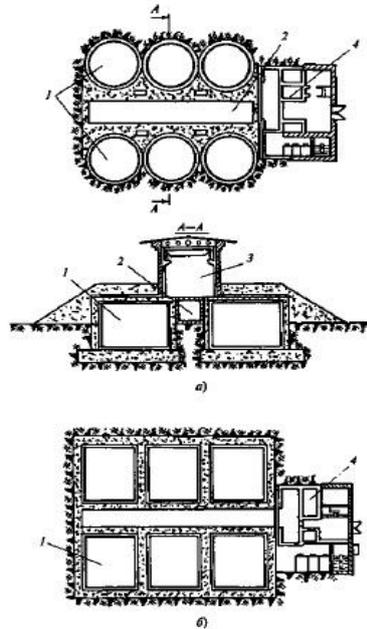


Figure 2 - LRW storage schemes

A - with cylindrical tanks; B - with rectangular tanks; 1 - tanks for LRW storage; 2 - pipe corridor; 3 - annex.

It is required that the operators perform a ‘zoning’ of their facilities to distinguish between ‘nuclear waste zones’ and ‘conventional waste zones’. This zoning must be done only on the basis of a functional analysis and a historical review, taking into account the normal operation of the facility and past incidents. Measurements are only used to check the zoning that has been developed.

There are of course some rules concerning separations between nuclear waste zones and conventional waste zones: these must be physical boundaries and any passageway between these two types of zones must be equipped with appropriate contamination detection instruments for people and objects, in order to prevent the spread of contamination within the facility and to reinforce the functional analysis that has been done. The physical boundaries between zones have to be submitted to a regular check of their functionality.

The zoning of the facility should be the simplest possible; it should be compatible with ventilation design and radiation protection zoning. Transportation movements within the facility should also be taken into account [3].

1.4 Radioactive waste solidification

1.4.1 Physicochemical basis of the solidification process

Solidification is accomplished by mixing the waste with a solidification agent or binder. The binder forms a monolithic solid by reacting chemically with the waste, by forming microscopic cells that encapsulate the waste, or by coating and binding the individual particles of waste together or by encapsulation of the waste. The primary reason for solidifying waste has been to satisfy regulatory requirements.

1.4.2 Methods of radioactive waste solidification

1.4.2.1 Bituminization of radioactive wastes

Bituminization is a proven immobilization process for a wide variety of radioactive wastes. Both batch and continuous processes have been used, but the continuous process is generally preferred because of the higher throughput. The primary equipment of a continuous process is either a multiple screw extruder or a wiped thin film evaporator, both of which are expensive. The process is also energy intensive owing to the need to heat equipment, bitumen storage tanks and feed lines.

The process of bitumenization of concentrates of liquid radioactive waste is carried out in two modes: continuous and periodic. The characteristics of this technology ensure the production of bituminous compounds of certain parameters: humidity, viscosity, water resistance, explosion and fire safety. The following main parameters are recommended: specific activity of LRW - no more than $3.7 \cdot 10^6$ Bq/l; process temperature in the range from 130 to 160 ° C. The content by salts of the finished product should not exceed 50%, and for ion-exchange resins - 40%.

Table 2 - Characteristics of the main grades of bitumen

Grade of bitumen	Softening point, °C	Weight loss on 160 °C, %	Flash point, °C	Fractional composition (по массе), %
BNK-45/180	42	1,0	240	68 (oil), 21,6 (resin), 10,7 (asphaltene)
BND-90/130	40	1,0	200	59 (oil), 22 (resin), 19 (asphaltene)
BND-60/90	47	1,0	200	59 (oil), 22 (resin), 19 (asphaltene)

Figure 4 shows the diagram of the bitumen device.

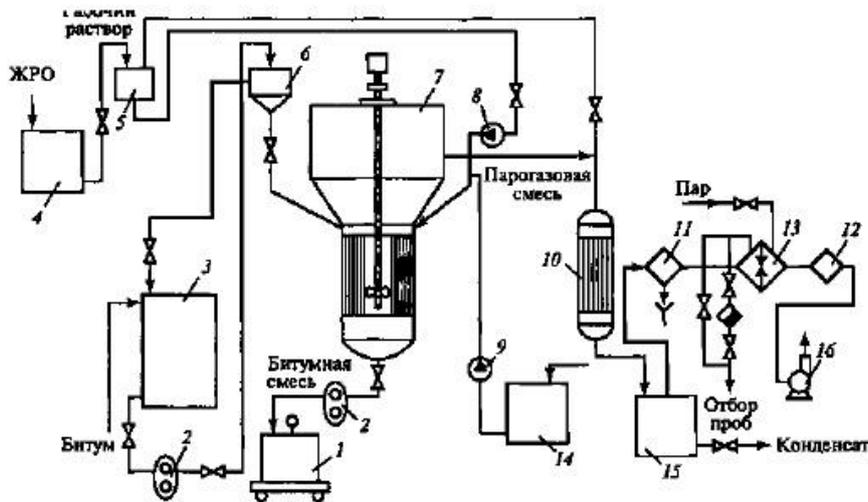


Figure 4 – Diagram of the bitumen device

1- packaging container; 2 - the pump for bitumen; 3 - a vessel for pure bitumen; 4 - a vessel with liquid radioactive waste; 5 - metering device of the solution; 6 - bitumen metering device; 7 – bituminizer DB-100; 8 - dosing pump; 9 - the pump; 10 - condensing device; 11, 12 - filtering device for fine and coarse cleaning; 13 - heat exchanger; 14, 15 - vessels with washing solution and condensate; 16 - ventilating device.

1.4.2.2 Cementation of liquid radioactive wastes

In-drum mixing processes involve mixing the waste and cement inside a container that can also be the final product container. The components are blended until a homogeneous mixture is obtained. After mixing, the cement–waste mixture is allowed to set, the container is capped with fresh cement to minimize void spaces and to avoid surface contamination, and a lid is fitted.

The mixing techniques used for in-drum processes include:

- Mixing with a reusable mixing element that stirs the contents of the container and is removed before the container is capped and the mixture sets. A disadvantage of this process is that the residue on the mixing paddle must be removed and the paddle washed to prevent area and container contamination.
- Mixing with a disposable mixer that stirs the contents of the container and is then left in the container. This is referred to as the lost paddle approach and involves the use of a paddle that is inexpensive to fabricate but capable of producing a homogeneous mix.

Conditioning of liquid radioactive waste concentrates by cementation has developed as a standard solidification technique in waste management. It is practiced on different scales, depending on the specific local situation with respect to the types and volumes of waste. Versatile cementation units can be designed that take account of possible fluctuations in waste compositions. In addition, waste conditioning that applies elaborate mixtures of cement and additives is common practice and assures final waste products of a high quality and standard. There are presently a large number of cementation units in operation at various nuclear facilities throughout the world [4].

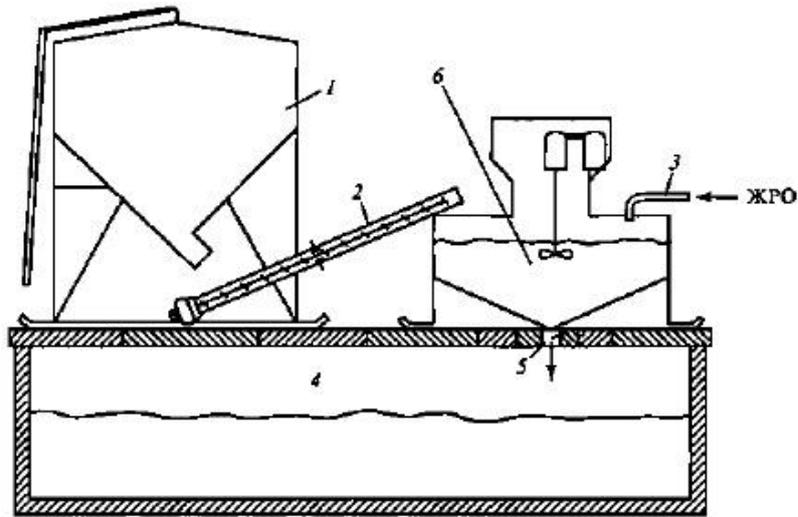


Figure 5 – Cementing device

1 - bunker with cement; 2 - auger device; 3 - LRW supply pipeline; 4 - radioactive waste storage facility; 5 - mixer solution; 6 – mixer

1.4.2.3 Vitrification of liquid radioactive waste

The desired long-term storage form for nuclear waste is a relatively insoluble, compact solid. As a solid, the waste becomes easier to store and handle; a small volume is desired because there are likely to be few candidates for long-term storage spaces and thus space will be at a premium. Keeping the solubility low reduces the chances of groundwater contamination. The resulting solid is then likely to be packaged, which provides additional barriers to contamination of the environment, but the effects of radiation on the surrounding matrix packaging are not negligible.

Amorphous borosilicates have been identified as one option for nuclear waste storage forms. To produce the glass, the waste is dried, heated to convert the nitrates to oxides, and then mixed with glass-forming chemicals and heated again to very high temperatures (approximately 1000 °C) to produce the melt. This is then poured into a containment vessel where it cools to form a glass. The containment vessel can then be sealed, decontaminated, and placed into a long-term (or temporary) storage facility. Studies of archeological glasses have agreed with models showing the immobilization of the important mobile nuclides during the critical time period where

they are highly radioactive, encouraging the continued study and use of this methodology.

1.4.2.4 Synthesis of ceramic matrices for the radionuclides

Ceramics are potentially attractive for immobilizing long-lived alpha-emitting actinides such as plutonium, neptunium and americium. However, some of these materials are susceptible to radiation damage effects associated with alpha decay from actinides. Multiphase crystalline ceramics consist of an assemblage of crystalline phases. Individual phases are selected for the incorporation of specific radionuclides, with the proportions of phases varying depending on the composition of the waste stream. An individual phase can host one or more radionuclides, including solid solutions of radionuclides. However, not all phases will host radionuclides. Ceramic materials and methods of fixation are largely at an early stage of development. Ceramic products are crystalline in nature and therefore thermodynamically stable although they are sensitive to radiation damage.

CONCLUSION

For comparison radionuclide leach parameters for cemented, bituminized and vitrified waste forms containing the same Kursk NPP radwaste (reactor RBMK) are listed in Table 4.

Waste matrix	Initial radioactivity, Bq/kg		Leach rate, g/cm ² day		Leach factor, cm ² /day	
	β-activity	α-activity	After 1 year	After 8 years	After 1 year	After 8 years
Glass	$3.89 \cdot 10^6$	$1.4 \cdot 10^4$	$8.67 \cdot 10^{-7}$	$3.72 \cdot 10^{-7}$	$6.03 \cdot 10^{-12}$	$1.78 \cdot 10^{-11}$
Bitumen	$3.29 \cdot 10^6$	$3.89 \cdot 10^2$	$8.06 \cdot 10^{-5}$	$5.38 \cdot 10^{-5}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$	$8.93 \cdot 10^{-10}$
Cement	$2.2 \cdot 10^6$		$1.51 \cdot 10^{-4}$	$9.28 \cdot 10^{-5}$	$5.11 \cdot 10^{-6}$	$2.67 \cdot 10^{-6}$

As can be seen, rates of radionuclide release from bituminized waste are two orders of magnitude higher than those of vitrified waste; however they fulfill in most cases the reasonable demands on safe disposal [5].

REFERENCES

1. A.S. Utsonomiya, L.M. Wang, S.V. Yudintsev and R.C. Ewing, Ion Irradiation Effects in Synthetic Garnets Incorporating Actinides, Materials Research Society Symposium Proceedings, 713, 495 – 500 (2002).
2. S.V. Yudintsev, A Structural-Chemical Approach to Selecting Crystalline Matrices for Actinide Immobilization, Geology of Ore Deposits, 45, 151 – 165 (2003).
3. S.V. Yudintsev, Incorporation of U, Th, Zr, and Gd into the Garnet-structured Host, in: Proceedings of the 8th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, The American Society of Mechanical Engineers, New York (2001).
4. S.V. Yudintsev, M.I. Lapina, A.G. Ptashkin, T.S. Ioudintseva, S. Utsonomiya, M.L. Wang and R.C. Ewing, Accommodation of Uranium into the Garnet Structure, Materials Research Society Symposium Proceedings, 713, 477 – 480 (2002).
5. W.L. Gong, R.C. Ewing, L.M. Wang and H.S. Xie, Crichtonite Structure Type (AM 21 O 38 and A 2 M 19 O 36) as a Host Phase in Crystalline Waste Form Ceramics, Scientific Basis for Nuclear Waste Management, XVIII (T. Murakami and R.C. Ewing)