

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 «Ядерные физика и технологии»

Кафедра Техническая физика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Изучение возможности безопасного включения радиоактивных иловых отложений в керамическую матрицу

УДК 666.3:621.039.75

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Орехов Дмитрий Владимирович		

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.		

Код результата	Результат обучения
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятия информации, постановке цели и выбору путей её достижения.
P2	Способность использовать нормативные правовые документы в своей деятельности.
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
P3	Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P4	Способность использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; готовность к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
P5	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; способность использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзор, отчетов и научных публикаций.
P6	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования приборов и установок; готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов; готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ.
P7	Готовность к монтажу, наладке, и испытанию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей; разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

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 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Орехов Дмитрий Владимирович

Тема работы:

Изучение возможности безопасного включения радиоактивных иловых отложений в керамическую матрицу
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– иловые отложения; – глинистые материалы; – параметры лабораторного оборудования.
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; – определение наилучших рецептов керамики; – определение наилучшего режима спекания; – испытание полученных образцов на прочность к сжатию; – испытание компаундов на устойчивость к воде; – оценка влияния количества иловых отложений на прочность компаундов; – 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	Орехов Дмитрий Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Орехов Дмитрий Владимирович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ТФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	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)

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	Орехов Дмитрий Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Орехов Дмитрий Владимирович

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»:

1. Описание рабочего места на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, вредные вещества); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы). – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	электробезопасность, пожаробезопасность, требования охраны труда при работе на ПЭВМ, химическая безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения); – охрана окружающей среды.
3. Охрана окружающей среды	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).

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	Орехов Дмитрий Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 121 с., 11 рис., 32 табл., 27 источников, 1 прил.

Ключевые слова: керамика, компаунд, отверждение, жидкие радиоактивные отходы.

Объектом исследования являются характеристики керамики из глины.

Цель работы – исследование и доработка существующего метода отверждения радиоактивных отходов путем включения в керамическую матрицу.

В процессе исследования проводились эксперименты по изучению свойств глиняной керамики и оптимальных режимов спекания.

В результате исследования получены экспериментальные данные о влиянии на механическую прочность и водостойкость: температурного режима обжига, количества воды и ила, добавок

Степень внедрения: средняя.

Область применения: обращение с РАО.

Экономическая эффективность/значимость работы : высокая.

Обозначения и сокращения

РАО – Радиоактивные отходы;

ЖРО – Жидкие радиоактивные отходы;

АЭС – Атомная электростанция;

ТРО – Твердые радиоактивные отходы;

ГРО – Газообразные радиоактивные отходы;

САО – Средне-активные отходы;

ВАО – Высокоактивные отходы;

ОЯТ – Отработавшее ядерное топливо.

Содержание

Введение.....	13
1. Подходы к обращению с радиоактивными отходами	14
1.1 Классификация радиоактивных отходов.....	14
1.1.1 Твердые радиоактивные отходы	17
1.1.2 Жидкие радиоактивные отходы	18
1.2 Методы обработки жидких радиоактивных отходов.....	20
1.2.1 Термические методы	21
1.2.2 Сорбционные методы.....	22
1.2.3 Мембранные методы	26
1.3 Кондиционирование жидких радиоактивных отходов	27
1.3.1 Обезвоживание и кальцинация.....	27
1.3.2 Отверждение жидких радиоактивных отходов	28
2. Оценка возможности безопасного включения радиоактивных иловых отложений в керамическую матрицу	36
2.1 Используемое оборудование и материалы.....	37
2.2 Определение свойств глинистых материалов.....	38
2.3 Подбор состава матрицы и определение предела прочности	42
2.3.1 Определение зависимости прочности образцов от плотности	47
2.3.2 Зависимость прочности от пористости материала.....	50
2.4 Изучение водостойких свойств образцов, покрытых силикатом натрия	53
2.5 Определение оптимального режима спекания компаундов.....	58
2.6 Испытание образцов, обработанных силикатом натрия.....	59
2.7 Итоговые выводы.....	61
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	62
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	62
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	64
3.1.2 SWOT-анализ	66
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом	69

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	69
3.2.2 Контрольные события проекта.....	69
3.2.3 План проекта	70
3.3 Бюджет научного исследования.....	73
3.3.1 Расчёт материальных затрат	73
3.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	75
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	76
3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	77
3.3.5 Накладные расходы	78
3.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды.....	79
3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	79
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	80
4 Социальная ответственность	84
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	84
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	86
4.2.1 Организационные мероприятия	86
4.2.2 Технические мероприятия	86
4.3 Условия безопасной работы	89
4.5 Электробезопасность.....	93
4.6 Пожарная и взрывная безопасность.....	95
Выводы	98
Список публикаций студента.....	100
Список использованных источников	101
Приложение А	104
INTRODUCTION.....	106
1.1 Using ceramics for handling with fission gases.....	107
1.2 Glass ceramics and glass composite materials (GCMs)	109

1.3 SYNROC matrix	111
1.4 Oxide ceramics	112
1.4.1 Corundum ceramics (based on) Al_2O_3	113
1.4.2 Ceramics based on ZrO_2	113
1.5 Non-oxide ceramics	114
1.5.1 Silicon Carbide Ceramics (SiC)	114
1.5.2 Silicon nitride ceramics	115
1.5.3 Ceramics of aluminium nitride	116
1.5.4 SiAlON ceramics	117
1.5.5 Titanium carbide ceramics	118
CONCLUSION	120
REFERENCES	121

Введение

Актуальность темы. Безопасное обращение с жидкими радиоактивными отходами, их изоляция от окружающей среды являются ключевыми вопросами атомной энергетики, решение которых способствует ее дальнейшему развитию [1].

Основная сложность в обращении с жидкими радиоактивными отходами состоит в постоянном ужесточении требований к их хранению и переработке. Увеличение объемов ЖРО, их передержка на промышленных площадках в неотвержденном виде негативно сказываются на радиационной безопасности атомной станции.

Таким образом, задача по рассмотрению комплекса вопросов, связанных с обращением с жидкими радиоактивными отходами и увеличением безопасности АЭС, является актуальной.

Наиболее перспективными с точки зрения обращения с жидкими радиоактивными отходами являются технологии включения в керамическую матрицу, которые будут рассмотрены в данной работе.

Научная новизна проведенных исследований по безопасному включению жидких отходов в керамическую матрицу состоит в следующем:

- получены образцы глиняной керамики с включенными в них ЖРО;
- исследованы параметры разных видов глины на соответствие их требованиям, представленным в ГОСТ для РАО, отвержденных методом цементирования;
- определены оптимальные условия подготовки керамических компаундов.

1. Подходы к обращению с радиоактивными отходами

1.1 Классификация радиоактивных отходов

Определяющим фактором одной из систем классификации радиоактивных отходов является возможная опасность отходов. В соответствии с Федеральным законом № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» РАО разделяются на удаляемые и особые [2].

Согласно приведенному документу, удаляемые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

В свою очередь особые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

В соответствии с критерием удельной активности РАО подразделяются на очень низкоактивные радиоактивные отходы, низкоактивные радиоактивные отходы, среднеактивные радиоактивные отходы, высокоактивные радиоактивные отходы.

По агрегатному состоянию отходы классифицируются на жидкие, твердые и газообразные РАО.

В зависимости от наличия или отсутствия ядерных материалов в РАО их подразделяют на радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы и радиоактивные отходы, их не содержащие.

Международное агентство по атомной энергетике (МАГАТЭ) имеет свою классификацию радиоактивных отходов, которая основана на длительности распада радионуклидов, содержащихся в РАО, в связи с тем, что метод обращения с отходами определяется временем опасности для человека и окружающей среды.

По классификации МАГАТЭ отходы разделяются на несколько групп:

Освобождаемые от контроля отходы – это отходы, которые можно освободить от регулирующего контроля вследствие их низкой радиологической опасности. Данная опасность может быть определена по пределам содержания нуклидов для соответствующей категории.

Низкоактивные и среднеактивные отходы – это отходы, содержание нуклидов в которых требует определенных мер для защиты населения. Эта группа делится на две категории отходов: отходы, которые содержат долгоживущие и короткоживущие радионуклиды.

Высокоактивные отходы – это такие отходы, содержание радионуклидов в которых настолько большое, что в течение большого промежутка времени необходима их изоляция от окружающей среды. При обращении с ними необходима биологическая защита, а также охлаждение [3].

В соответствии со способом захоронения или утилизации МАГАТЭ приводит следующую классификацию РАО (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация радиоактивных отходов (по рекомендации МАГАТЭ) в зависимости от способа захоронения и утилизации

Категория	Характеристика	Метод захоронения
Высокоактивные радиоактивные отходы	Отходы с большим количеством высокоактивных или долгоживущих радионуклидов	Захоронение в глубоких геологических формациях (глубина захоронения более 400 метров)
Среднеактивные радиоактивные отходы	Отходы, содержащие долгоживущие радиоактивные элементы (альфа-излучатели), требующие повышенного уровня изоляции	Захоронение в приповерхностных хранилищах (глубина захоронения (60ч200) м)
Низкоактивные радиоактивные отходы	Отходы, содержащие небольшое количество долгоживущих радионуклидов с активностью, которая выше уровня выведения	Захоронение в приповерхностных хранилищах (глубина захоронения (30ч60) м)
Очень низкоактивные радиоактивные отходы	Отходы, не требующие высокого уровня изоляции, но не удовлетворяющие критериям выведения	Захоронение в приземных хранилищах
Очень короткоживущие радиоактивные отходы	РАО, которые могут храниться с целью снижения активности до уровней выведения в течение ограниченного периода времени с последующим выведением из сферы регулирования безопасности. К этой группе относятся РАО, содержащие в основном радионуклиды с небольшим периодом полураспада	Неконтролируемое захоронение, использование, сброс в водоём

Продолжение таблицы 1

Категория	Характеристика	Метод захоронения
Не подлежащие контролю радиоактивные отходы	Радиоактивные вещества, которые отвечают критериям выведения из сферы регулирования, изъятия или исключения	Без ограничений

1.1.1 Твердые радиоактивные отходы

К твердым радиоактивным отходам относятся инструменты, материалы, образующиеся при эксплуатации и ремонте ядерных установок, приборы, оборудование, вышедшее из строя, мусор, кабели, спецодежда и средства индивидуальной защиты, изношенные детали оборудования, упаковочная тара, теплоизоляционные материалы, загрязненные радионуклидами, а также компаунды (жидкие отходы, подверженные иммобилизации)

Высокоактивными твердыми отходами по данной классификации являются выделенные из радиоактивных растворов центрифугированием или фильтрацией нерастворимые вещества и конструктивные материалы водяных контуров и тепловыделяющих элементов.

При нормальных условиях работы АЭС можно выделить три вида радиоактивных отходов:

первоначально твердые радиоактивные отходы;

жидкие отходы, которые были отверждены;

твердые радиоактивные отходы, полученные в результате обработки газообразных.

Твердые РАО классифицируются по методу обращения с ними:

прессуемые – резина, одежда, пластмассы, ветошь, изоляция, бумага;

непрессуемые – стекло, фильтры, инструменты, строительные материалы;

сжигаемые – бумага, дерево;

металлические – арматура, трубы, детали реактора, металлические листы.

После того, как образуются твердые радиоактивные отходы, их собирают в специальные контейнеры, которые установлены в местах временного хранения с последующей сортировкой.

На всех АЭС существуют помещения для хранения твердых радиоактивных отходов, которые представляют собой емкости из бетона, расположенные под или над землей, и изолированные от воздействия грунтовых вод и атмосферных осадков. Хранилища имеют системы погрузки-разгрузки, противопожарные системы, системы контроля и вентиляцию.

1.1.2 Жидкие радиоактивные отходы

Жидкие радиоактивные отходы всегда образуются при работе атомных электростанций. Радионуклиды появляются в реакторном контуре за счет активации в нейтронном потоке в активной зоне реактора самого теплоносителя, естественных примесей и продуктов коррозии конструкционных материалов, а также из-за того, что в контур попадают продукты деления вследствие разгерметизации оболочек твэлов. Основными продуктами деления в реакторном контуре являются ^{90}Sr и ^{137}Cs . На атомной

станции постоянно проводится специальная чистка теплоносителя для поддержания режимов химического состава, чистоты и уменьшения радиоактивности.

Очистка теплоносителя происходит в непрерывно работающих байпасных фильтрационных установках. Контуров выполняются в замкнутом виде из соображений экономики (т.к. заменять отработанный теплоноситель на чистый не выгодно) и из-за радиоактивной среды [4].

Основные функции спецводоочистки – это выделение примесей и происходящая непрерывно дезактивация контуров. После истощения обменной ёмкости ионообменных фильтров водоочистки производят их регенерацию. В результате чего образуется большой объем жидких РАО. По причине того, что спецводоочистка не рассчитана на удаление отложений радиоактивных примесей на отдельных участках контура, возникает необходимость в проведении дезактивации, в результате которой образуются радиоактивные воды промывки.

Основными источниками возникновения жидких радиоактивных отходов на АЭС являются:

- 1) Лабораторные сточные воды,
- 2) Пульпа ионообменных смол,
- 3) Растворы дезактивации,
- 4) Воды прачечных, обмывочные воды,
- 5) Конденсат турбин,
- 6) Контурный теплоноситель,
- 7) Спонтанные протечки технологической воды,
- 8) Регенерационные воды из ионообменных фильтров,
- 9) Протечки,
- 10) Радиоактивные иловые отложения.

Переработка жидких радиоактивных отходов имеет два этапа. На первом сокращаются объемы отходов с получением некоторого объема чистой воды, который можно снова включить в цикл, и объема концентрата отходов. На втором этапе происходит переработка концентрата для последующего захоронения или хранения.

Выбор методики удаления и переработки жидких РАО определяется активностью отходов, радиохимическим составом, количеством и требуемой степенью очистки, а также способом хранения полученного концентрата.

Для переработки и очистки ЖРО используются такие методы, как электродиализ, обратный осмос, фильтрация, ионный обмен, сорбционные, термические, мембранные и многие другие. Каждый метод в отдельности от других не обеспечивает эффективной очистки, вследствие этого данные методы применяются в комплексе и цепочке установок.

Жидкие радиоактивные отходы в обязательном порядке необходимо переводить в твердую форму в целях удобства хранения, транспортировки, переработки, захоронения и с точки зрения безопасности.

Процесс отверждения осуществляется множеством методов, такие как сушка, упаривание, прокаливание, отжиг, плавление, заключение в металлическую матрицу и другие.

1.2 Методы обработки жидких радиоактивных отходов

С учетом того, что законодательство Российской Федерации не позволяет сброс РАО в водные объекты, жидкие радиоактивные отходы на станциях отбираются в баки-хранилища, после чего их направляют на переработку. Во время переработки из воды извлекают химические загрязнители и радиоактивные вещества, а полученную чистую воду сливают или возвращают в цикл. При отсутствии возможности полной очистки и возврата воды в цикл ЖРО подвергаются кондиционированию.

1.2.1 Термические методы

Термические методы переработки ЖРО – наиболее удобные и распространенные методы с довольно высокой степенью очистки (коэффициент очистки составляет 10^4 - 10^6). Для таких методов требуется использование тепла для очистки и концентрирования жидких радиоактивных отходов при переводе воды в пар[5].

Как правило, термический метод состоит в упаривании (дистилляции) и сушке. Метод характеризуется эффективностью и простотой.

В случае, если целью метода является концентрирование вещества, то этот метод упаривание, а если стоит проблема получения кондиционного конденсата и очистки, то это дистилляция.

Существует три основных типа выпарных аппаратов: с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией и перегонные кубы.

Дистилляция происходит в перегонных кубах, в процессе чего подвод тепла осуществляется с помощью водяного пара через стенку куба. Это позволяет обеспечить хорошую теплопередачу в отсутствии контакта радиоактивного раствора и теплоносителя.

В процессе дистилляции есть большая проблема, это загрязнение конденсата и паров радионуклидами из-за капельного, молекулярного и пенного уноса. Как правило, при дистилляции радионуклиды в нелетучем состоянии, следствием чего является отсутствие лимита коэффициента очистки молекулярным уносом. Аэрозольный (или капельный) унос происходит из-за разрыва оболочек пузырьков пара при дроблении жидкости и выходе. Скорость пара определяет величину уноса. Для избавления от капельного уноса используют сепараторы с высотой, большей, чем высота подъема капель. Для того, чтобы очистить от аэрозолей, используют

жалюзийные отбойники, которые являются эффективным инерционным механизмом. Иногда подобная очистка недостаточна, в связи с чем применяют барботажные устройства в виде насадочных и тарельчатых колонн, очистка пара в которых идет в результате инерционного и диффузионного эффекта.

Степень очистки при дистилляции можно повысить, если при переупаривании использовать тепло соковых паров, которое аккумулируется в конденсате и испарением его при низком давлении, при этом не увеличиваются затраты энергии. Коэффициент очистки - 10^8 .

Для того, чтобы устранить пенный унос, применяются пеногасители, которые выполняются из силикона, а также проводится упаривание в кислой среде [6].

1.2.2 Сорбционные методы

Сорбционные методы основаны на поглощении радионуклидов в твердой фазе с помощью ионного обмена, кристаллизации, сорбции и других процессов[7].

Сорбция проводится в статических и динамических условиях. При статической сорбции производится временный двухфазный контакт при перемешивании и дальнейшее разделение, а при динамической происходит непрерывное фильтрование через сорбент исходных жидких отходов.

Динамическая сорбция происходит в насыпных или намывных фильтрах. Отличие между ними состоит в том, что в намывных фильтрах сорбентом являются органические материалы искусственного и

органического происхождения и неорганические материалы, а в насыпных применяются сорбенты в виде прочного зернистого материала[8].

Для очистки ЖРО применяют иониты (сорбенты) таких типов, как вермикулит, АН-31, АН-2ФН (слабоосновные аниониты), АВ-17-8 (сильноосновный анионит), КУ-2-8 (сильнокислый катионит), КБ-51-7. Сорбенты производятся гранулированными, и перед применением замачиваются в растворе для активации. Перечисленные сорбенты обладают хорошими фильтрующими свойствами и высокими коэффициентами очистки.

Гетерогенные ионообменные реакции являются обратимыми, что позволяет регенерировать сорбент, но при этом требуется создание условий вымывания радионуклидов при хранении отработавшего сорбента. Обменная емкость сорбента почти полностью используется для сорбции макрокомпонентов (солей). Таким образом, чтобы произошла сорбция радионуклидов, необходимо предварительно обессоливать РАО. В противном случае потребуется частая регенерация сорбента и повышение стоимости процесса.

В связи с требованиями 2-2,5 кратного избытка щелочи и кислоты при регенерации сорбента жидкие РАО с высокой степенью засоленности нецелесообразно очищать органическими сорбентами, так как приводит к удорожанию процесса очистки[9].

Радионуклиды, свойства которых отличны от свойств солей, сорбируются на катионите при наличии натрий-ионов. Вследствие этого натрий-ионы в жидких радиоактивных отходах не сорбируются, что обеспечивает снижение объема регенератора, частоты регенерации и вторичных отходов.

Синтетические органические сорбенты позволяют убрать все радионуклиды в ионной форме из ЖРО, но в коллоидной и молекулярной

форме радионуклиды не удаляются. При наличии коллоидов или органических веществ с крупными молекулами сорбент выходит из строя из-за забивки пор.

На практике перед тем, как провести ионный обмен для удаления коллоидов, производят фильтрование на намывных фильтрах. Органические соединения из ЖРО удаляются ультрафильтрацией. Из всего вышесказанного вытекает основной недостаток применения методов ионного обмена – это необходимость проведения предварительной подготовки отходов.

Для очистки жидких отходов, обладающих высокой активностью, не применяют синтетические органические сорбенты из-за неустойчивости к воздействию сильного излучения. Такое излучение приводит к деструктуризации сорбента.

Для получения высокой степени очистки ионный обмен проводят в два этапа. На первом из ЖРО производят обессоливание, а на втором проводят непосредственное удаление радионуклидов - из обессоленных отходов. Регенерация сорбента проводится путем противотока. В целях увеличения производительности фильтров скорость в начале цикла составляет 90-100 м/ч, а в конце цикла понижается до 10-20 м/ч[10].

Очистка обессоленных ЖРО позволяет применять эффективные смешанные фильтры, регенерация которых затруднена, и намывные фильтры, регенерация которых минимальна. Из-за смешанной загрузки анионитов и катионитов, нивелируется противоионный эффект, что в свою очередь повышает степень очистки и дает возможность увеличивать скорость фильтрования до 100 м/ч.

Все ЖРО содержат взвеси, которые обладают склонностью к ионообменной и молекулярной сорбции. Также продукты коррозии с окислами в гидратированной форме железа, кобальта, марганца и никеля

могут сорбировать микрокомпоненты. Вследствие этого предлагается разделять взвеси для увеличения коэффициента очистки жидких отходов.

Для удаления из отходов цезия, стронция и кобальта, используют добавление селективных сорбентов, чаще всего монтмориллонита (наноглина), что позволяет на 98% очистить отходы от данных компонентов. Сорбцию селективных компонентов проводят вне отрыва от коагуляции[11].

Химическое осаждение является одним из наиболее эффективных вариантов сорбции в статической форме. Достоинствами химических методов являются доступность реагентов, низкая себестоимость, возможность переработки засоленных ЖРО, а также удаления радиоактивных микрокомпонентов в форме ионов и коллоидов.

Ключевой чертой химического осаждения является селективность метода к различным компонентам, таким как ^{90}Sr , ^{131}I , ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{137}Cs . Умягчение и коагуляция являются методами химического осаждения, при этих методах происходит очистка от радионуклидов в молекулярной, ионной и коллоидной формах[12].

Стронций удаляется применением содово-известкового умягчения, при котором MgOH_2 и CaCO_3 выпадают в осадок и являются коллекторами для стронция, который удаляется путем кристаллизации с CaCO_3 . Также применение данного метода позволяет удалять цирконий и ниобий.

Цезий эффективно удаляется с помощью осаждения ферроцианидов никеля и железа, цинка и меди, при этом коэффициент очистки составляет 100.

Кобальт (^{60}Co) и рутений (^{106}Ru) плохо концентрируются в осадке, т.к. имеют множество химических форм. Удаление кобальта эффективно на оксигидратах марганца и хрома. Очистка от рутения производится

сульфидами железа, свинца и кадмия. Радиоактивный йод получается соосаждением с иодидами серебра или меди[13].

Конечная стадия химического осаждения – процедура разделения фаз. При этом происходит осветление большей части ЖРО и концентрирование шламов. Для разделения фаз применяется фильтрование или воздействие силовым полем на систему, которое может быть инерционным (центрифуги) и гравитационным (осветлители и отстойники). По причине образования большого объема пульпы с высокой влажностью, отстойники применяются редко. Осветление в таких аппаратах обеспечивает высокую степень очистки и обладает большой скоростью.

Для последующего осветления применяется фильтрование. Тонкое фильтрование обеспечивают насыпные фильтры, которые так же высокую производительность, и при их регенерации образуется небольшой объем отходов.

1.2.3 Мембранные методы

Для очистки ЖРО рекомендуется применять электродиализ, обратный осмос и ультрафильтрацию. Основная задача данных методов – разделение солей и жидкости. При ультрафильтрации и осмосе такое разделение достигается путем прохождения через мембраны (полупроницаемые) воды, в случае электродиализа ионы, под действием изменения потенциалов и перепадов давления. При ультрафильтрации используются мембраны, обладающие довольно крупными порами, так как при этом требуются значительно меньшие перепады давления, чем при обратном осмосе[14].

Образование новых фаз не происходит при использовании мембранных методов, вследствие чего от образования новых фаз не зависит

эффективность очистки. Мембранные методы затрачивают больше энергии, чем дистилляция. Также мембранные методы образуют небольшие объемы вторичных отходов.

Мембранные методы требуют ограничения к содержанию соли в жидких радиоактивных отходах, подвергаемых обработке. Рекомендуемая концентрация солей в электродиализе должна быть не менее 200-410 мг/л. Максимальный предел содержания солей в отходах определяем фактором экономики, т.к. при высоком солесодержании возрастают энергозатраты.

Обратный осмос рекомендован к применению для содержания солей в отходах в 0,6-5,1 г/л. При больших концентрациях рекомендуется применять упаривание, а при меньших – ионный обмен.

Также существуют ограничения для условий эксплуатации мембранных методов. Допустимые значения pH для обратного осмоса составляет 3-9, а максимальная температура 41-52 °С. Мембраны электродиализных обладают чувствительностью к кислотам.

1.3 Кондиционирование жидких радиоактивных отходов

1.3.1 Обезвоживание и кальцинация

Перед иммобилизацией ЖРО отверждением необходимо подвергнуть обезвоживанию для того, чтобы вывести концентраты радионуклидов и солей. Для этих целей удаляется свободная вода через кипение насыщенного раствора химических соединений, которые содержат жидкие радиоактивные отходы. Как правило, влага удаляется при температуре ниже 140 °С.

Для обезвоживания жидких радиоактивных отходов применяются такие способы, как термический и механический. Механическое обезвоживание проводится вакуумными фильтрами и центрифугами. Данный способ энергоэкономичен и может применяться для пульп с высокой влажностью. Водосодержание в обезвоженных пульпах – 50-75%.

Кальцинация подразумевает обработку отходов при нагревании до температур 450-900 °С. После нагревания отходы превращаются в кальцинат, содержащий не разрушенные и не испарившиеся вещества исходных отходов. Объем отходов уменьшен при этом в 9-10 раз.

При термической обработке органическая составляющая жидких отходов может подвергнуться неполному окислению с выделением кислорода, воды и углекислого газа, а также пиролизу и дальнейшему образованию новых органических соединений. Появляется опасность тепловыделения при разложении органики, например, при окислительно-восстановительных реакциях с другими компонентами отходов. Такое выделение тепла может привести к взрыву. Для предотвращения этих явлений нужно не допускать накопления органики в зоне высоких температур. Также необходимо повысить отвод тепла посредством повышения поверхности контакта обезвоженных продуктов с окружающей средой[15].

При кальцинации образуются газообразные радиоактивные соединения цезия и рутения, что подавляется наличием в отходах SiO_2 и Al_2O_3 . Также при кальцинации образуются термостойкие силикаты цезия и уранаты цезия. При обработке жидких радиоактивных азотнокислых отходов образуется оксид рутения (RuO_4); его образование на стадии кальцинации благоприятствует разложению нитратов.

1.3.2 Отверждение жидких радиоактивных отходов

Для отверждения жидких радиоактивных отходов используют связующие материалы, которые разделяют на три группы:

- термореактивные - полиэфирные и карбамидные смолы;
- неорганические - гипс, цемент;
- термопластичные - битум.

Связующие материалы из неорганической и термопластичной групп не

были специально созданы для целей отверждения жидких отходов, а были позаимствованы из строительства, где используются как изолирующие или строительные материалы.

Для связующих материалов установлены определенные требования: дешевизна, недефицитность, прочность, биостойкость, хорошая совместимость с химическими элементами концентратов, радиационная стойкость. Поэтому во многих странах с развитой атомной энергетикой получили широкое распространение такие связующие, как битум и цемент.

1.3.2.1 Цементирование

Цементирование – один из наиболее используемых и эффективных методов отверждения ЖРО. Преимуществами этого метода являются отсутствие пластичности, негорючесть и простота включения концентрата. Недостатки метода: высокая степень выщелачивания в сравнении с битумированием, водосодержание цементных компаундов.

При включении жидких радиоактивных отходов в цемент прочность цемента значительно уменьшается, в связи с чем многими авторами предлагается использовать сухие концентраты.

Для уменьшения выщелачивания компонентов из компаунда радионуклиды собираются на добавках (бентонит, сланцы), или переводят в нерастворимые соединения. Например, при использовании бентонита выщелачивание цезия из компаунда сокращается до 70 раз. Также используется уменьшение пористости путем изменения пропорции вода-цемент с 0,7 до 0,36, что приводит к увеличению плотности компаунда. С Соединенных Штатах в цемент добавляют соду, что улучшает прочностные качества компаунда[16].

Борная кислота, которая содержится в концентрированных жидких радиоактивных отходах, замедляет процесс отверждения готового компаунда. Для устранения этого рекомендуется вводить добавки, которые

образуют комплексные соединения с борной кислотой (к примеру, в Германии используется смесь гипса, цемента и песка).

Отработанные ионообменники в жидких радиоактивных отходах обладают склонностью к набуханию, вследствие чего цементирование имеет особые параметры: требует малой степени включения в систему 10-11% и высоким соотношением воды и цемента. Для уменьшения вымываемости добавляют 2,4% вермикулита, при этом механическая прочность системы неизменна.

Цемент обладает высокой степенью радиационной устойчивости. В цементированных отходах воздействию радиации подвергается в основном водная составляющая, при этом образуются взрывоопасные смеси (из-за выделяющегося водорода при радиолизе воды). Цемент хорошо фильтруется из-за пористости, поэтому он не способен к разбуханию из-за газовыделения. Поэтому к цементированию пригодны и среднеактивные отходы.

Цементирование обладает многими положительными сторонами, такими, как негорючесть, способность сохранять форму, непластичность. Однако по показателям степени наполнения и вымываемости метод не может конкурировать с битумированием. Данные недостатки могут компенсироваться только при хранении под надежной барьерной защитой, в могильниках.

1.3.2.2 Использование термореактивных смол

Для использования в отверждении жидких радиоактивных отходов из всего ассортимента термоактивных смол применяются полиэфирные и карбамидные смолы.

При использовании полиэфирных смол происходит смешивание мономеров смолы и обезвоженных концентратов ЖРО при добавлении катализатора. После этого происходит многочасовое затвердевание вследствие полимеризации. Продукт отверждения обезвожен, поэтому

обладает высокими качествами. Имеется высокая степень включения в матрицу отходов (около 58% по массе). Блоки имеют термостойкость при 600-890°C, отличную механическую прочность. Также монолиты радиационно устойчивы, водостойкость в пределах показаний битумных блоков. Помимо всего прочего происходит незначительное выделение газов, которое не приводит к вспучиванию.

Однако полиэфирная смола обладает высокой стоимостью (в 3-4 раза больше, чем у битума), что экономически невыгодно, поэтому применение смол целесообразно при отверждении сравнительно небольших объемов отходов. Также существует необходимость в реагентах, которые повышают пожаро- и взрывоопасность, что требует значительных затрат на меры безопасности и защиты. Энергозатраты так же весьма значительны из-за подсушивания концентратов.

Карбамидную смолу применяют для отверждения пульп и кубовых остатков. Такую смолу применяют в виде 45-65% водной эмульсии. В результате этого отверждение идёт в водной среде, что приводит к включению воды в систему. Поэтому готовый отверждённый продукт имеет поры и отличается плохой водостойкостью[17].

Смешивание и затвердевание проводится при комнатной температуре с введением катализатора непосредственно в ёмкости, в которой готовый продукт затем отправляется на хранение и транспортируется.

Готовый продукт имеет термическую стойкость при воздействии температур до 345°C. Высокая степень выщелачивания должна предусматривать изоляцию от влаги при хранении и транспортировании. Также стоимость такой смолы в 1,5-2 раза больше битума. Для повышения конкурентоспособности необходимо максимально обезвоживать концентраты перед процессом отверждения жидких отходов. Такое обезвоживание позволяет и снизить расход смолы и объём готового продукта. Но в связи с этим усложняется технологический процесс отверждения. Использование как карбамидной, так и полиэфирной смол

целесообразно только в частных случаях отверждения жидких радиоактивных отходов.

1.3.2.3 Остекловывание

Остекловывание является процессом перевода ЖРО в стекловидную твердую матрицу. Этот процесс привлекателен в связи с потенциальной устойчивости получаемого продукта и вариативности процесса, которая позволяет использовать технологию для различных видов отходов. Эти характеристики определили место остекловывания в обращении с радиоактивными отходами в различных странах. Данный процесс может производиться и за пределами территории образования ЖРО, и в ее пределах.

Следовательно, остекловывание избавлено от вопросов транспортировки отходов. В случае высокоактивных или высокотоксичных отходов это является важным преимуществом. После отверждения полученный продукт остается на площадке под землей, что позволяет уменьшить расходы на обеспечение безопасности первоначальной точки образования радиоактивных отходов.

Остекловывание за пределами территории образования или местонахождения жидких отходов требует извлечения и транспортировки, что приводит к увеличению процедур обращения с отходами, но при этом расширяет разнообразие технологий метода. Данный факт повышает возможности контроля за качеством материала, являющегося продуктом остекловывания. Контроль позволяет эффективнее управлять условиями, в которых происходит создание расплава, а также процедурой смешивания. Кроме того, остекловывание за пределами ведется при более низких температурах (1000-1600 °C), чем остекловывание на месте (1600-2000°C)[18].

Стекло представляет собой аморфный, твердый материал, обладающий низкой пористостью. Оно состоит из множества компонент, таких как

окислы алюминия, бора, кремния, щелочноземельных и щелочных металлов. Наиболее интересными стеклами для применения данного метода являются алюмосиликатные, боросиликатные и натрий силикатные стекла. Остекловывание – термический процесс. Так как оно является так же и «стабилизационным» процессом, с помощью остекловывания возможна иммобилизация неорганических отходов путем капсулизации внутри стекла или включением в структуру стекла. Органические отходы при остекловывании разлагаются.

Остекловывание обладает тремя важными преимуществами по сравнению с цементированием и битумированием:

- 1) Прочность (стабильность иммобилизации отходов), устойчивость к выщелачиванию,
- 2) Возможность иммобилизации различных материалов, причем введение материалов в структуру стекла не нарушает его качества,
- 3) Может применяться для неорганических и органических материалов.

1.3.2.4 Включение в керамику

При переработке отработавшего ядерного топлива образуется большое количество жидких радиоактивных отходов, которые характеризуются наличием в их составе различных гетерогенных компонентов.

Состав таких примесей зависит от типа ядерного топлива и методов переработки. Наличие разнородных примесей в жидких отходах определяет способ их иммобилизации. Для иммобилизации таких отходов используют различные природные и синтетические минералы – керамику.

Керамика подразделяется на три типа. К первому типу относится глиняная керамика, ко второму типу относят получаемую при холодном прессовании или спекании керамику из оксидов и кислородных солей, к третьему типу принадлежит керамика, получаемая кристаллизацией

расплава.

Спекаемая керамика из глины применяется для иммобилизации низкоактивных и среднеактивных ЖРО. Технология довольно распространена из-за низкой себестоимости и хорошей доступности, но при этом также имеет ряд недостатков, таких как малая химическая устойчивость, значительная пористость и влагосодержание.

Также применяется синрок-керамика. Синрок – это керамика на основе титана, которая также включает в себя оксиды алюминия, железа, лантана, тория, ниобия, цирконолит и перовскит. В концентрированные ЖРО добавляют вышеуказанные вещества, после чего кальцинируют до гранулообразования, а потом прессуют при температуре около 1200°C и под давлением 14Мпа. Этот процесс называют спеканием. Главная задача синрок-технологии – создание устойчивой к выщелачиванию из нее формы радиоактивных отходов, которая остается в целости на протяжении многих лет.

В Канаде применяется технология стеклокерамики на основе CaTiSiO_5 , предназначенная для отверждения смешанных отходов, имеющих неоднородный состав, обычно такие отходы получаются при очистке ЖРО методом ионного обмена, т.е. регенераты[19].

1.3.2.5 Битумирование

Интерес, проявляемый к битумированию, обусловлен рядом факторов, наиболее важным из которых является радиологическая безопасность и экономическая приемлемость процесса. Если мы сравним самый широко распространенный метод затвердевания радиоактивных отходов, процесс цементации, с процессами битумирования и процессом стеклования, который в настоящее время является универсальным, битумирование стоит посередине между ними. Фактически самым простым процессом является процесс цементации. Даже в несколько более сложной форме, в которой он

применяется в США и Франции, где для того, чтобы включить в цементные блоки сначала делают бетонные цилиндры, которые затем заполняются цементной смесью, процесс цементации все еще довольно простой, не требует какого-либо подогрева, так как все операции проводятся при нормальных условиях. Может использоваться для неоднородных ингредиентов.

Однако процессы цементации ограничены захоронением отходов сравнительно низкого уровня. Исследования, проведенные многими учеными, показали, что захоронение отходов с концентрацией больше 10^{-1} - 10^{-2} Ки/м³ в цементе не рекомендуется. Кроме этого, объем цементированных отходов является высоким и составляет по меньшей мере 1,2 от первоначального объема, а также высока стоимость исходного материала.

Иммобилизация остекловыванием проводится с применением стеклообразных материалов, которые наиболее устойчивы к выщелачиванию водой. Другим преимуществом является то, что остекловыванием можно проводить иммобилизацию высокоактивных отходов.

Но потребность в высоких температурах порядка 1000°C и относительно дорогостоящих материалов делает процессы дорогостоящими, что естественно не может не ограничивать его применение.

От некоторых из этих недостатков избавлено битумирование:

- 1) Исходный материал, битум, достаточно дешев;
- 2) Температуры, применяемые при проведении процессов, являются умеренными и не превышают 150-230°C, поэтому процесс является относительно простым по сравнению с остекловыванием;
- 3) Диапазон активности довольно широкий и в любом случае намного шире, чем для цементов, даже распространяется на нижнюю часть диапазона активности отходов, обычно удаляемых методом остекловывания;
- 4) Устойчивость битумных материалов к выщелачиванию водой чрезвычайно высока и отвечает всем необходимым требованиям, что делает последующее хранение отходов дешевым.

С другой стороны, процессы битумирования имеют определенные ограничения:

- 1) Эффект излучения уменьшает максимальную активность отходов, включаемых в битум;
- 2) Необходимые свойства конечного продукта (выщелачивание, гомогенность и т. д.) ограничивают количество твердых веществ в битумных блоках;
- 3) Вопрос о переработке отходов, содержащих нитраты и нитриты, вызывает сомнения[20].

2. Оценка возможности безопасного включения радиоактивных иловых отложений в керамическую матрицу

За годы эксплуатации реакторов в бассейнах выдержки накапливается большое количество иловых отложений. В ходе вывода из эксплуатации бассейнов выдержки предусматривается их освобождение от накопленных иловых отложений. Извлеченные из бассейнов илы подлежат кондиционированию (отверждению) и передаче для захоронения национальному оператору по обращению с РАО.

С целью минимизации количества РАО, образующихся от деятельности по выводу из эксплуатации ПУГР и подлежащих передаче национальному оператору по обращению с РАО, рассматривается возможность размещения в глинистых породах одного из защитных барьеров искусственного материала, содержащего в составе иловые отложения. Техническая и экономическая целесообразность такого метода заключается в том, что обеспечивается минимизация количества РАО, подлежащих передаче национальному оператору по обращению с РАО, и связанных с этим затрат.

Отверждение иловых отложений производится путем включения в керамическую матрицу.

2.1 Используемое оборудование и материалы

Оборудование:

- Печь лабораторная муфельная SNOL 8/2/1100 (мощность 350 Вт, максимальная температура 1100°C);
- Поддоны пластиковые и металлические;
- Датчик ГСП 9035 ДСТ 20,ОР;
- Регистратор щитовой электронный многоканальный Ф1771 REGIGRAF;
- Весы лабораторные электронные Adventurer AR5120;
- Сито с размером ячеек 0,16 мм;
- Фарфоровые чашки, пестики, ложка, шпатели, ступка;
- Цилиндры мерные объемом 1 л;
- Металлические формы для изготовления образцов размером: d=23 мм, h=20 мм и 23x20x20 мм;
- Деревянный брусок, молоток и холщовая ткань

Материалы:

- Глина каолиновая;
- Глина с «Зыковского» карьера;

- Глина бентонитовая;
- Суглинок;
- Силикат натрия;
- Карбонат натрия.

2.2 Определение свойств глинистых материалов

В соответствии с ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний»[21], устанавливающему требования к средствам и процедуре проведения испытаний, изучены следующие свойства глинистых материалов:

- Запесоченность. 100 г глины, высушенной при 100°С в течение 4 часов, замачивали в большом количестве воды до размокания. Затем влажную массу выкладывали на сито с размером ячеек 0,16 мм и промывали водой до полного исчезновения мути в сливе. Субстанцию (песок), оставшуюся на сите, сушили в муфельной печи при 100°С до полного испарения влаги и взвешивали осадок.
- Пластичность. В 100 г глины добавляли воду и перемешивали до состояния раскатывания (глиняное тесто сохраняло свою форму при раскатывании), либо доводили до предела текучести (тесто начинало растекаться по поверхности). Далее определяли число пластичности, как разность влажностей глины в состоянии предела текучести и предела раскатывания.
- Воздушная усадка. Замешивали исследуемые образцы глин в фарфоровой ступке до состояния, когда влажность глиняного теста соответствовала пределу пластичности. Заворачивали полученную глину в увлажненную холщовую ткань. С помощью молотка и деревянного бруска

удаляли воздушные поры в глинах. Из полученных материалов формовали квадратные плитки (толщина - 10мм, длина - 50мм) и наносили риски циркулем на поверхности плиток по диагоналям и на их концах. Плитки сушили при комнатной температуре 5 дней. После просушки, для определения усадки глин, измеряли расстояние между рисками.

– Спекаемость. Определяли по водопоглощению обожжённых образцов глины, полученных при определении воздушной усадки. Плитки обжигали в муфельной печи при 650°C в течение 8 часов. После остывания их помещали в пластиковые поддоны, заливали водой на 2/3 толщины плиток, выдерживали в течение 24 часов и взвешивали на весах.

– Водопоглощение (В) вычисляли по формуле:

$$B = \frac{M_B - M_C}{M_C} \cdot 100\% \quad (1)$$

где M_C - масса сухой плитки, г; M_B - масса насыщеннй водой плитки, г.

– Огневая усадка. Определяли путём измерения расстояния между рисками на диагоналях обожжённых плиток

Образцы глин исследовали на запесоченность, пластичность, водную усадку, чувствительность к сушке, спекаемость и водопоглощение. Определены пределы раскатывания, текучести, влажность и число пластичности.

а) Определена запесоченность глинистых материалов:

Каолин - 80,57г на 100г.

Суглинок - 48,16г на 100г.

Зыковская глина - 14,7г на 100г.

б) Определили число пластичности глинистых материалов. Результаты (представлены в таблице 2).

в) В соответствии с приведённой выше методикой определения воздушной усадки приготовили плитки из глинистого сырья, высушили и определили воздушную усадку (рисунок 1). Полученные результаты приведены в таблице 1.



Рисунок 1 - Внешний вид плиток после сушки: а) каолин, б) суглинок, в) «зыковская» глина

По результатам эксперимента каолин, суглинок и «зыковская» глина показали примерно одинаковую воздушную усадку, что говорит примерно об одинаковой степени уменьшения размеров образцов.

г) Определена спекаемость и огневая усадка глинистых материалов (таблица 2).

Таблица 2 - Свойства глинистых материалов

	Каолин	Суглинок	Глина «Зыковская»
Предел раскатывания, г воды	35	15	22
Предел текучести, г воды	45	20	26
Влажность при пределе раскатывания, %	27	14	18

Продолжение таблицы 2

	Каолин	Суглинок	Глина «Зыковская»
Влажность при пределе текучести, %	31	17	21
Число пластичности	13	9	10
Воздушная усадка, %	9,2	8,9	9,24
Водопоглощение, %	21	18	7,5
Огневая усадка, %	9,12	8,92	10,08

В соответствии с полученными результатами, можно сделать следующие выводы:

- каолин относится к классу сильно запесоченных глин, суглинок - умереннозапесоченных глин, «зыковская» глина - малозапесоченных глин;
- каолин, суглинок и «зыковская» глина относятся к умеренно-пластичным глинам;
- все образцы глинистого сырья показали примерно одинаковую воздушную усадку (8.9, 9.2, 9.24%);
- определено, что исследуемое глиняное сырьё обладает водопоглощением, превышающим 5%. Рассматриваемые образцы глин относятся к неспекающимся глинам;
- огневая усадка составила 9.12, 9.92 и 10.08 % для каолина, суглинка и глины «зыковской» соответственно.

2.3 Подбор состава матрицы и определение предела прочности

С целью определения наиболее подходящего материала в качестве матрицы для радиоактивных иловых отложений, проведены работы по изучению свойств полученных после запекания глиняных образцов.

Смеси замешивали вручную в керамической чашке, после чего дозировали в цилиндрические и квадратные формы (рисунок 2) и затем обжигали в муфельной печи. Составы керамики, температурно-временные режимы обжига и результаты испытаний на механическую прочность приведены в таблицах 3, 4, 5.

Для улучшения конечных свойств керамических компаундов рассмотрено влияние таких добавок, как бентонит, карбонат натрия, силикат натрия на прочностные свойства образцов.

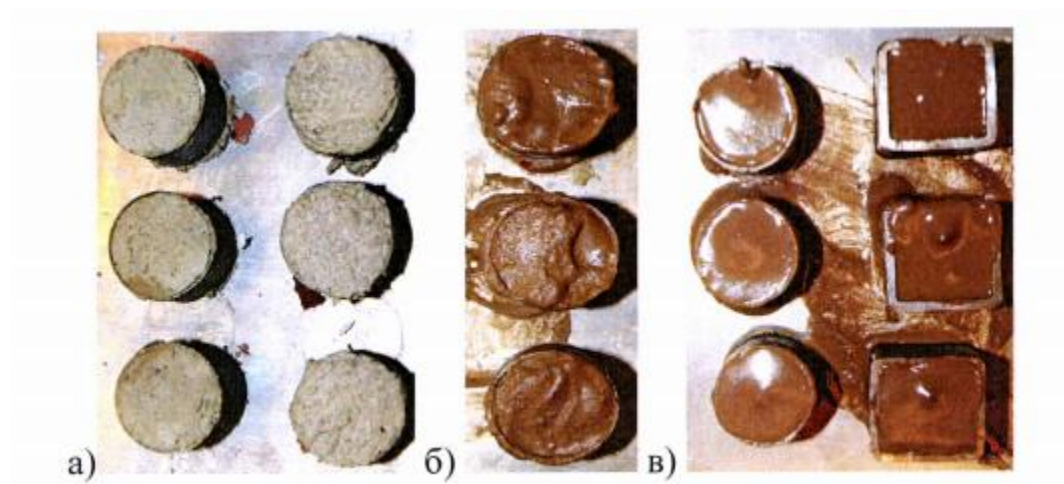


Рисунок 2 – Образцы глины в формах для запекания: а) каолин, б) суглинок, в) «зыковская» глина

Таблица 3 – Рецепты керамики из каолиновой глины и результаты измерений предела прочности

№	Состав	Т сушки, °С	Время сушки, час	Т обжига, °С	Время обжига, час	Предел прочности, кг/см ²
1	Каолин 30 г, вода 15 г	150	4	950	20	124
2	Каолин 30 г, вода 15 г	350	4	1100	12	170
3	Каолин 50 г, вода 27,5 г, бентонит 3,88 г	350	4	650	20	95
4	Каолин 30 г, вода 20 г, бентонит 4,7 г	350	4	650	20	98
5	Каолин 30 г, вода 22 г, бентонит 7,5 г	350	4	650	20	87
6	Каолин 50 г, вода 27 г, карбонат натрия 0,5 г	350	4	650	20	117
7	Каолин 50 г, вода 30 г, карбонат натрия 1,5 г	350	4	650	20	92
8	Каолин 50 г, вода 35 г, карбонат натрия 2,5 г	350	4	650	20	51

Продолжение таблицы 3

№	Состав	Т сушки, °С	Время сушки, час	Т обжига, °С	Время обжига, час	Предел прочности, кг/см ²
9	Каолин 50 г, вода 27 г, силикат натрия 1 г	350	4	650	20	74
10	Каолин 50 г, вода 30 г, силикат натрия 2,5 г	350	4	650	20	97
11	Каолин 50 г, вода 35 г, силикат натрия 5 г	350	4	650	20	84

Таблица 4 – Рецепты керамики из суглинка и результаты измерений предела прочности

№	Состав	Т сушки, °С	Время сушки, час	Т обжига, °С	Время обжига, час	Предел прочности, кг/см ²
1	Суглинок 50 г, вода 20 г	350	4	650	20	254
2	Суглинок 50 г, вода 13 г, бентонит 3,15 г	350	4	650	20	244

Продолжение таблицы 4

№	Состав	Т сушки, °С	Время сушки, час	Т обжига, °С	Время обжига, час	Предел прочности, кг/см ²
3	Суглинок 50 г, вода 15 г, бентонит 6 г	350	4	650	20	169
4	Суглинок 50 г, вода 23 г, бентонит 9,75 г	350	4	650	20	129
5	Суглинок 50 г, вода 13 г, карбонат натрия 0,5 г	350	4	650	20	183
6	Суглинок 50 г, вода 15 г, карбонат натрия 1,5 г	350	4	650	20	88
7	Суглинок 50 г, вода 23 г, карбонат натрия 2,5 г	350	4	650	20	83
8	Суглинок 50 г, вода 13 г, силикат натрия 1 г	350	4	650	20	29
9	Суглинок 50 г, вода 15 г, силикат натрия 2,5 г	350	4	650	20	3,9
10	Суглинок 50 г, вода 23 г, силикат натрия 5 г	350	4	650	20	3

Таблица 5 – Рецепты керамики из «зыковской» глин и результаты измерения прочностных свойств

№	Состав	Т сушки, °С	Время сушки, час	Т обжига, °С	Время обжига, час	Предел прочности, кг/см ²
1	Бентонит 50 г, вода 25 г	350	4	350	5	Образец разрушился
2	Бентонит (0,2 ч), цемент М400 (1 ч), песок (0,2 ч), силикат натрия (0,1 ч), вода 30 г	350	20	100	2	Образец разрушился
3	«Зыковская» глина 50 г, вода 20 г	350	4	1100	12	360

После проведения исследований данного раздела был сделан вывод, что для каолина наилучшими по прочности являются рецепты 1,2,6, для суглинка – 1,2,5, для «зыковской» глины – 3.

Карбонат и силикат натрия, добавки, которые используются для изменения водопоглощения, на прочность образцов не оказывают положительного влияния.

Большее время обжига и сушки увеличивает механическую прочность образцов.

2.3.1 Определение зависимости прочности образцов от плотности

По пятому (суглинок) и девятому («зыковская» глина) рецептам подготовлены 9 образцов цилиндрической формы размером 2 см в диаметре и 2 см высотой (рисунок 3). Образцы обжигали при температуре $T=650^{\circ}\text{C}$. Далее в ходе исследования был произведен замер массы и прочности образцов. Результаты приведены в таблицах 6 и 7.



Рисунок 3 – Керамические образцы, изготовленные для испытания на прочность

Плотность образцов определялась по формуле:

$$\rho = m/V, (2)$$

где m - масса образца, кг,

V - объем образца, м^3 .

Таблица 6 – Прочностные характеристики образцов по пятому рецепту

№ образца	Масса образца, г	Плотность образца, кг/м ³	Нагрузка разрушения, кг-сил	Механическая прочность, кгс/см ²
1	14,04	2234,6	73	11,62
2	12,35	1965,6	60	9,55
3	12,45	1981,5	62	9,87
4	12,25	1949,7	59	9,39
5	13,42	2135,9	69	10,99
6	11,86	1887,6	56	8,92
7	12,18	1938,6	58	9,23
8	11,86	1887,6	57	9,08
9	13,96	2221,9	71	11,31

Таблица 7 – Прочностные характеристики для образцов по девятому рецепту

№ образца	Масса образца, г	Плотность образца, кг/м ³	Нагрузка разрушения, кг-сил	Механическая прочность, кгс/см ²
1	12,46	1983,1	101	16,08
2	10,98	1747,6	84	13,37
3	12,69	2019,7	107	17,03
4	10,87	1730,0	51	8,12
5	12,37	1968,7	100	15,92
6	11,68	1858,9	91	14,49
7	11,70	1862,1	91	14,49
8	12,03	1914,6	97	15,44
9	11,43	1819,1	89	14,17

По полученным результатам проведенного исследования были построены зависимости механической прочности от плотности материала (рисунки 4 и 5).

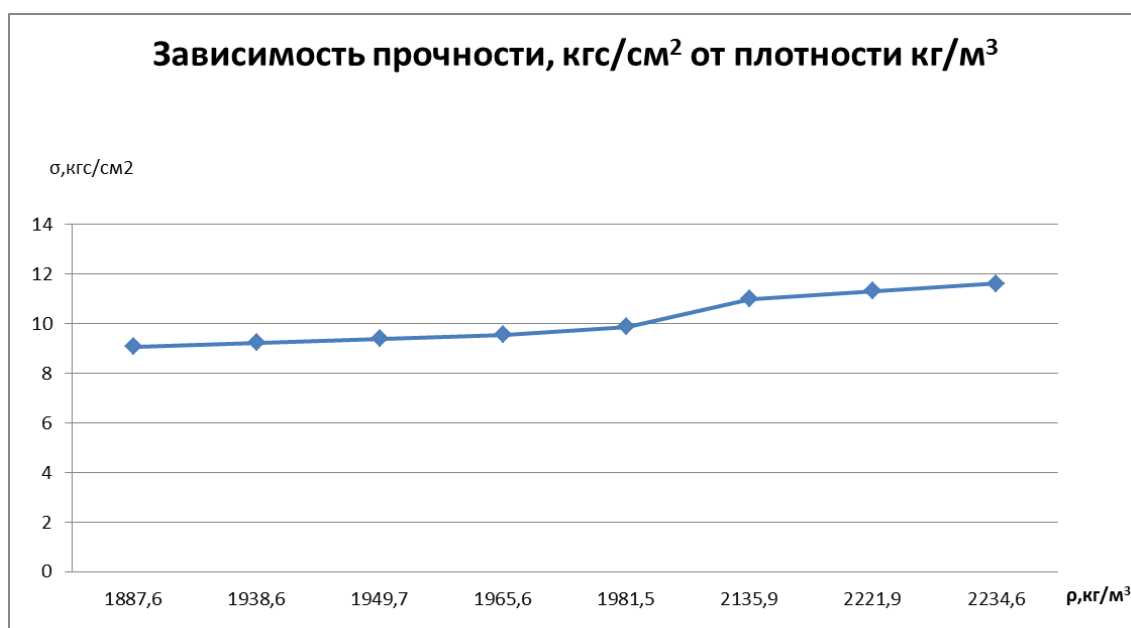


Рисунок 4 – Зависимость прочности от плотности для образцов 5 рецепта

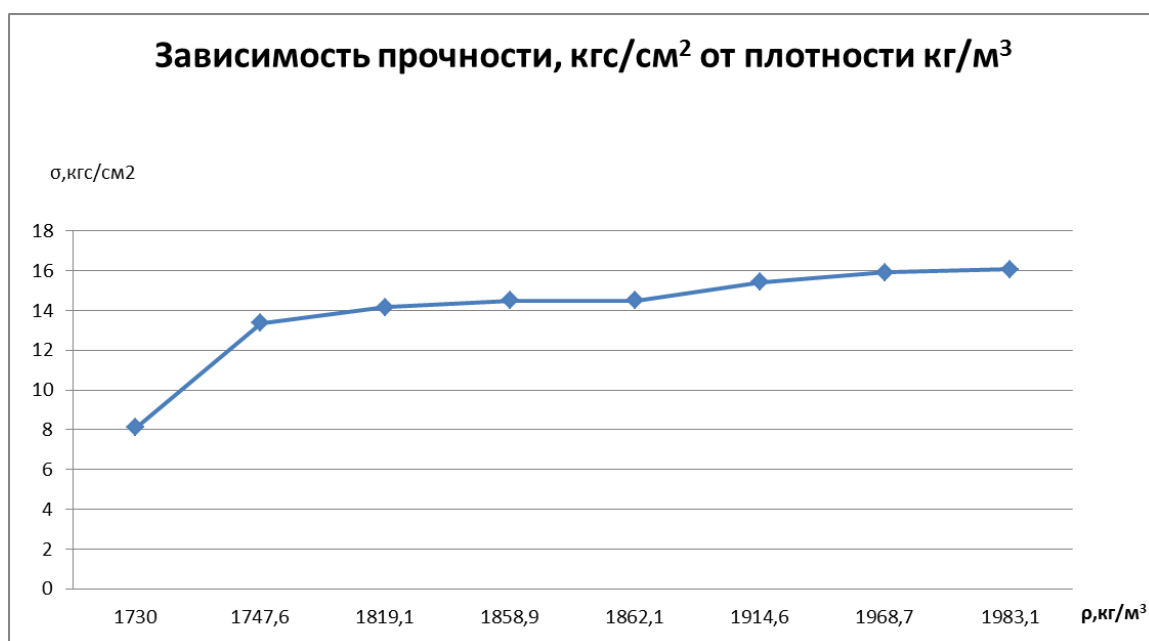


Рисунок 5 – Зависимость прочности от плотности для образцов 9 рецепта

Построенные зависимости демонстрируют прямую зависимость прочности керамики от плотности, из чего следует рекомендация по максимально плотному заполнению компаундов в формы.

2.3.2 Зависимость прочности от пористости материала

Пористость P определяется по формуле:

$$P = (1 - \rho_v / \rho_t) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где ρ_t - истинная плотность материала образца, кг/м³,

$$\rho_v = m / V, \quad (4)$$

где m - масса образца с порами, кг,

V - объем образца с порами, м³.

Для керамических образцов, приготовленных по 5 и 9 рецепта, была определена пористость, результаты приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Прочность и пористость керамических образцов по пятому рецепту

№ образца	Масса образца, г	Плотность образца, кг/м ³	Механическая прочность, кгс/см ²	Пористость образца, %
1	14,04	2234,6	11,62	0,68
2	12,35	1965,6	9,55	12,64
3	12,45	1981,5	9,87	11,93
4	12,25	1949,7	9,39	13,35
5	13,42	2135,9	10,99	5,07

Продолжение таблицы 8

№ образца	Масса образца, г	Плотность образца, кг/м ³	Механическая прочность, кгс/см ²	Пористость образца, %
6	11,86	1887,6	8,92	16,1
7	12,18	1938,6	9,23	13,84
8	11,86	1887,6	9,08	16,1
9	13,96	2221,9	11,31	1,25

Таблица 9 – Прочность и пористость керамических образцов по девятому рецепту

№ образца	Масса образца, г	Плотность образца, кг/м ³	Механическая прочность, кгс/см ²	Пористость образца, %
1	12,46	1983,1	16,08	5,56
2	10,98	1747,6	13,37	16,78
3	12,69	2019,7	17,03	3,82
4	10,87	1730,0	8,12	17,62
5	12,37	1968,7	15,92	6,25
6	11,68	1858,9	14,49	11,48
7	11,70	1862,1	14,49	11,33
8	12,03	1914,6	15,44	8,83
9	11,43	1819,1	14,17	13,37

Построены зависимости (рисунки 6 и 7). Из рисунков видно, что при увеличении пористости материала значительно снижается механическая

прочность материала. Так, при увеличении пористости на 5 % прочность уменьшается на 2 кгс/см².

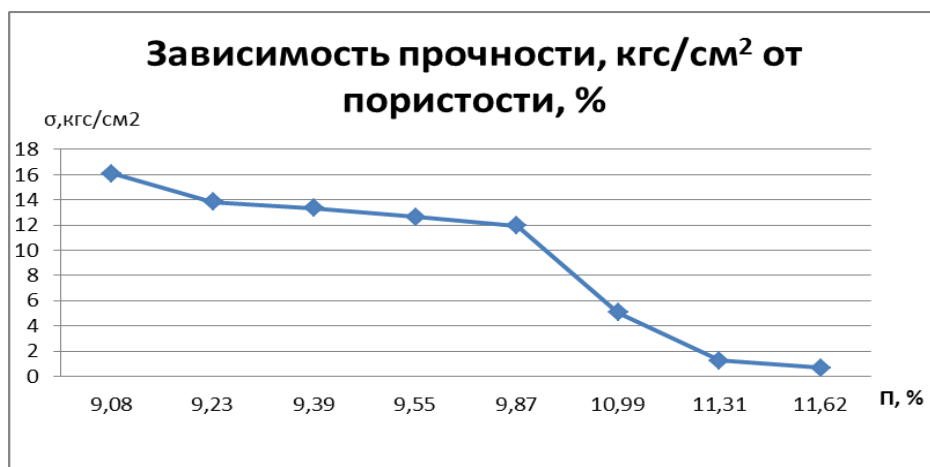


Рисунок 6 – Зависимость прочности от пористости для образцов 5 рецепта

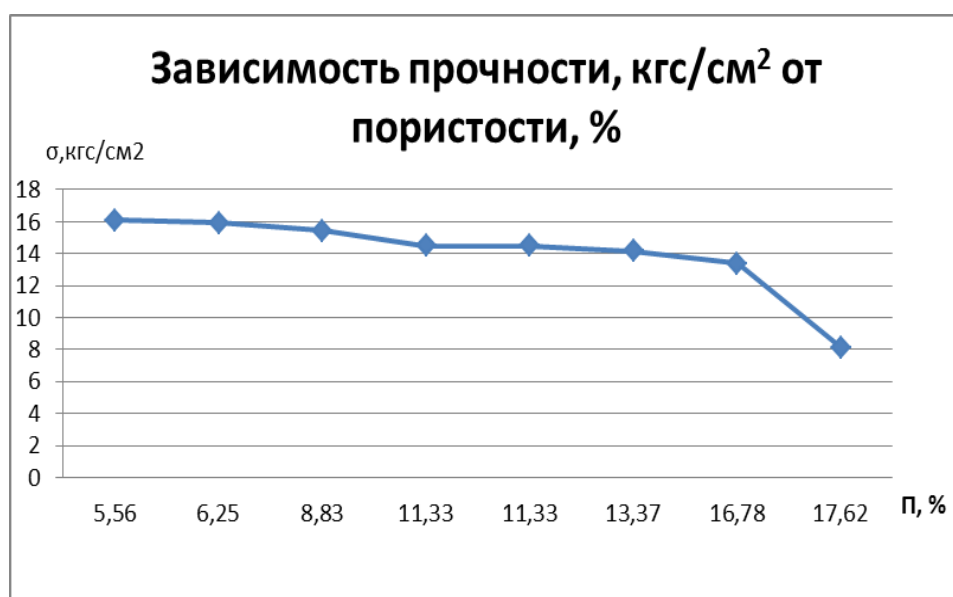


Рисунок 7 – Зависимость прочности от пористости для образцов 9 рецепта

Плотность суглинка без пор равна 2250 кг/м³, «зыковской» глины – 2100 кг/м³ [13]

2.4 Изучение водостойких свойств образцов, покрытых силикатом натрия

С целью изучения водостойких свойств глинистых материалов, покрытых силикатом натрия, приготовили на формующей установке три образца из «зыковской» глины.

Образцы высушили на воздухе, образец №1 покрыли «жидким» стеклом, два других выдержали в муфельной печи при 1100°C. После остывания образец №3 покрыли «жидким» стеклом. Все три образца выдержали три часа на воздухе, взвесили на весах и на 2/3 погрузили в воду сроком на 24 часа. Образец №1 в воде потрескался и рассыпался. В двух оставшихся образцах определили уровень водопоглощения: образец №2 - 7,6%; образец №3 - 0,5%.

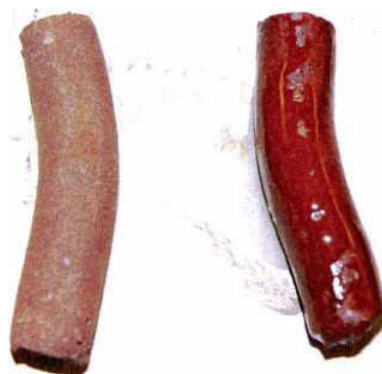


Рисунок 8 - Образцы №2 и №3 из «зыковской» глины

Таким образом, покрытие спечённых образцов «жидким» стеклом увеличивает водоотталкивающие свойства керамики в 15 раз.

Для определения уровня выщелачивания радионуклидов и морозостойкости керамических образцов изготовлены компаунды с размерами: диаметр 20 мм и высота 20 мм. Перечень образцов представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень образцов

№	Состав керамики	Масса образца, г	Удельная активность Cs-137, Бк/г	Количество образцов, шт.
1	Каолиновая глина (40 г), ил (4 г), вода (15 г)	11,318	9,58	3
2	Каолиновая глина (40 г), ил (12 г), вода (20 г)	12,588	32,44	3
3	Каолиновая глина (30 г), ил (30 г), вода (20 г)	11,77	36,36	3
4	Суглинок (40 г), ил (4 г), вода (12 г)	12,477	7,23	3
5	Суглинок (40 г), ил (12 г), вода (20 г)	12,356	68,01	3
6	Суглинок (30 г), ил (30 г), вода (20 г)	14,385	34,91	3
7	«Зыковская» глина (40 г), ил (4 г), вода (10 г)	9,945	11,02	3
8	«Зыковская» глина (40 г), ил (12 г), вода (15 г)	13,054	25,15	3
9	«Зыковская» глина (30 г), ил (30 г), вода (15 г)	13,101	55,54	3
10	Каолин (40 г), вода (15 г), силикат натрия	10,909	Без ила	2

Продолжение таблицы 10

№	Состав керамики	Масса образца, г	Удельная активность Cs- 137, Бк/г	Количество образцов, шт.
11	Суглинок (40 г), вода (20 г), силикат натрия	13,926	Без ила	2
12	«Зыковская» глина (40 г), вода (20 г), силикат натрия	14,772	Без ила	2
Итого			33	

Механические испытания на сжатие проводили на гидравлическом прессе ВМ-3,4 (диапазон производимого усилия до 500 кН, напряжение питания – 220 В, мощность – 1,0 кВт). Для определения морозостойкости керамических компаундов использовали климатическую камеру «ESPEC SH-242» (температура полезного объема – не выше минус 18°C, напряжение питания – 220 В). Результаты испытаний приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты испытаний образцов керамических компаундов

Номер образ ца	Механичес кая прочность исходного образца, МПа	Механическая прочность образцов после испытаний на морозостойко сть, МПа	Изменение механическ ой прочности, %	Механичес кая прочность образцов после испытаний на длительное пребывание в воде, МПа	Изменение механическ ой прочности, %
1	6.4	12.1	89.1	<2.5	-
2	2.5	11.5	358.7	<2.5	-
3	5.4	10.5	94.7	<2.5	-
4	4.8	11.8	145.6	15.3	218.8
5	8.9	12.4	39.6	8.3	-6.8
6	4.8	8.9	85.8	<2.5	-
7	49.1	9.9	-79.9	<2.5	-
8	32.5	30.9	-4.9	6.7	-79.4
9	6.7	16.6	147.2	5.4	-19.4
10	11.1	-	-	<2.5	-
11	6.1	-	-	6.7	9.8
12	8.0	-	-	7.0	-12.5

Согласно ГОСТ Р 51883-2002 скорость выщелачивания радионуклидов (цезия-137) не должна превышать $1 \cdot 10^{-3}$ г/(см²·сут.)[22]. Результаты по выщелачиванию представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Скорость выщелачивания цезия-137

№ образ ца	Скорость выщелачивания цезия – 137, г/(см ² ·сутки)								
	1 сутки	3 суток	7 суток	10 суток	14 суток	21 сутки	28 суток	56 суток	90 суток
1	$6.99 \cdot 10^{-4}$	$2.77 \cdot 10^{-5}$	$1.732 \cdot 10^{-4}$	$1.57 \cdot 10^{-4}$	$1.39 \cdot 10^{-4}$	$8.32 \cdot 10^{-5}$	$7.92 \cdot 10^{-5}$	$1.98 \cdot 10^{-4}$	$1.63 \cdot 10^{-4}$
2	$9.25 \cdot 10^{-4}$	$2.45 \cdot 10^{-4}$	$2.05 \cdot 10^{-4}$	$7.64 \cdot 10^{-5}$	$4.09 \cdot 10^{-5}$	$2.34 \cdot 10^{-5}$	$2.34 \cdot 10^{-5}$	$1.17 \cdot 10^{-5}$	$4.81 \cdot 10^{-6}$
3	$4.48 \cdot 10^{-4}$	$1.09 \cdot 10^{-4}$	$9.12 \cdot 10^{-5}$	$6.81 \cdot 10^{-5}$	$1.82 \cdot 10^{-5}$	$1.04 \cdot 10^{-5}$	$1.04 \cdot 10^{-5}$	$5.21 \cdot 10^{-6}$	$2.15 \cdot 10^{-6}$
4	$1.18 \cdot 10^{-4}$	$1.87 \cdot 10^{-4}$	$1.65 \cdot 10^{-4}$	$1.42 \cdot 10^{-4}$	$1.24 \cdot 10^{-4}$	$1.05 \cdot 10^{-4}$	$1.05 \cdot 10^{-4}$	$5.24 \cdot 10^{-5}$	$2.16 \cdot 10^{-5}$
5	$1.72 \cdot 10^{-5}$	$1.56 \cdot 10^{-5}$	$1.36 \cdot 10^{-5}$	$1.31 \cdot 10^{-5}$	$9.76 \cdot 10^{-6}$	$8.99 \cdot 10^{-6}$	$8.36 \cdot 10^{-6}$	$5.57 \cdot 10^{-6}$	$2.25 \cdot 10^{-6}$
6	$4.26 \cdot 10^{-4}$	$2.28 \cdot 10^{-4}$	$1.91 \cdot 10^{-4}$	$1.04 \cdot 10^{-4}$	$3.81 \cdot 10^{-5}$	$2.17 \cdot 10^{-5}$	$2.17 \cdot 10^{-5}$	$1.08 \cdot 10^{-5}$	$4.47 \cdot 10^{-6}$
7	$4.87 \cdot 10^{-4}$	$9.63 \cdot 10^{-5}$	$8.43 \cdot 10^{-5}$	$8.03 \cdot 10^{-5}$	$6.02 \cdot 10^{-5}$	$5.51 \cdot 10^{-5}$	$5.16 \cdot 10^{-5}$	$3.44 \cdot 10^{-5}$	$1.47 \cdot 10^{-5}$
8	$4.39 \cdot 10^{-4}$	$3.16 \cdot 10^{-4}$	$2.68 \cdot 10^{-4}$	$1.47 \cdot 10^{-4}$	$5.27 \cdot 10^{-5}$	$3.05 \cdot 10^{-5}$	$3.05 \cdot 10^{-5}$	$1.57 \cdot 10^{-5}$	$6.27 \cdot 10^{-6}$
9	$2.55 \cdot 10^{-4}$	$1.43 \cdot 10^{-4}$	$1.19 \cdot 10^{-4}$	$6.71 \cdot 10^{-5}$	$2.39 \cdot 10^{-5}$	$1.36 \cdot 10^{-5}$	$1.36 \cdot 10^{-5}$	$6.86 \cdot 10^{-6}$	$2.81 \cdot 10^{-6}$

Таким образом, в результате проведенных испытаний показано, что требованиям, предъявляемым к качеству цементного компаунда, согласно НП-019-2015 удовлетворяют только образцы керамических компаундов по рецептам 5 и 9. Для формирования окончательных выводов о возможности

использования керамических компаундов для отверждения иловых отложений работы были продолжены для набора статистики.

2.5 Определение оптимального режима спекания компаундов

Для выявления наилучшего режима спекания подготовлены цилиндрические образцы по рецептам 5 и 9, которые обжигались при трех температурных режимах: 650 °С, 850 °С, 1100 °С. Результаты прочностных испытаний приведены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Результаты испытаний образцов 5 рецепта

Масса, г	Температура обжига, °С	Нагрузка разрушения, кгс
11,86	650	50
14,04	650	60
11,72	850	67
11,57	850	92
12,35	1100	106
12,7	1100	112

Таблица 14 – Результаты испытаний образцов 9 рецепта

Масса, г	Температура обжига, °С	Нагрузка разрушения, кгс
12,37	650	84
10,98	650	91
9,41	850	100
8,84	850	89

Продолжение таблицы 14

Масса, г	Температура обжига, °С	Нагрузка разрушения, кгс
9,13	1100	94
9,45	1100	103

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для обоих рецептов оптимальный режим спекания – 1100 °С, при данном режиме достигается максимум нагрузки разрушения, из чего следует наибольшая механическая прочность.

При температуре спекания выше 650 происходит обильный выброс радиоактивных газов, содержащих цезий-137. Соответственно оптимальный режим спекания установлен на температуре 650°С.

2.6 Испытание образцов, обработанных силикатом натрия

Силикат натрия – водный щелочной раствор силикатов натрия или калия. Силикат натрия растворим в воде, вследствие гидролиза этот раствор имеет щелочную реакцию.

Были подготовлены образцы 5 и 9 рецепта, часть которых были обработаны силикатом натрия, часть остались без изменений. Оба типа были погружены в воду, после чего были испытаны на механическую прочность. Результаты приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Результаты испытаний образцов, не обработанных силикатом натрия

Рецепт	Нагрузка разрушения, кгс	Механическая прочность, кгс/см ²
5	56	8,92
5	48	7,64
5	65	10,35
5	33	5,24
9	35	5,57
9	46	7,34
9	62	9,87
9	37	5,89
9	51	8,12

Таблица 16 – Результаты испытаний образцов, обработанных силикатом натрия

Рецепт	Нагрузка разрушения, кгс	Механическая прочность, кгс/см ²
5	55	8,76
5	36	5,73
5	71	11,31
9	74	11,78
9	60	9,55
9	92	14,65
9	71	11,3

Данные результаты показывают, что прочность остеклованных образцов после выдержки в воде больше, чем прочность образцов, не

подвергшихся обработке. Из этого можно сделать вывод, что жидкое стекло положительно влияет на уменьшение водопоглощения.

2.7 Итоговые выводы

В ходе исследования было выявлено, что суглинок и «зыковская» глина больше всего подходят с точки зрения характеристик для данной работы (приемлемые механическая прочность, огневая и воздушная усадки, выщелачивание). Также были получены оптимальные режимы спекания - 650°C, подобрана добавка для уменьшения водопоглощения – силикат натрия

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 безопасному включению радиоактивных отходов в керамическую матрицу.

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 керамических материалов на основе глины, 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[23].

Такое 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 керамических матриц для хранения РАО можно по степени потребности использования данной методики. Результаты сегментирования представлены в рисунке 9.

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

Рисунок 9 – 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 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 путем включения РАО в цементную матрицу;
- иммобилизация путем 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. Низка так же 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 обезвреживания концентратов.

Стеклянная 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 так же плохую совместимость его с сульфатами и хлоридами. Процесс битумирования так же более трудоемок и энергоемок чем технологии на основе ЭАК. 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

Продолжение таблицы 17

	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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5)$$

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 [21].

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

	Сильные стороны проекта: C1. Современность технологии C2. Актуальность C3. Технические характеристики C4. Бюджетное финансирование. C5. Возможность оптимизации процесса подготовки образцов.	Слабые стороны проекта: Сл1. Ограниченное количество иммобилизованных фракций. Сл2. Недостаточная изученность технологии. Сл3. Длительный срок поставки материалов, необходимых для создания матрицы. Сл4. Длительный срок измерения фазового состава. Сл5. Большое время процесса подготовки образцов для испытания и необходимость ручного труда
--	---	--

Продолжение таблицы 19

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

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. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта [23].



Рисунок 10 – Иерархическая структура работ

3.2.2 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	

3.2.3 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 [24].

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
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	Исполнитель	T_{ki} кал. л. 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														
8	Проведение экспериментов	С	45														
9	Выполнение расчетов и анализ полученных данных	С	2														
10	Обобщение и оценка	С, Р	1														

	результатов																
11	Составление пояснительной записки	С	72														
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С,Р	1														
13	Подготовка к защите	С	29														

С – Студент; Р – 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:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i} , \quad (6)$$

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

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

$Ц_i$ – 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

$$C = Ц_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,81 \cdot 0,5 \cdot 955 = 2774 \quad (7)$$

где $Ц_{эл}$ – 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, ($З_m$), руб.
1. Электроэнергия для ЭВМ	кВт·ч	955	5,81	2774
2. Электропитание весов	кВт·ч	27	5,81	156,87
3. Бумага	шт.	150	0,2	30
4. Печать на листе А4	шт.	400	2	800

Продолжение таблицы 23

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
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. Лабораторные весы Adam Equipment HCB-153	шт.	1	18864	18864
Итого				83397

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:

$$A = (N \cdot \Phi) / 100 = 22,715 \text{ тыс. рублей (8)}$$

Дневная сумма отчислений будет составлять:

$$A_d = A / 365 = 22715 / 365 = 62,23 \text{ рубля (9)}$$

Сумма отчислений за период проведения исследования будет составлять:

$$A_{исс} = A_{\partial} \cdot t = 66,23 \cdot 90 = 5600,96 \text{ рублей (10)}$$

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:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (11)$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (12)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (13)$$

где $З_m$ – 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 24).

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	256	256
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	31	45
Действительный годовой фонд рабочего времени	225	211

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (14)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 25.

Таблица 25 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, Руб	$З_{\text{осн.}}$, руб.
Руководитель	-	-	26300	1,3	34190	136760
Магистр	-	-	1800	-	1800	7200
Итого $З_{\text{осн}}$						143960

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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (15)$$

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	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$	$З_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	136760	16411,2
Магистр	0	7200	0
Итого			16411,2

3.3.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, 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 выполнение темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (16)$$

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

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,14 \cdot (136760 + 16411,2) = 21443,97 \text{ руб.}$$

3.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (17)$$

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:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (136760 + 16411,2) = 45951,36 \text{ руб.}$$

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 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

Исполнитель	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ, руб.	83397
Амортизационные отчисления, руб.	5600,96
Основная заработная плата, руб.	143960
Дополнительная заработная плата, руб.	16411,2
Сумма отчислений во внебюджетные фонды (30%), руб.	45951,36
Накладные расходы, руб.	21443,97
Бюджет затрат НТИ, руб.	316764,49

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:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (18)$$

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 (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{51096}{51096} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (19)$$

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 – балльная 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 28).

Таблица 28 – 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)	0,25	5	3	3	3
2. Удобство в контроле во время обслуживания	0,2	4	3	3	2
3. Простота производства по данной технологии	0,05	3	3	2	3
4. Стойкость к внешним воздействиям после захоронения	0,20	4	2	2	3
5.1 Безаварийность производственного процесса	0,15	4	4	3	4
5.2 Влияние вредных веществ на окружающую среду	0,15	3	4	3	3
ИТОГО	1	22	3,1	2,9	2,95

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 5$$

$$\text{Аналог1} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 3,1$$

$$\text{Аналог}2 = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 2,9$$

$$\text{Аналог}3 = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 = 2,95$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога $I_{фина1}^{ai}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}; \quad I_{фина1}^{ai} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}}. \quad (20)$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,1}{1,05} = 2,95; \quad I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{2,9}{1,16} = 2,5;$$

$$I_{фина3}^{a3} = \frac{I_m^{a3}}{I_{фина3}^{a3}} = \frac{2,95}{1,12} = 2,63;$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{фина1}^{ai}} \quad (21)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,16	1,29	1,36
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,1	2,9	2,63
3	Интегральный показатель эффективности	5	2,95	2,5	2,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,69	2	2

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 [25].

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 30).

Таблица 30 – 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 [19]
	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» [20]
	–	Пожарная безопасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации [21]
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 частоты; 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 и постоянство размещения предметов, средств труда и

документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 11).

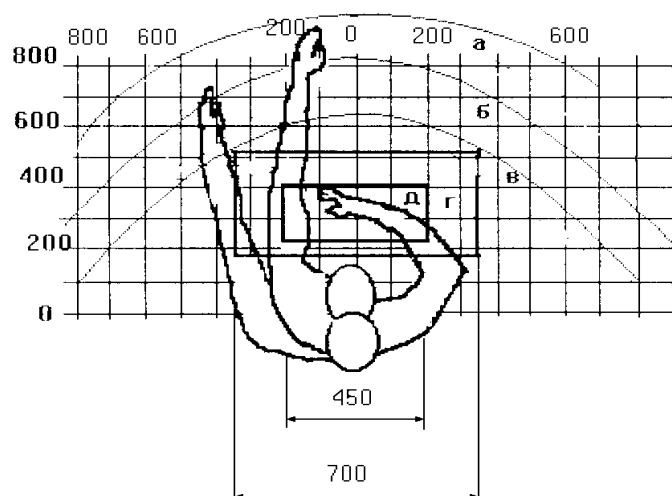


Рисунок 11 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости
а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура 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 ÷ 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 ÷ 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 ÷ 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 31.

Таблица 31 – 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 м^3 на человека – не менее 30 м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40 м^3 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 – $(20 \div 25) ^\circ\text{C}$, зимой – $(13 \div 15) ^\circ\text{C}$. 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 его часть исходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [18] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот $5 \text{ Гц} \div 2 \text{ кГц}$ – 25 В/м;
- в диапазоне частот $2 \text{ кГц} \div 400 \text{ кГц}$ – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот $5 \text{ Гц} \div 2 \text{ кГц} - 250 \text{ нТл}$;
- в диапазоне частот $2 \text{ кГц} \div 400 \text{ кГц} - 25 \text{ нТл}$.

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 [26] 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 два вредных вещества: натриевое жидкое стекло и калиевое жидкое стекло [ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности»], характеристики которых приведены в таблице 32.

Таблица 32 - Характеристика вредных веществ

Название вещества	Физические свойства	ПДК РЗ, мг/м ³ . (класс опасности)	Общий характер воздействия	Первая помощь
Натриевое жидкое стекло (водный щелочной раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$)	Густая жидкость желтого или серого цвета, без запаха, $T_{\text{пл}} = 590^\circ\text{C}$, $\rho = 1,36 \text{ г/см}^3$	2 (3 класс опасности)	Отравления проявляются повышением выделения слюны (слюнотечение); на коже и слизистой оболочке губ и рта — признаки химических ожогов. Отмечаются осиплость голоса, затем потеря голоса, далее присоединяются расстройства дыхания.	Промыть слизистые оболочки рта и лицо большим количеством воды из-под крана или слабым раствором лимонной кислоты (1/10 чайной ложки лимонной кислоты на стакан воды) для нейтрализации щелочи. При попадании в кишечник как можно быстрее промыть желудок холодной водой (10-20 л).
Калиевое жидкое стекло (водный щелочной раствор силиката калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$)	Густая жидкость желто-серого или коричневого цвета, $T_{\text{пл}} = 1088^\circ\text{C}$, $\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$	2 (3 класс опасности)	Отравления проявляются повышением выделения слюны (слюнотечение); на коже и слизистой оболочке губ и рта — признаки химических ожогов. Отмечаются осиплость голоса, затем потеря голоса, далее присоединяются расстройства дыхания.	Промыть слизистые оболочки рта и лицо большим количеством воды из-под крана или слабым раствором лимонной кислоты (1/10 чайной ложки лимонной кислоты на стакан воды) для нейтрализации щелочи. При попадании в кишечник как можно быстрее промыть желудок холодной водой (10-20 л).

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) [24].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [27] 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 [22].

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.

Выводы

В данной магистерской диссертации исследована возможность безопасного включения жидких радиоактивных отходов в керамическую матрицу.

1) Были произведены испытания образцов глиняных материалов на запесоченность, пластичность, водную усадку, чувствительность к сушке, спекаемость и водопоглощение. По результатам экспериментов каолин, суглинок и зыковская глина отнесены к умеренно-пластичным глинам, показали примерно одинаковую воздушную и огневую усадку.

2) Произведены подбор состава матрицы и определение предела прочности керамических образцов. После проведения исследований сделан вывод, что для каолина наилучшими по прочности являются рецепты 1,2,6, для суглинка – 1,2,5, для «зыковской» глины – 3. Также было исследование влияния добавок, уменьшающих водопоглощение, на прочность образцов. Карбонат и силикат натрия не оказали положительного влияния на прочность образцов.

3) Были изучены водостойкие свойства образцов, покрытых силикатом натрия. Для образцов, покрытых силикатом натрия и подвергшихся выдержке на воздухе, определена скорость выщелачивания радионуклидов, которая согласно ГОСТ Р 51883-2002 не должна превышать $1 \cdot 10^{-3}$ г/(см²·сут.). В результате экспериментов было определено, что требованиям, предъявляемым к качеству цементного компаунда, удовлетворяют рецепты 5 и 9.

4) Были исследованы зависимости механической прочности от плотности материала, прочности от пористости материала, а также определен оптимальный режим спекания. Сделан вывод о том, что при увеличении плотности увеличивается прочность материала, при увеличении пористости же механическая прочность понижается. Определен оптимальный режим

спекания, при котором достигается высокая прочность компаундов и не происходит обильного выброса радиоактивного газа - 650°C.

Также в данной работе проведена оценка ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. На основании данных факторов, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

В процессе выполнения ВКР были соблюдены все требования безопасности.

Список публикаций студента

1. Орехов Д. В. , Побережников А. Д. , Савостиков Д. В. Программный комплекс для исследований кинетики сорбции газов неорганическими материалами масс-спектрометрическим методом [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 3 - С. 64-65. - Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/ctt/proceedings/2013>
2. Dorofeeva L. I. , Orekhov D. V. Electroionite processes in two-phase exchange systems [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. 148-149 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>
3. Орехов Д. В. , Дорофеева Л. И. Электроионитные процессы в двухфазных обменных системах // 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. 64
4. Дорофеева Л. И. , Орехов Д. В. Electroionite processes in two-phase exchange systems [Электронный ресурс] // 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. 148-149. - Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>

Список использованных источников

1. Кедровский О.Л., Шишиц Ю.И., Леонов Е.А., и др. Основные направления решения проблемы надежной изоляции радиоактивных отходов в СССР. // Атомная энергия, т. 64, вып.4. 1988, с. 287-294.
2. Федеральный закон № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
3. Государственная корпорация «Росатом», классификации РАО [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://.rosrao.ru>.
4. Ахмедзянов В.Р., Лащёнова Т.Н. «Обращение с радиоактивными отходами» [Текст]. - М.: Энергия, 2008. - 210 с.
5. Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. «Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними» [Текст]: монография. - К.: ИПБ АЭС НАН Украины. -2005. - С.
6. Чечеткин Ю.В. Обращение с радиоактивными отходами / Ю.В. Нечеткий, Ф.Н. Грачев. Самара: Самарский дом печати, 2000.
7. 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.
8. В. Д. Лукин «Адсорбционные процессы в химической промышленности», Химия, 1973 - 61 стр.
9. 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.
10. 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.

11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 / С.А. Тевлин. М.: Издательство МЭИ, 2002.
16. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: справочник / В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов и др. М.: Энергоатомиздат, 1983.
17. 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.
18. 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.

19. 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.
20. 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.
21. Ресурсоэффективность отрасли: учебное пособие / Н. А. Гаврикова [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 111 с.
22. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 1976.01.01. – М., 1974. – 3 с.
23. 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.
24. 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.
25. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – Введ. 2003.06.30. – М., 2003. – 185 с.
26. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Введ. 1998.01.01. – М., 1998. – 17 с.
27. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ.

Приложение А
(рекомендованное)

Non-clay ceramics for handling radioactive wastes

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Орехов Д.В.		

Консультант кафедры ТФ:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ:

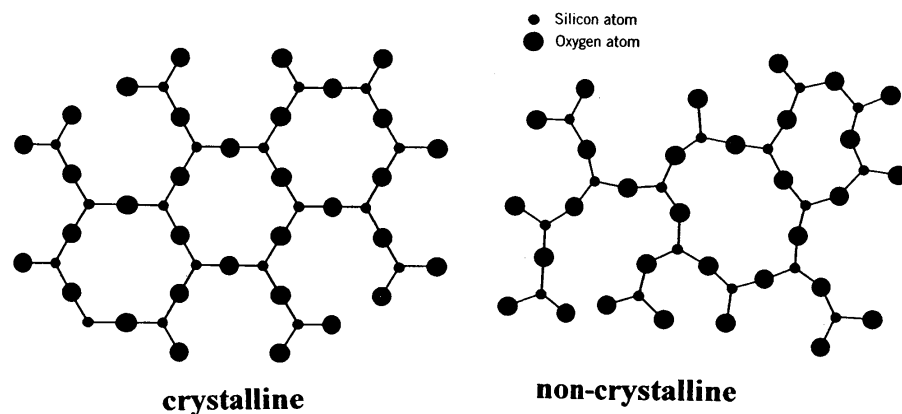
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ермакова Я.В.			

CONTENTS

INTRODUCTION.....	106
1.1 Using ceramics for handling with fission gases.....	107
1.2 Glass ceramics and glass composite materials (GCMs)	109
1.3 SYNROC matrix	111
1.4 Oxide ceramics.....	112
1.4.1 Corundum ceramics (based on) Al_2O_3	113
1.4.2 Ceramics based on ZrO_2	113
1.5 Non-oxide ceramics.....	114
1.5.1 Silicon Carbide Ceramics (SiC).....	114
1.5.2 Silicon nitride ceramics.....	115
1.5.3 Ceramics of aluminium nitride.....	116
1.5.4 SiAlON ceramics.....	117
1.5.5 Titanium carbide ceramics	118
CONCLUSION	120
REFERENCES.....	121

INTRODUCTION

Crystalline ceramics are inorganic, non-metallic solids that contain one or more crystalline phases. Single-phase crystalline ceramics can be used to immobilize separated radionuclides (e.g., plutonium-239) or more chemically complex waste streams (e.g., HLW).



Picture 1 - The difference between crystalline and non-crystalline ceramics

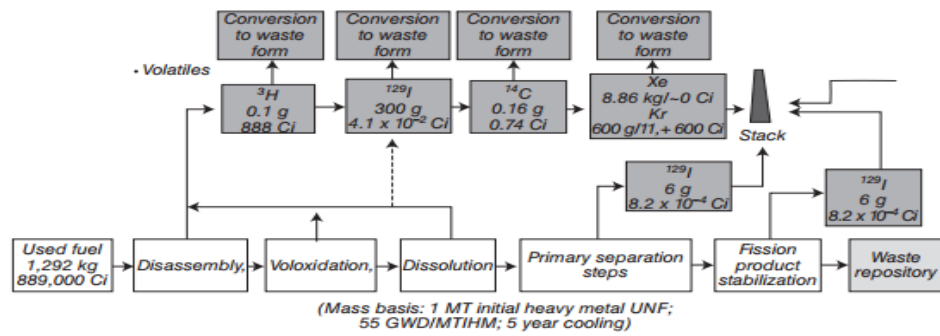
In the latter case, the atomic structure of the ceramic phase must have multiple cation and anion sites that can accommodate the variety of radionuclides present in the waste stream. These materials are potentially attractive for immobilizing longlived alpha-emitting actinides such as plutonium, neptunium and americium. However, some of these materials are susceptible to radiation damage effects associated with alpha decay from actinides. Multiphase crystalline ceramics (e.g., Synroc) 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 [1].

1.1 Using ceramics for handling with fission gases

Almost all of the radioactive gasses (H, C, Kr, Xe, Cl, and I) are released during voloxidation (if performed) and dissolution. They are carried in a relatively dry stream from the voloxidizer if present or in a wet stream containing significant nitrogen oxide species from the dissolver. These gaseous components can be selectively captured for immobilization. Of primary interest are H^3 , I^{129} , C^{14} , and Kr^{85} .

Tritium removal from voloxidizer off-gas is performed using a desiccant (such as $CaSO_4$) or a molecular sieve. The water content of air fed to the voloxidizer is controlled to obtain the desired decontamination factor in the tritiated water removal bed without significant increases in the tritium waste stream volume. Capture is performed near room temperature followed by release of the tritiated water at higher temperature. The captured $(H,D,T)_2O$ is then immobilized for decay storage and disposal (pic.2). With a 12.3 year half-life, tritium immobilization does not require a robust waste form. Current process development activities assume that the tritium waste form is sufficiently low in long-lived radionuclides to qualify for near-surface disposal and the target waste form is generally considered to be a low-water cement. The other leading candidate is cementation of the loaded sorbent.



Picture 2 – Schematic of off-gas treatment components from typical UNF

Iodine-129 and Cl^{36} are significant dose contributors for nearly all repository environments because they are highly mobile, have long half-lives (15.7×10^6 years and 0.3×10^6 years, respectively). Therefore, every reprocessing nation has strict tolerances on the capture of I^{129} at a minimum. Various past studies have shown that 94–99% of iodine reports to the dissolver off-gas. A large fraction of the iodine in the off-gas was found to be associated with organic compounds (e.g., methyl iodide). A range of technologies have been employed to capture iodine from the plant off-gas streams including:

- 1) AgNO_3 on ceramic substrate → Hanford and Savannah River;
- 2) silver faujasite (AgX) → Sellafield ;
- 3) AgNO_3 on silica (e.g., AC-6120) → Mayak;
- 4) silver on alumina → LaHague;
- 5) carbon → Hanford ;
- 7) IODOX ($20 + m \text{HNO}_3$)
- 8) mercuric and nitric acids → Dounreay and West Valley
- 9) cadmium faujasite (CdX)

Advancements in materials science have allowed for the development of improved solid getter materials for iodine.

Chief among them are silverloaded aerogels; metal organic frameworks and chalcogenide-based glass aerogels (chalcogels). However, these materials are currently in the development phase and are not ready for full implementation. Iodine waste form development and waste management are closely coupled to the separations technique employed. For example, at La Hague in France and Sellafield in the UK, iodine is managed by isotope dilution which leads to the most appropriate capture method of caustic scrubbing. Other than isotope dilution, the immobilization/management of iodine is still a significant technical challenge faced by the industry in general. Several waste forms have been proposed and are being developed for the disposal of radioiodine.

Silver-loaded adsorbers (AgZ, AgX, AC-6120, alumina, etc.), for example, can be encapsulated in cements or low melting metals or glasses, or hot pressed into a durable waste form. However, for some repository design concepts, the presence of cement is a disadvantage because of the impact of alkaline cement leach solution on the corrosion of HLW glass and SNF. For example, the Yucca Mountain repository design specifically excluded cement wherever possible. The loaded AgI containing ceramics or glass can be hotpressed into a final waste form. Alternatively, the iodine can be eluted from the capture media and immobilized. Pure halide waste can be immobilized in bismuth oxide-based ceramics.

1.2 Glass ceramics and glass composite materials (GCMs)

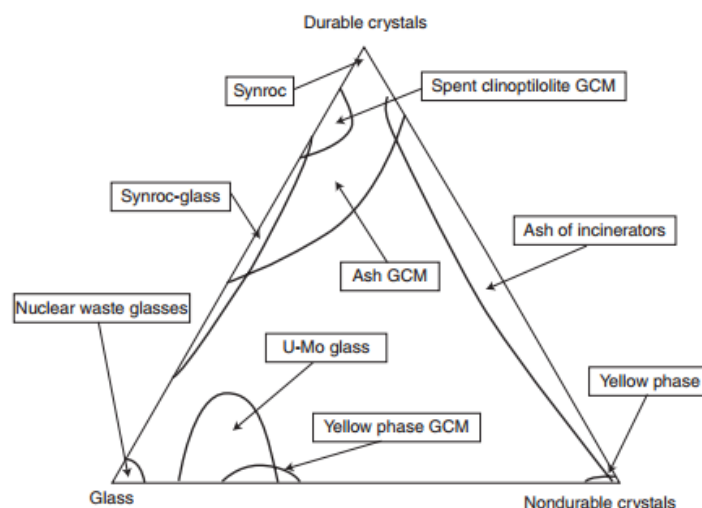
It is sometimes difficult to distinguish between glass-ceramics (a glassy matrix which is allowed to form crystals during cooling or glassy matrices where controlled cooling is used so that certain crystalline species known to sequester radionuclides are encouraged to form) and glass composite materials (GCMs). GCMs are considered a composite material where the long-lived radionuclides are atomically bonded in the ceramic (mineral) phase and the glass is an encapsulating

matrix phase. The glass can have little or no retention of radionuclides or act as the host for the short-lived radionuclides. Glass-ceramics and GCMs include glass-ceramics where a glassy waste form is crystallized in a separate heat treatment, GCMs formed by melt crystallization (controlled or uncontrolled), and GCMs in which a refractory waste is encapsulated in glass.

Glass-ceramics and GCMs offer increased waste loadings, increased waste form density, and thus smaller disposal volumes.

One such example of a GCM is the glass bonded sodalite, as the radionuclide of concern, ^{129}I , is in the ceramic phases and not in the glassy phase. Other examples of GCMs include the following:

1. glass ceramics in which a glassy waste form is crystallized in a separate heat treatment;
2. GCMs in which, for example, a refractory waste is encapsulated in glass such as hot-pressed lead silicate glass matrix encapsulating up to 30 vol% $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ pyrochlore crystals to immobilize minor actinides;
3. GCM formed by pressure-less sintering of spent clinoptilite from aqueous waste processing;
4. some difficult wastes such as the French HLW U/Mo-containing materials immobilized in a GCM termed U-Mo glass formed by cold crucible melting that partly crystallize on cooling;
5. ‘yellow phase’ containing wastes are immobilized in Russia in a ‘yellow phase GCM’ containing up to 15 vol% of sulfates, chlorides, and molybdates;
6. GCM that immobilizes ashes from incineration of solid radioactive wastes.



Picture 3 – Phase diagram of ceramics

1.3 SYNROC matrix

Synroc is a ceramic, a mixture of several titanate compounds which can be tailored to immobilise specific radioisotopes. The main minerals which comprise Synroc are hollandite, zirconolite and perovskite. Hollandite can be used to immobilise cesium, potassium, rubidium and barium; perovskite can immobilise strontium, barium and plutonium; and zirconolite can immobilize plutonium and other actinides. The Synroc process involves the production of a solution containing the radioactive waste materials from the fission process. This high-level radioactive liquid waste is reacted with other materials to produce a non-soluble mineral residue. Water is then removed from this residue producing a powder. Once the Synroc powder is produced, it must be compressed into a solid rock form. This is accomplished by placing the powder in a bellows shaped barrel which is then heated and compressed to produce a very dense ceramic disc containing the radioisotopes within the matrix of the mineral ceramic material. It is these solid discs that can then be safely stored in larger containers and placed in repositories underground.



Picture 4 – Synroc parts

1.4 Oxide ceramics

In the production of oxide ceramics, the following oxides are mainly used: Al_2O_3 (corundum), ZrO_2 , MgO , CaO , BeO , ThO_2 , UO_2 . The structure of the ceramic is single-phase polycrystalline. In addition to the crystalline phase, a small amount of gases (pores) and a glassy phase can be contained, which is formed as a result of the presence of impurities in the starting materials. The melting point of pure oxides exceeds 2000°C , therefore they are classed as highly refractory. As for other inorganic materials, oxide ceramics have a high compressive strength compared to tensile or flexural strength. Finer crystalline structures are more stable, since in the case of a coarse crystal structure, considerable internal stresses appear on the boundary between the crystals.

1.4.1 Corundum ceramics (based on) Al_2O_3

In the area of technical ceramics, products from oxide ceramics are predominating the world market and that up to 70%. Alumina Al_2O_3 is one of the most important and industrially utilized ceramic. It has rich polymorphism, where in structural and traditional ceramics, polymorphic $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (corundum) is mainly used. The excellent physical properties of this material certainly include its hardness at elevated temperatures, low thermal conductivity, and corrosion resistance. The values of the selected mechanical properties of pure Al_2O_3 are: a melting point at 2054°C , a density 3.5 to $4.0\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a bending strength of $150\text{--}500\text{ MPa}$, a fracture toughness of 3.5 to $4.5\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ and a modulus of elasticity from 200 to 400 MPa .

Alumina products are used as bio implants, ionic conductors, semiconductor devices, nozzles, insulation, wear resistant components, plugs (bodies) in internal combustion engines, cutting tools, wear parts (e.g. the carriers of textile fibres), filters and membranes, the substrates for electronic circuits, armour, etc.

1.4.2 Ceramics based on ZrO_2

The next (and) most widely used material after sintered corundum is ceramics from ZrO_2 . Zirconia among oxide ceramics is irreplaceable for its high melting point of 2710°C and a unique structure that enables the transformation of toughening. In production, the most important raw material is the mineral ZrSiO_4 .

Each modification of ZrO_2 differs significantly in its density. The most important is the conversion of the tetragonal phase to monoclinic phase, which is

the basis for so-called transformation-reinforced ceramics. The transformation of pure zirconia (zirconium dioxide) from a tetragonal to a monoclinic structure is martensitic and it is associated with an increase of volume (about 9%), so that it is practically impossible to prepare ceramic components (made) of pure zirconia. This transformation does not depend on one temperature, it is athermal, diffusionless and is associated with a large change in the volume and shape of ZrO_2 grains. Therefore, this oxide is partially stabilized at about 10 mole % of other refractory oxides. This significant change in the volume of grains in the ceramic material leads to the formation of cracks. This is possible to achieve by the stabilization of the high-temperature modification of ZrO_2 . Practical importance has the stabilization of cubic modification by adding yttrium oxide, calcium and magnesium in the amount of 5-15 wt. %. Zirconia is the most durable material of all materials of oxide ceramics. Zirconia ceramics has excellent chemical and corrosion resistance, excellent toughness for fracture, wear resistance and low thermal conductivity.

1.5 Non-oxide ceramics

This very wide range of materials, may also be considered as non-metal and/or metal materials without a sharp boundary between the two groups. These are materials with a high melting point above 1800°C and that exhibit a high degree of hardness and good thermal and electrical conductivity. These are most often nitrides and carbides, and even diamonds. A special group consists of so-called sialons (SiAlON ceramics) formed by a solid solution of Si_3N_4 - Al_2O_3 .

1.5.1 Silicon Carbide Ceramics (SiC)

Silicon carbide behaves almost the same way as a diamond. It is not only the lightest, but also the hardest ceramic material with excellent thermal conductivity, low thermal expansion and is very resistant to acids and alkalis. It is the basic material for the production of refractory shaped building materials and monolithic mixtures, the heating resistor elements of electric furnaces, abrasives, the structural material of mechanics and the heat-resistant parts of gas turbines, engines, etc. The properties of ceramic materials based on silicon carbide remain constant up to temperatures above 1400°C. High Young's modulus > 400 GPa ensures excellent dimensional stability. Due to these properties, silicon carbide is predetermined for use in construction material.

Silicon carbide well handles corrosion, abrasion and erosion and has superior resistance to friction wear as well. These components are used for example in chemical plants, mills, expanders and extruders or nozzles. Silicon carbide SiC is a polymorphic substance. Low temperature modification β - SiC is cubical and above a temperature of 2100°C it changes to a high-temperature modification of α - SiC, which is hexagonal. SiC ceramics have a high degree of hardness (9.5. according to the Mohs scale). Structural ceramics SiC are prepared using different procedures and are therefore recognized as:

- SSiC (sintered silicon carbide)
- SiSiC (silicon-infiltrated silicon carbide)

1.5.2 Silicon nitride ceramics

Silicon nitride (Si_3N_4) offers an excellent combination of material properties. These materials are almost as light as silicon carbide (SiC), but their microstructure

provides excellent thermal shock resistance, whereas their fracture toughness provides resistance to impact and shock. Silicon nitride is present in more than one crystal structure modification:

- α - low temperature,
- β - high temperature (β is rather softer than α , but it has higher toughness in fractures, and a higher strength).

Ceramic materials made of Si_3N_4 are prepared at high temperatures from 1750°C to 1900°C in a protective atmosphere of nitrogen. Simple shapes are manufactured by hot pressing HPSN, for mass production there is used compression moulding. Another method is the reaction sintering of RBSN. The most common use of Si_3N_4 ceramics is found in the engineering industry in the form of cutting blades for machining hard metallic materials. It is due to their high durability and the improved surface of the workpiece without the need for cooling. The next area of the using Si_3N_4 ceramics is in the automotive industry for bearings, valves, turbochargers, spark plugs, etc. Types of silicon nitride:

- reaction bonded silicon nitride RBSN
- sintered silicon nitride SSN
- hot pressed silicon nitride HPSN extruded at high temperatures
- silicon nitride produced by the hot isostatic pressing method [2].

1.5.3 Ceramics of aluminium nitride

Aluminium nitride (AlN) is the only technical ceramic material that offers an extremely interesting combination of very high thermal conductivity and excellent electrical insulation properties. Solid AlN is produced by sintering at a temperature of 1600°C - 1900°C in an atmosphere of nitrogen. The use of AlN is limited to a

temperature of 800°C due to strong oxidation above this temperature. Thanks to its excellent insulating properties and high thermal conductivity ($170\text{-}190 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) it was first used in microelectronics. This makes aluminium nitride destined for use in high performance and microelectronic applications. AlN is largely used in optoelectronics as a dielectric layer in optical storage media, a circuit carrier (substrate) in semiconductors, as the heat sink in LED lighting technology or in high-performance electronics.

1.5.4 SiAlON ceramics

Sialons are ceramic alloys based on the elements of silicon carbide (Si), aluminium (Al), oxygen (O) and nitrogen (N) which were developed in 1970 as a result of Si₃N₄ production. There are three basic forms of Sialons known as Si₃N₄ alloys. The basic structural unit of Si₃N₄ is SiN₄ tetrahedron, which is analogous to SiO₄ of the constructional components in silicates. The tetrahedrons are combined into a solid three-dimensional network sharing the corners, where the Si-N bonds are short and very strong. This solid compact structure is responsible for many important properties of Si₃N₄. The α/β SiAlON ceramics are among the most up-to-date materials used in technical ceramics and are associated with silicon nitrides. They occur only in certain compounds of raw materials and consist of at least three phases: α -SiAlON, β -SiAlON and an amorphous or partially crystalline grain boundary phase. The class of α/β -SiAlON materials is characterized by a unique combination of an even higher hardness than that of a normal silicon nitride, with the same toughness level. The α -SiAlON phase is very hard, whereas the β -SiAlON phase - as a normal silicon nitride - exhibits a high level of fracture toughness. The hardness of α/β -SiAlON materials and their abrasion resistance can be further enhanced by using a hard material, such as silicon carbide. During the manufacturing of so-called Sialon ceramics, HIP technology does not have to be used, since the compaction of the sample in the sintering process takes place in the presence of the liquid phase even without

pressure. These materials have very high toughness and they even retain other beneficial properties at high temperatures. With Sialon ceramics using the HIP method the hardness or fracture toughness does not increase[3].

1.5.5 Titanium carbide ceramics

Titanium is a metal, which crystallizes in a hexagonal system at temperatures higher than 900°C, in a cubic space-centred structure. TiC is extremely tough refractory ceramic material. Visually, it appears as a black powder with a face centred cubic lattice. It is produced by the reduction of carbon TiO₃ (not all at once, but gradually through different transition oxides at high temperatures about 2000-2200°C), by reducing and carburizing the mixture of highly pure TiO₂, and the black soot or graphite powder in an induction furnace in a vacuum or hydrogen atmosphere (there is no need to prevent the access of air from the surrounding area). The vacuum method is, however, preferred, since TiC contains a higher amount of bound C and does not contain nitrogen[4].

Compact shapes can be prepared by pressure sintering. An addition of 6-30% of titanium carbide, increases the resistance of tungsten carbide to abrasion, corrosion and oxidation. This will, however, form a solid solution that is more fragile and more susceptible to breakage than the original material. A nano TiC powder is used as an abrasion-resistant material for the manufacture of grinding bodies, crucibles and for the production of knives. Commercially it is used for the production of cutting tools. It is commonly also used for the preparation of cermets, which are often used in machines with a high cutting speed. The cutting plates with no tungsten in their content may be made of a cermet of titanium carbide in a Ni-Co matrix, thereby an increase in the cutting speed, accuracy and in the smoothness of the workpiece is possible. Transparent TiC is a very good

optical material. Sometimes also referred to as high-tech ceramics and is used as a protective shield for space shuttles during flights through the atmosphere. When polished, it can be used in the manufacture of watches due to its scratch resistance [5].

Ceramics based on aluminum, zirconium and titanium are used to handle radioactive waste [6].

CONCLUSION

A comparison of ceramic wasteforms can be made based on their applications, properties and manufacturing processes. A qualitative comparison is given in Table I, which summarizes some of the more important properties of a variety of generic and actual materials.

Table I – Comparison of wasteforms

Ceramics	Principal application	Processing temperature	Waste loading	Mechanical properties	Radiation stability	Economics
SYNROC	HLW	High	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate-high
Calcium silicate	HLW	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate
Titania	HLW	Intermediate-high	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate-high
Phosphate	HLW-TRU	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate	Intermediate
Monazite	HLW-TRU	High	Intermediate	Intermediate	High	Intermediate
Zirconolite	TRU	High – very high	High	High	Intermediate	High
Zircone	TRU	Very high	Low-high	Intermediate	High	Intermediate

REFERENCES

1. Burakov , B.E. , M.I. Ojovan , and W.E. Lee . 2010 . Crystalline Materials for Actinide Immobilisation , Imperial College Press , London
2. Collins , E.D. , G.D. Del Cul , D.S. Terekhor , and N.V. Emmanuel . 2011 . Recycle of Zirconium from Used Nuclear Fuel Cladding: A Major Element of Waste Reduction . Waste Management 2011 Conference . Phoenix, AZ.
3. Donald , I.W. 2010 . Waste Immobilization in Glass and Ceramic Based Hosts . Chichester , Wiley .
4. Donald , I.W. , B.L. Metcalfe , and R.N.T. Taylor . 1997 . ‘ Review: The Immobilization of High Level Radioactive Wastes Using Ceramics and Glasses .’ Journal of Materials Science 32 : 5851 – 5887 .
5. EPA . 1990 . Land Disposal Regulations for Third Scheduled Wastes; Final Rule , 55 FR 22520. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
6. Gombert , D. , J. Carter , B. Ebert , S. Piet , T. Trickel , and J. Viemma . 2009 . A Trade Study for Waste Concepts to Minimize HLW Volume . Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXII 1124 : 53 – 64 . Materials Research Society , Pittsburgh, PA .