

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 ООП Технологии переработки минерального и техногенного сырья
 Специализация Химическая технология керамики и композиционных материалов
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

Тема работы
Исследование водостойкой вяжущей композиции для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности <u>УДК 666.3-131.9:628.4.045</u>

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-03	Шашмурина Юлия Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	Д.т.н., профессор		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.04.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код компетенции	Результат обучения (выпускник должен обладать)
<i>Универсальные компетенции</i>	
УК(У)-1	способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
ОПК(У)-1	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК(У)-1	способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	готовность к поиску, обработке, анализу, систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик, средств решения задачи
ПК(У)-3	способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ПК(У)-4	готовность к решению профессиональных производственных задач - контролю технологического процесса, разработке норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, к выбору оборудования и технологической оснастки
ПК(У)-5	готовность к совершенствованию технологического процесса - разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его устранению
ПК(У)-6	способность к оценке экономической эффективности технологических процессов, оценке инновационно-технологических рисков при внедрении новых технологий
ПК(У)-7	способность оценивать эффективность новых технологий и внедрять их в производство
<i>Профессиональные компетенции университета</i>	
ДПК(У)-1	готовность к разработке учебно-методической документации для реализации образовательных программ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

24.01.22 Казьмина О.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

выпускной квалификационной работы магистра

Студенту:

Группа	ФИО
4-ГМ-03	Шашмурина Юлия Игоревна

Тема работы:

Исследование водостойкой вяжущей композиции для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 20-20/с от 20.01.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	магнезиально-силикатная композиция для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности. Целью работы является получение водостойкой матрицы для иммобилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности, удовлетворяющей требованиям захоронения жидких радиоактивных отходов. В процессе выполнения работы проводились исследования магнезиально-силикатной композиции различного состава.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Анализ литературных источников; 2. Постановка цели и задач исследования; 3. Методы исследований; 4. Экспериментальные исследования; 5. Обсуждение результатов
Перечень графического материала	Презентация в MS PowerPoint: - Характеристика исходного сырья; - Результаты экспериментов; - Выводы по работе.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор. 2. Методы исследования 3. Экспериментальная часть	Доцент к.т.н. Митина Наталия Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н. Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Доцент, к.б.н. Антоневиц Ольга Алексеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методы и методики исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.01.2022
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-03	Шашмурина Юлия Игоревна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

Форма представления работы:

Выпускная квалификационная работа магистра

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
4-ГМ-03	Шашмурина Юлия Игоревна

Тема работы:

Исследование водостойкой вяжущей композиции для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.06.2020	Основная часть	75
07.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
08.06.2020	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	Д.т.н, профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4-ГМ-03	Шашмурина Юлия Игоревна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 103 с., 18 рис., 34 табл., 30 источников, 1 прил.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, радионуклиды, твердение, каустический магнезит, бикарбонат магния, магнезиально-силикатная композиция, трепел природный и обработанный

Объектом исследования является магнезиально-силикатная композиция для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности

Цель работы – получение водостойкой матрицы для иммобилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности, удовлетворяющей требованиям захоронения жидких радиоактивных отходов.

В ходе работы проводились исследования физико-механических свойств, расчет коэффициента водостойкости и определение фазового состава полученных образцов.

В результате исследования были получены образцы с высокими показателями прочности и коэффициента водостойкости.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: предел прочности при сжатии и коэффициент водостойкости.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: переработка жидких радиоактивных отходов и их изоляция от окружающей среды.

Экономическая эффективность/значимость работы необходимость разработки матрицы отверждения для альтернативного решения проблемы долговременного хранения (захоронения) агрессивных и токсичных отходов промышленности

ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

РАО – Радиоактивные отходы;

ЖРО – Жидкие радиоактивные отходы;

ПЦ - портландцемент;

БКМ – бикарбонат магния;

РФА – рентгенофазовый анализ;

ДТА – дифференциально-термический анализ;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ

Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ

Федеральный закон от 17.07.2013 г. № 181 – ФЗ «Об основах охраны труда в РФ»

ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)

ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Оглавление

Введение.....	11
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1 Способы иммобилизации химически агрессивных отходов	12
1.1.1 Иммобилизация с помощью композиционных материалов на цементной матрице (виды цементной матриц; наполнитель, требования к наполнителю)	14
1.1.2 Наполнитель, адсорбирующий и удерживающий радионуклиды	16
1.2 Иммобилизация с помощью магнезимального вяжущего вещества	17
1.2.1 Магнезимальное вяжущее (классическое).....	18
1.2.2 Гидравлическое магнезимальное вяжущее.....	19
1.2.3 Влияние специального наполнителя на свойства магнезимальной композиции (магнезимальные композиции со специальным наполнителем)	21
1.2.4 Предпосылки исследований	22
2 Характеристика исходных материалов, методы исследования физико-химических свойств композиционного материала	23
2.1 Характеристики исходных материалов	23
2.1.1 Каустический магнезит	23
2.1.2 Раствор бикарбоната магния.....	25
2.1.3 Модельный раствор ЖРО	25
2.1.4 Трепел природный	25
2.1.5 Трепел обработанный	26
2.2 Методы исследований	28
2.2.1 Определение предела прочности на сжатие.....	28
2.2.2 Рентгенофазовый анализ	28
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	30

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	41
4.1 Предпроектный анализ.....	42
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	42
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	42
4.1.3 SWOT-анализ.....	44
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	47
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	49
4.2 Инициация проекта.....	49
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	51
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	51
4.3.2 План проекта	52
4.4 Бюджет научного исследования	54
4.4.1 Организационная структура проекта.....	61
4.4.2 План управления коммуникациями проекта.....	61
4.4.3 Реестр рисков проекта	62
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	62
4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	62
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	67
5 Социальная ответственность	73
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
5.1.1 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	74
5.2 Производственная безопасность	75

5.2.1 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местоположении работающего	76
5.2.2 Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения.....	78
5.2.3 Расчет системы искусственного освещения	78
5.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	80
5.2.5 Производственные факторы, связанные с движущимися (в том числе разлетающимися) твердыми объектами, наносящими удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции)	81
5.3 Экологическая безопасность	82
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	
Пожаробезопасность.....	83
Заключение по разделу «Социальная ответственность»	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
Список публикаций студента	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	90
Приложение II (справочное)	93

ВВЕДЕНИЕ

Атомные электростанции считаются чистыми эффективными и бесшумными, но есть их обратная сторона – отходы с различным содержанием радионуклидов.

Главное событие в истории ядерной энергетики взрыв на черновобильской АЭС, послужило доказательством опасности ядерных электростанций для окружающей среды и здоровья человека. Но даже если предположить безаварийную работу атомных станций, то на первом месте стоит проблема ядерных отходов, которые остаются после работы любой атомной электростанции.

Этих отходов уже становится столько, что во многих странах их попросту некуда девать, количество ядерных отходов за последние 15 лет стало в несколько раз больше чем за весь XX век утилизации отработанного ядерного топлива. Сейчас главная проблема, стоящая перед всеми странами, на территории которых эксплуатируются ядерные объекты это их безопасная утилизация.

Сейчас, только на территории России, накоплено миллионы тонн радиоактивного мусора. Ежегодно хранилища пополняются на 5 млн. тонн. Одни из могильников уже представляют опасность, другие станут источником радиоактивного излучения в будущем [1].

Целью выпускной квалификационной работы является, исследование водостойкой вяжущей композиции для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Способы иммобилизации химически агрессивных отходов

Что же такое радиоактивные отходы? Радиоактивные отходы – это источники ионизирующих излучений, представляющие значительную опасность для окружающей среды, а, следовательно, и для здоровья человека.

Они бывают жидкими, твердыми и газообразными, которые в свою очередь подразделяются по удельной активности на три категории – низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные [2].

Для длительного хранения РАО необходимо их заключение в такой форме, которая на протяжении долгого времени не будет вступать в реакции с окружающей средой и разрушаться. Другими словами нужна их иммобилизация.

Иммобилизация – это снижение миграции радионуклидов, в процессе длительного хранения, перевозки и захоронения химических отходов, путем перевода их в твердую форму.

Для иммобилизации жидких радиоактивных отходов (ЖРО), количество которых уже давно превышает все допустимые нормы, применяются различные методы, например такие как: 1 – иммобилизация с помощью цементной матрицы, 2 – битумное капсулирование, 3 – остекловывание, 4 – керамическая матрица, 5 – иммобилизация с помощью магнезиального вяжущего. Включение в цемент жидких радиоактивных отходов (ЖРО) – один из распространенных методов отверждения отходов низкого и среднего уровня активности [3].

Битумирование ЖРО – это включение радионуклидов в твердый инертный материал (битумный компаунд) [4]. Применение данной технологии ограничено по следующим причинам [5,6]:

- полученный при битумировании продукт является горючим (пожароопасным) веществом;

– процесс жестко ограничен по содержанию солей и химическому составу концентратов;

– большая скорость выщелачивания радионуклидов.

Остекловывание – метод, обеспечивающий надежность локализации и иммобилизации высоко- и среднеактивных отходов, путем включения их в матрицу стекла. Преимуществом данного способа иммобилизации в том, что объем РАО в конечном продукте в несколько раз меньше, чем изначально.

Минус включения радионуклидов в стеклянную матрицу – есть высокая вероятность того, что стекло из аморфного состояния, частично перейдет в кристаллическое твердое тело. Что приведет к потере как механической прочности, так и химической стойкости.

Включение радиоактивных веществ в керамическую матрицу, также можно использовать как метод иммобилизации отходов высокого уровня активности. Сильной стороной этого метода является, практически полное отсутствие балластных компонентов в конечном продукте. Однако есть и недостатки, такие как: наличие стадии интенсивного пылевыведения, из-за присутствия оксидов элементов групп I, II Периодической системы керамическая матрица имеет низкую химическую устойчивость конечной формы.

Иммобилизация жидких радиоактивных отходов в магнезиальную матрицу за счет своих физико-химических свойств определенно превосходит почти все применяемые в настоящее время матричные материалы [4]. Данный способ основан на использовании классического магнезиального вяжущего, в состав которого входит каустический магнезит и жидкость затворения (хлорид или сульфат магния).

1.1.1 Иммобилизация с помощью композиционных материалов на цементной матрице (виды цементной матриц; наполнитель, требования к наполнителю)

Многочисленные исследования различных матриц показали, что цемент, является наиболее универсальным материалом для отверждения радиоактивных отходов химических производств [7,8] благодаря своим свойствам таким как:

- непластичность;
- негорючесть;
- совместимость с различными видами отходов;
- возможность активировать различные механизмы иммобилизации;
- химическая, термическая и радиологическая стойкость;
- низкие эксплуатационные расходы;
- простота эксплуатации;
- эксплуатации при температуре окружающей среды;
- способность поддерживать высокий уровень pH окружающей среды

на объекте по утилизации.

При этом отрицательной чертой получаемого материала методом цементирования жидких радиоактивных отходов, является сравнительно *незначительное уменьшение объема начального количества отходов*, за счет малой степени включения отвержденных компонентов в цементную матрицу.

Еще одним, немаловажным минусом, является выщелачиваемость включенных в цементную матрицу компонентов.

Виды цементных матриц

Цементные матрицы подразделяются на традиционные и инновационные матрицы. Первая матрица состоит из обычного гидравлического связующего, т.е. обычного портландцемента с добавками или без добавок, тогда как второй включает алюминатные цементы кальция,

сульфоалюминатные цементы кальция, фосфатно-магниевые цементы и щелочно-активированные цементы [9,10,11].

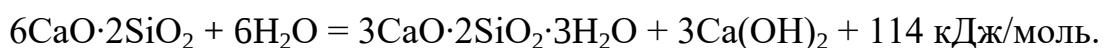
Одним из наиболее часто используемых цементов используется портландцемент (ПЦ) из-за высокой прочности затвердевшего цементного камня. Образование цементной матрицы не легкий процесс, который зависит от ряда факторов: применение разных видов и составов вяжущего материала, введение различных типов добавок.

Основными добавками, улучшающими свойства цементного камня, являются: пластифицирующие, сорбционные, уплотняющие наполнителей и т.д.

Механизм образования цементной матрицы [12] связан с реакцией гидратации всех компонентов цемента при взаимодействии с водой с образованием монолитного продукта: в результате химической реакции минералы, в промежуточном продукте, не содержащие воду образуют, гидросиликаты кальция. Образованные силикаты создают крупные агрегаты при слипании мелких частиц, за счет чего структура становится рыхлой.

При кристаллизации гидратов происходит уплотнение цементного компаунда, другими словами – схватывание цементного теста. Медленная кристаллизация этих компонентов, определяет нарастание прочности при твердении цементного камня.

Свойства клинкера, традиционных гидравлических вяжущих на основе портландцемента в основном зависит от $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, ввиду его большого массового содержания в цементном компаунде. Трикальцийсиликат вступает в реакцию с водой (реакция гидратации) по следующему уравнению:



Полученный в результате гидратации трикальцийсиликатогидрат ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), определяет прочность и другие свойства отвержденного цемента).

В результате отверждения ЖРО с помощью цементной матрицы, происходит внедрение радионуклидов, содержащихся в их составе, в кристаллическую решетку цементного компаунда, заключение в оболочку радиоактивных отходов в объеме отвержденной матрицы, в результате – изоляция их от окружающей среды.

Однако полученные в результате цементные матрицы отличаются ограниченной стойкостью к выщелачиванию из них радиоактивного изотопа цезия, который в основном и определяет радиоактивность радионуклида.

Скорость выщелачивания его из этих материалов составляет величину 10^{-2} - 10^{-3} г/(см²·сутки) [4,13] при нормативном значении не более 10^{-3} г/(см²·сутки) [14], что существенно препятствует внедрению цементированию в технологии обезвреживания ЖРО среднего уровня удельной активности [4].

Выщелачивание происходит за счет разрушения цементной матрицы, в результате действия на нее воды она начинает разрушаться.

На первом этапе водой уносится свободный гидроксид кальция, содержание которого в продукте после двух трех месяцев твердения более 10 %.

На втором, после вымывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за счет чего снижается концентрация, начинается разложение $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а затем $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ и $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$.

В результате вымывания водой растворимых солей повышается пористость цементного камня, что приводит к уменьшению его прочности [15].

1.1.2 Заполнитель, адсорбирующий и удерживающий радионуклиды

Критерии выбора материала в качестве сорбента радионуклидов и химических компонентов ЖРО [16]:

– высокопористая структура (с преобладанием мезопор);

- сорбционные свойства относительно ^{137}Cs ;
- химическая стойкость в сильнощелочных средах;
- радиационная устойчивость;
- однотипность кристаллической структуры и структуры новообразований цементного камня;
- распространенность, доступность, невысокая стоимость.

1.2 Иммобилизация с помощью магнезиального вяжущего вещества

Как уже говорилось выше, в вопросе иммобилизации жидких радиоактивных отходов применяются различные по свойствам и составам вещества, в том числе порошок каустического магнезита в роли отвердителя для локализации радионуклидов в магнезиальную матрицу. Применение его позволяет применить в качестве жидкости затворения, не только классические хлорид или сульфат магния, но и воду, содержащуюся в составе жидких радиоактивных отходов. Преимущество этого метода в том, что переработка отходов таким способом повышает наполняемость отвержденного продукта радионуклидами, входящими в состав высокосолевых отходов химической промышленности. Наиболее распространенной жидкостью затворения магнезиального вяжущего является MgCl_2 , физико-химические свойства, которого, позволяют получить монолитный магнезиальный компаунд с максимально возможной прочностью. Отрицательной стороной этого способа иммобилизации, является отклонение от норм, скорости выщелачивания радиоактивного изотопа цезия, вследствие того, что магнезиальное вяжущее вещество относится к типу воздушных вяжущих веществ, известных своей неводостойкостью.

1.2.1 Магнезиальное вяжущее (классическое)

Магнезиальные вяжущие вещества, основным компонентом которых, является оксид магния.

Магнезиальные вяжущие вещества принадлежат классу воздушных вяжущих веществ. Классические магнезиальные вяжущие вещества, получают путем затворения мелкодисперсного порошка каустического магнезита водными растворами хлорида или сульфата магния. Применяются в строительстве для изготовления конструкционных, огнеупорных, теплоизоляционных, декоративных материалов и изделий с влажностью не превышающей 60 %.

В отличие от широко используемого портландцемента производство магнезиальных вяжущих менее энергозатратно. Обжиг каустического магнезита происходит при температурах около 700 – 800 °С, что позволяет получать цементы, не уступающие по прочностным свойствам. Вдобавок, магнезиальные вяжущие вещества обладают следующими уникальными свойствами [17]:

- быстрое схватывание;
- безусадочность;
- высокая износостойкость;
- термостойкость и низкая теплопроводность;
- высокая адгезия.

В роли магнезиального вяжущего вещества также может применяться кальцинированный магнезит, который является отходом производства металлургического магнезита и представляет собой пыль. И все же, одним из главных недостатков магнезиальных вяжущих, является их низкая водостойкость после отверждения. В связи с этим, применение материалов на основе магнезиальных вяжущих ограничено.

1.2.2 Гидравлическое магниальное вяжущее

Замена традиционной жидкости затворения на бикарбонат магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ является принципиально новым подходом к решению проблемы низкой водостойкости магниальных вяжущих. Использование раствора $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ в качестве затворителя позволяет исключить образование растворимых соединений и получить нерастворимые кристаллические фазы, повышающие водостойкость и прочность изделий. На рисунке 1 приведены результаты исследования [12] процесса термического разложения продуктов твердения магниального вяжущего затворенного раствором бикарбоната магния.

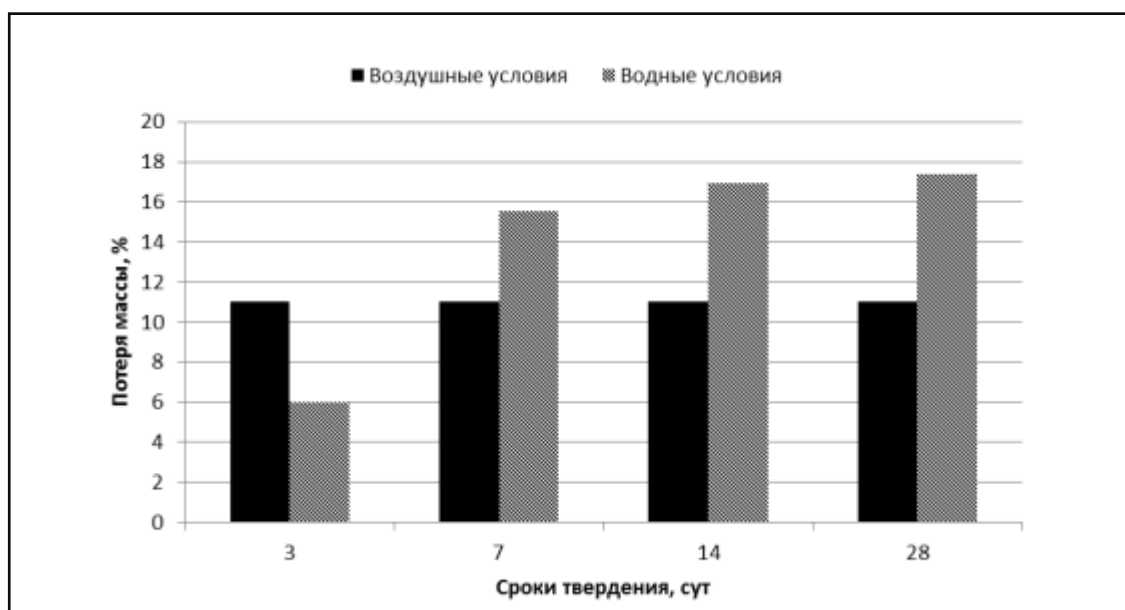


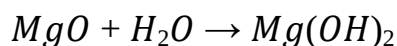
Рисунок 1.1 – Зависимость потери массы продуктов твердения при нагревании от условий и сроков твердения в интервале температур 380-410 °С [7]

Потери массы в интервале температур 380-410 °С связаны с разложением гидроксогруппы в составе гидрокарбонатов магния. Из рисунка 1.1 видно, что при твердении образцов магниального вяжущего в

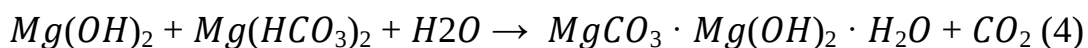
водных условиях идет интенсивное образование продуктов гидратации, вследствие непрерывного обмена ионами с водой. В воздушных условиях количество гидрокарбонатов магния, содержащих гидроксогруппы, не изменяется в течение всего срока твердения, в результате чего механические свойства такого магнезиального вяжущего будут хуже.

Такой цементный камень может твердеть как в воздушно-сухой, так и в водной среде с предварительным твердением на воздухе в течение суток.

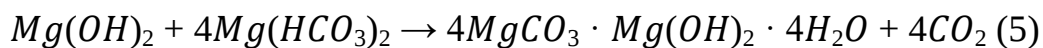
При взаимодействии каустического магнезита с затворителем в виде водного раствора бикарбоната магния идет сначала гидратация оксида магния:



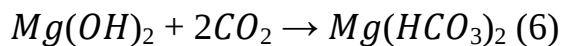
Гидроксид магния реагирует далее с бикарбонатом магния с образованием нерастворимых соединений гидрат гидроксокарбонатов магния [18]:



Например, реакция образования [18]:



Одновременно идет формирование вторичного бикарбоната магния при взаимодействии гидроксида магния и диоксида углерода, которое также способствует образованию нерастворимой фазы гидрат гидроксокарбонатов магния [18]:



В результате последовательной зацикленной цепочки описанных реакций образуются две основные кристаллические фазы: гидроксид магния и гидрат гидроксокарбонаты магния. Более того, прочность твердеющей в воде композиции выше прочности образцов, твердеющих на воздухе, что может быть объяснено непрерывным образованием в воде гидроксида магния, а также ионообменными процессами между твердеющей системой и средой твердения. Таким образом, заменив традиционную жидкость

затворения на бикарбонат магния $Mg(HCO_3)_2$ магнезиальные вяжущие переходят из разряда воздушных вяжущих в гидравлическое вяжущее.

1.2.3 Влияние специального наполнителя на свойства магнезиальной композиции (магнезиальные композиции со специальным наполнителем)

Широкое применение магнезиальных материалов обуславливается разнообразием возможных структур получаемых магнезиальных композитов.

Доказано что не только жидкость затворения имеет влияние на физико-химические и физико-механические свойства конечного продукта, но также огромное влияние имеет добавление в состав магнезиальной композиции специального наполнителя.

Например, магнезиальные композиции со специальным наполнителем (древесные опилки, тальк, асбест, мраморная мука и т.д.) такие как ксилолит или фибролит [19] – давние представители материалов на основе магнезиальных вяжущих.

За счет добавления в состав магнезиальной композиции различных типов заполнителей можно получить материалы: с высокой морозостойкостью, водостойкостью и малой теплопроводностью. В целях улучшения таких свойств материала как сопротивление ударным нагрузкам и истиранию, для уменьшения гигроскопичности и теплопроводности применяют следующие минеральные добавки: трепелы, тальк, асбест, измельченный кварцевый песок или измельченный камень. А именно введение в ксилолит в качестве заполнителей талька, асбеста и др. повышает его плотность и прочность; добавка трепела уменьшает его теплопроводность, а кварцевого песка понижает истираемость, несколько увеличивая плотность.

1.2.4 Предпосылки исследований

На данный момент для иммобилизации ЖРО используются различные матрицы, рассмотренные выше, но каждая из них по какому – либо параметру не удовлетворяет норм захоронения отходов.

Цель данной работы, получить и исследовать магнезиально-силикатную композицию для иммобилизации жидких радиоактивных отходов, состоящую из каустического магнезита (MgO) затворенного бикарбонатом магния ($Mg(HCO_3)_2$), используя в качестве адсорбирующей добавки трепел природный и (или) обработанный.

Задачи:

1. Подобрать оптимальный состав магнезиально-силикатной композиции;
2. Получить образцы магнезиально-силикатной композиции различного состава;
3. Определить физико-механические свойства полученных образцов, различного состава;
4. Определить структуру твердения (фазовый состав), полученных образцов.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Характеристики исходных материалов

Для получения магнезиально-силикатной композиции, были использованы каустический магнезиальный порошок марки ПМК-75, водный раствор бикарбоната магния как затворитель, и, в качестве адсорбирующей добавки – трепел природный и (или) обработанный.

2.1.1 Каустический магнезит

Каустический магнезит – природный магнезит (MgCO_3), подвергшийся обжигу при температуре около 700°C . Порошок магнезитовый каустический получают в результате улавливания пыли, образующейся при производстве спеченного периклазового порошка. Химическая формула каустического магнезита MgO .

Химический состав каустического магнезиального порошка марки ПМК-75 Савинского месторождения согласно ГОСТ 1216-87 представлен в таблице 2.1.

Таблица 2. 1 – Химический состав каустического магнезита

Компоненты	MgO	SiO ₂	CaO	$\Delta m_{\text{пр}}$	ИТОГО
Массовая доля, %	75,64	3,18	4,24	16,94	100

На рисунках 2.1 и 2.2, приведены термограмма и рентгенограмма исследуемого каустического магнезита.

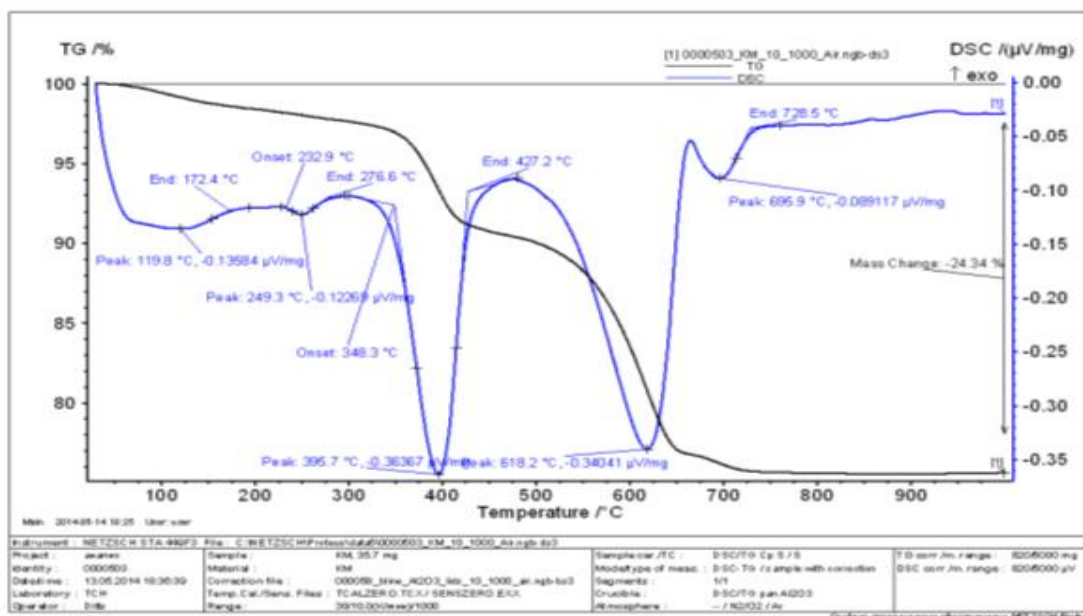


Рисунок 2.1 – Термограмма каустического магнезимального порошка

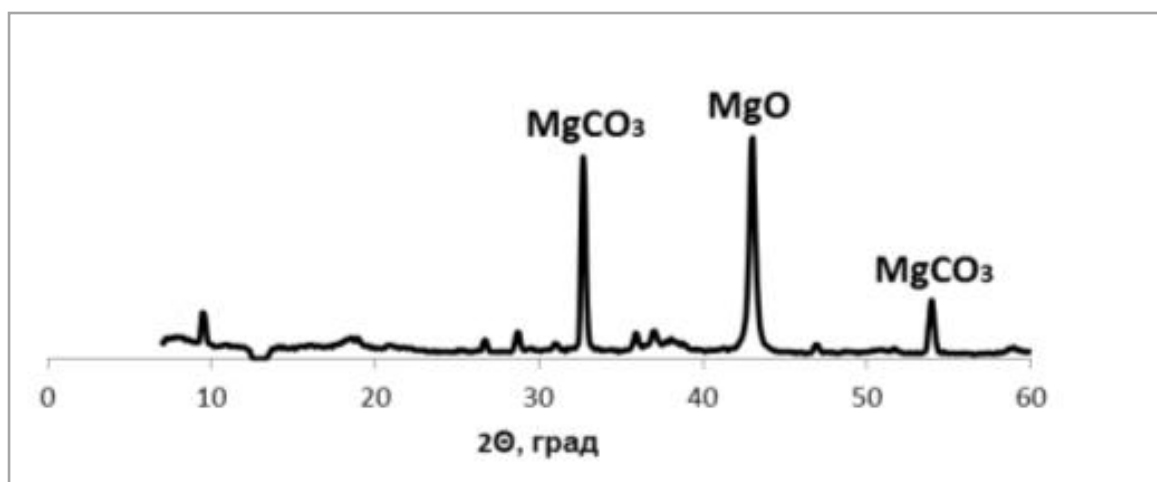
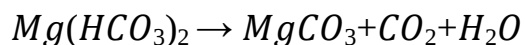


Рисунок 2.2 – Рентгенограмма каустического магнезимального порошка

Данные рентгенограммы и термограммы показывают, что основными кристаллическими фазами каустического магнезита являются оксид магния (MgO), гидроксид магния ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) и карбонат магния (MgCO_3).

2.1.2 Раствор бикарбоната магния

Гидрокарбонат магния $Mg(HCO_3)_2$ (традиционное название – бикарбонат магния) – неорганическое соединение, магниевая соль уксусной кислоты. Существует только в водных растворах, т.к. легко разлагается:



Водный раствор бикарбоната магния (БКМ) был приготовлен искусственной карбонизацией обожженного гидромагнезита при температуре 375 °С и давлении углекислого газа 0,2 МПа.

Концентрация иона HCO_3^{3-} – в растворе БКМ – 13 г/л.

2.1.3 Модельный раствор ЖРО

Модельный раствор ЖРО – высокосолевые растворы, в виде суспензии, в состав которых входят: продукты деления, радионуклиды коррозионного происхождения и разного рода вещества, которые принимают участие в поддержании водно-химической системы в нужном режиме.

2.1.4 Трепел природный

Трепел – минерал, содержащий до 80 % активного кремнезема SiO_2 .

Трепел является лёгкой тонкопористой породой (Рисунок 2.3). В составе трепела нередко в значительном количестве (до 20-30 %) присутствуют такие минеральные образования как цеолиты и глаукониты, также в небольшом количестве может содержаться кварц и полевые шпаты. Его окраска находится в диапазоне от светло-серой, почти белой, до жёлто-серой, буровато-серой. Пористость – от 50 % до 70 % [19].

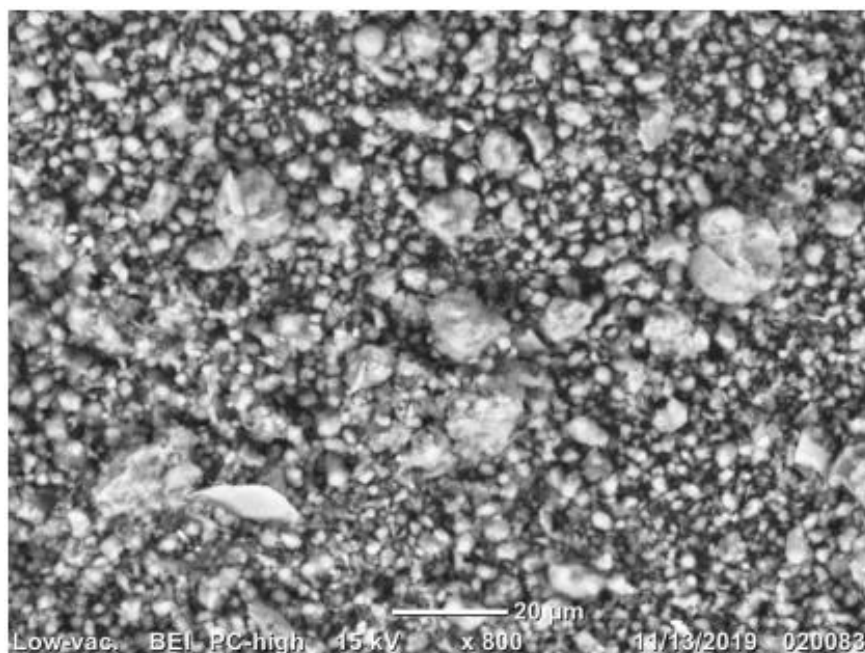


Рисунок 2.3 – Структура трепела

Активные центры трепелов представлены гидроксильными группами, которые расположены на поверхности сорбента. Они несут избыточный отрицательный заряд, который объясняется изоморфизмом, связанным с ненасыщенными связями и различными структурными позициями, а также с обменными катионами, которые компенсируют заряд кристаллической решётки [20].

2.1.5 Трепел обработанный

Результаты рентгеноструктурного анализа образца исходного сырья (трепел обработанный) показывает наличие аморфного SiO_2 , который обозначен на дифрактограмме (Рисунок 2.4) в виде широкого максимума с центром тяжести около 22° по 2θ . Аморфная фаза является основной фазой помимо кварца, слюды и кристобалита, обнаруженных в виде побочных фаз. Плечо графика на диаграмме ниже в районе 15° по 2θ свидетельствует о наличии тонкодисперсных глин.

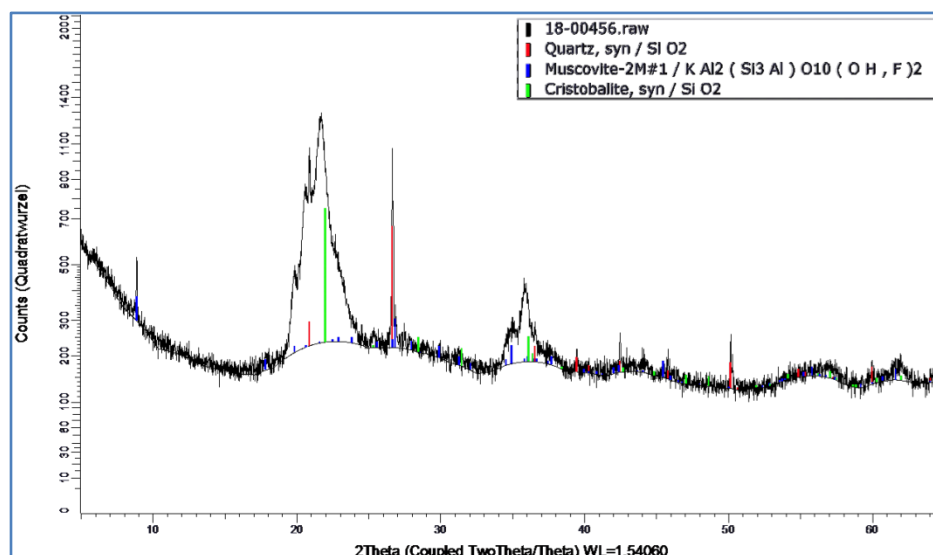


Рисунок 2.4 – Дифрактограмма образца, предоставленного компанией «Базальтопластик», точечная проба

В Таблице 2.2 приведены результаты химического анализа точечной пробы.

Таблица 2.2 – Химический анализ (методом рентгеновской флуоресцентной спектроскопии) образца трепела от SB LLC, точечная проба

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	PbO	BaO	SO ₃	MnO	P ₂ O ₅	ZrO ₂	Δm _{тип}	ИТОГО
Массовая доля, %	83,80	7,20	2,80	0,32	0,90	0,04	0,46	0,84	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.01	0.01	3.60	100

Результаты химического анализа с использованием рентгеновской флуоресцентной спектроскопии показывают умеренное содержание SiO₂ (83,8 % масс.) с высоким содержанием Al₂O₃ (7,2 % масс.) и Fe₂O₃ (2,8 % масс.). Были обнаружены умеренные значения содержания щелочи (K₂O – 0,90 % масс. и Na₂O – 0,04 % масс.) и CaO (0,46 % масс.) и MgO (0,84 % масс.). Массовая доля TiO₂ составляет 0,32 %, потери при прокаливании – 3,6 % масс.

2.2 Методы исследований

Для определения свойств образцов после твердения был использован комплекс физико-химических методов исследования. Последовательность исследований:

- определение предела прочности на сжатие;
- рентгенофазовый анализ.

2.2.1 Определение предела прочности на сжатие

Испытание для определения предела прочности при сжатии, выполняется на образцах малого размера, твердеющих от трех до двадцати восьми суток. Предварительно готовится цементное тесто, которое тщательно перемешивается и выкладывается в силиконовую форму с углублениями в ней нужного размера. Образцы остаются в форме для предварительного твердения на 24 часа в условиях воздушно-сухой среды, затем образцы извлекаются из формы и помещаются для окончательного твердения в водную и воздушновлажную среду. После твердения образцов измеряются линейные размеры, затем кубики испытывают на прессе для определения прочности при сжатии. Расчет предела прочности при сжатии производится по формуле [21]:

$$R_{сж} = \frac{P_{ман} \cdot F_{порш}}{S_{обр}},$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, кг/см²;
 $P_{ман}$ – показатель манометра, кг/см²;
 $F_{порш}$ – площадь рабочего поршня прессы, см²;
 $S_{обр}$ – площадь образца, см².

2.2.2 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) является методом определения фазового состава кристаллических тел. Благодаря этому методу можно проводить следующие исследования: качественный и количественный

фазовый анализ, определение параметров элементарной ячейки, исследование фазовых превращений, которые происходят под воздействием термообработки. В основе рентгенофазового анализа лежит явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Необходимое условие дифракции рентгеновских лучей – выполнение уравнения Вульфа-Бреггов:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\theta,$$

где n – порядок отражения (1, 2, 3);

λ – длина волны рентгеновского луча, нм;

d – межплоскостной интервал, нм;

θ – угол падения рентгеновского луча, град.

В данной исследовательской работе рентгенофазовый анализ исследуемых материалов проводили на приборе ДРОН – 3М, где применяется рентгеновская трубка БСВ – 29 с $\text{CuK}\alpha$ - излучением и следующими характеристиками:

- точность съемки – 1000, 2000;
- напряжение анод-катод – 35 кВ;
- анодный ток – 25 мА;
- скорость вращения гониометра – 4 град/мин.

Расшифровку рентгенограмм проводили с помощью программы CrystallographicSearch – Match. Обработка результатов основана на сравнении экспериментального спектра образца с высоким числом цифровых массивов, характеризующих спектры возможных соединений.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ03	Шашмурина Юлия Игоревна

Школа	ИШНПТ	Отделение	НОЦ Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Исследование водостойкой вяжущей композиции для утилизации агрессивных и токсичных отходов промышленности	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет проекта Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ03	Шашмурина Юлия Игоревна		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

Исследование проводилось с целью разработки водостойкого композиционного материала на основе магнезиального вяжущего для утилизации агрессивных и токсичных отходов химических производств. Объектом исследования выступают анализируемые составы водостойких материалов на основе магнезиальных вяжущих с добавлением бикарбоната

магния и трепела. Все исследования проводились на базе научно-исследовательской лаборатории университета.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком для полученных в результате данного исследования разработок будут являться производства химического направления, а именно такие сегменты рынка как:

- добыча полезных ископаемых;
- производство минеральных удобрений;
- производство полимеров;
- нефтехимия;
- черная и цветная металлургия;
- ядерная энергетика и пр.

В силу специфики проблемы, которую призвано помочь решить данное исследование – а именно разработка средства для утилизации опасных отходов химических производств – рынок использования данной разработки очень широк, и может использоваться или адаптироваться для широкого круга предприятий химической отрасли.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данном научном исследовании сравниваются существующие методы иммобилизации химических отходов. В таблице 4.1 приведена оценка

конкурентных разработок, где Φ – разрабатываемый проект, k_1 – иммобилизация с помощью цементной матрицы, k_2 – битумное капсулирование, k_3 – керамическая матрица.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		B_{Φ}	B_{k1}	B_{k2}	B_{k3}	K_{Φ}	K_{k1}	K_{k2}	K_{k3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Механическая прочность	0,2	4	3	3	3	0,8	0,6	0,6	0,6
2. Термостойкость	0,2	3	3	3	2	0,6	0,6	0,6	0,4
3. Стойкость к выщелачиванию	0,2	3	2	3	3	0,6	0,4	0,6	0,6
4. Сложность технологии	0,1	4	5	2	1	0,4	0,5	0,2	0,1
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Стоимость сырья	0,1	4	5	3	3	0,4	0,5	0,3	0,3
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	3	1	1	2	0,45	0,15	0,15	0,3
3. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	2	0,25	0,2	0,15	0,1
Итого	1	26	23	18	16	3,5	2,95	2,6	2,4

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Вес показателей в сумме должен составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, на основании проведенного анализа конкурентов, можно сказать, что проект превосходит конкурентные разработки, особенное преимущество выделяется в механической прочности полученного материала, а также в повышенном сроке эксплуатации, что делает продукт достаточно конкурентоспособным. Однако более сложная технология изготовления по сравнению с конкурентами делает разработку уязвимой.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 4.2). На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны С1. Решает проблему повышения срока хранения отходов хим. производства С2. Хранение отходов имеет более высокую степень надежности и безопасности С3. Может использоваться в разных климатических поясах С4. Устойчиво к геодинамической нестабильности С5. Метод более экологичен чем существующие	Слабые стороны Сл1. Усложненная производственная цепочка Сл2. Необходимы ресурсы для поиска инвесторов для выхода на рынок, доказательства эффективности Сл3. Более трудо- и финансово-затратен существующих методов Сл4. Необходимость модернизации/создания комбинатов, обучения персонала
Возможности В1. Востребованность новых, современных разработок В2. Общественный интерес к проекту, позволяет производству соответствовать ESG-принципам В3. Поддержка проекта со стороны государства, фондов как современного и отвечающего актуальным запросам В4. Уменьшение стоимости проекта, быстрая окупаемость при крупных объемах производства	Угрозы У1. Отсутствие заинтересованных инвесторов У2. Ужесточение требований и регламентов к технологиям захоронения хим. отходов

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+
	В2	0	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+	-

Корреляции возможностей и сильных сторон: В1В3С1С2С3С4С5, В2С2С3С4С5, В4С1С2С3С4

		Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	В1	0	+	0	-
	В2	-	+	+	+
	В3	-	+	+	+
	В4	+	-	+	+

Корреляции возможностей и слабых сторон: В2В3Сл2Сл3Сл4, В1Сл2, В4Сл3Сл4

		Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5
Угрозы проекта	У1	+	+	+	+	+
	У2	+	+	0	+	-

Корреляции угроз и сильных сторон: У1С1С2С3С4С5, У2С1С2С4

		Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	+	-	+	+
	У2	-	-	+	0

Корреляции угроз и слабых сторон: У1Сл1Сл3Сл4, У2Сл3

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны С1. Решает проблему повышения срока хранения отходов хим. производства С2. Хранение отходов имеет более высокую степень надежности и безопасности С3. Может использоваться в разных климатических поясах С4. Устойчиво к геодинамической нестабильности С5. Метод более экологичен чем существующие	Слабые стороны Сл1. Усложненная производственная цепочка Сл2. Необходимы ресурсы для поиска инвесторов для выхода на рынок, доказательства эффективности Сл3. Более трудо- и финансово-затратен существующих методов Сл4. Необходимость модернизации/создания комбинатов, обучения персонала
Возможности В1. Востребованность новых, современных разработок В2. Общественный интерес к проекту, позволяет производству соответствовать ESG-принципам В3. Поддержка проекта со стороны государства, фондов как современного и отвечающего актуальным запросам В4. Уменьшение стоимости проекта, быстрая окупаемость при крупных объемах производства	Конкурентоспособные технические характеристики отвечают современным требованиям безопасности, устойчивого развития и бережливого производства, что позволит найти инвесторов и выйти на рынок.	Метод более затратен существующих на рынке и требует инвестиций, но т.к. он соответствует актуальным проблемам производства инвесторы отметят его привлекательность, а при повышении объемов производства затраты быстро окупятся и стоимость производства выровняется.
Угрозы У1. Отсутствие заинтересованных инвесторов У2. жесточение требований и регламентов к технологиям захоронения хим. отходов	Возможен долгий поиск инвесторов, но технология поддается доработке в случае необходимости по причине ужесточения регламентов, что выступает дополнительным конкурентным преимуществом наряду с выдающимся техническим превосходством	Потенциальных инвесторов может отпугнуть необходимость модернизации производства, переквалификации рабочих, более дорогое сырье

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения или завершения. Для этого требуется заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциях разработчика научного проекта (таблица 4.5).

При проведении анализа по таблице по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 – не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	2

6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	61	54

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i-му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. По итогам проведенного анализа следует, что разработка перспективна, уровень знаний разработчика выше среднего: слабые стороны компетенции разработчика заключаются в разработке бизнес-плана, маркетинговых исследованиях рынка сбыта и путей продвижения продукта на рынок, в том числе на международный.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Коммерциализировать результат научно-технического исследования предполагается с использованием двух методов: торговля патентными лицензиями и методом инжиниринга.

Торговлю патентными лицензиями предполагается использовать на основе простого (неисключительного) лицензионного соглашения для осуществления деятельности, захватывающей международный рынок – право собственности на разработку останется за разработчиком, лицензиату будет выдано разрешение на использование разработки в промышленном либо коммерческих целях.

Метод инжиниринга планируется использовать на территории России, он предполагает предоставление на основе договора инжиниринга технических консультационных услуг, связанных с разработкой и подготовкой производственного процесса и контроля за обеспечением эффективного процесса производства.

Данные методы коммерциализации выбраны по причине наиболее быстрого и эффективного использования научной разработки, не требующего от разработчика дополнительных колоссальных финансовых вложений (как, например, для организации собственного предприятия), оставляющий за разработчиком запатентованное право собственности на изобретение, а также позволяющее охватить как рынок РФ, так и международный.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В таблице 4.6 представлены заинтересованные стороны проекта – лица или организации, которые активно участвуют в исследовании

или интересы которых могут быть затронуты в ходе исполнения или результате завершения исследования.

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Предприятия химической отрасли	Получение современной, безопасной разработки технологии утилизации опасных отходов
Общественность	Получение более экологичной технологии, снижающей негативное воздействие на окружающую среду

В таблице 4.7 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Проектирование и разработка водостойкой смеси на основе вяжущей композиции для использования с целью утилизации агрессивных и токсичных отходов различных предприятий химической отрасли промышленности
Ожидаемые результаты проекта:	Разработан и испытан образец водостойкой вяжущей композиции
Критерии приемки результата проекта:	Образец отвечает заданным требованиям и соответствует критериям эффективности
Требования к результату проекта:	Требование:
	Есть готовый образец материала
	Подготовлены результаты исследования, проведены расчеты
	Проведен анализ методов коммерциализации, есть понимание дальнейшей работы над проектом
	Проект оформлен в виде ВКР

В таблице 4.8 представлена организационная структура проекта.

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Митина Н.А., НИ ТПУ, доцент 0,5 ставки ИШНПТ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Шашмурина Ю.И., магистрант ИШНПТ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, разработка состава, проведение испытаний, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	760786,74
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

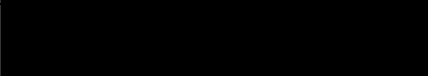
4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта на основании календарного плана работ (Таблица 4.10). Календарный график представлен в виде диаграммы Ганта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта (Таблица 4.11).

Таблица 4.10– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.20	07.09.20	Шашмурина Ю.И., Митина Н.А.
Согласование плана работ	7	08.09.20	15.09.20	Шашмурина Ю.И., Митина Н.А.
Литературный обзор	107	16.09.20	31.12.20	Шашмурина Ю.И.
Проведение лабораторных испытаний, обработка полученных данных	334	01.01.21	30.11.21	Шашмурина Ю.И., Митина Н.А.
Написание отчета	183	01.12.21	31.05.22	Шашмурина Ю.И.
Итого:	638			

Таблица 4.11 – Календарный план-график проведения НИОКР

Наименование этапа	Т, дней	2020				2021												2022				
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Утверждение темы магистерской диссертации	7																					
Согласование плана работ	7																					
Литературный обзор	107																					
Лабораторные испытания, обработка полученных данных	334																					
Написание отчета	182																					



- Шашмурина Ю.И.



- Шашмурина Ю.И., Митина Н.А.

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. Заработная плата – основная и дополнительная;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы.

В статью «Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)» включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Канцелярские принадлежности, компл.	2	370,00	740,00
Чашка мерная	2	150,00	300,00
Мерный цилиндр	1	180,00	180,00
Стеклянная палочка	2	50,00	100,00
Халат лабораторный	1	2000,00	2000,00
Перчатки	10	100,00	1000,00
Очки защитные	1	400,00	400,00
Карта памяти	1	2500,00	2500,00
Полиграфические услуги	1	1100,00	1100,00
Всего за материалы	8320,00		
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			416,00
Итого по статье			8736,00

В статью «Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ» включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования и программного обеспечения, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.13). Так как все требующиеся испытания и измерения проводились на базе научно-исследовательской лаборатории университета, то по такому оборудованию необходимо посчитать амортизационные отчисления (таблица 4.13.1)

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	45000,00	45000,00
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	4000,00	4000,00
3	Амортизация оборудования	4	-	8712,00
Итого, руб.:				57712,00

Амортизация - перенесение по частям стоимости основных средств и нематериальных активов по мере их физического или морального износа на стоимость производимой продукции. Амортизация рассчитывается по формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.КТ}}{T_{кал}} \cdot Ц_{КТ} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где $T_{исп.КТ}$ – время использования техники,

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней в 2021 г.);

$Ц_{КТ}$ – стоимость техники,

$T_{сл}$ – срок службы техники.

Таблица 4.13.1 – Амортизация оборудования

Оборудование	Количество	Стоимость техники, C_{KT}	Срок службы, г.	$T_{кал}$ Дн.	Амортизация, руб
Весы электронные аналитические	1	45000,00	10	42	517,81
Пресс гидравлический ПГМ-500	1	624000,00	10	14	2393,42
Термоанализатор ДТА/ТГ	1	900000,00	15	22	3612,82
Дифрактометр Дрон-3М	1	550000,00	15	22	2187,95
Итого:	4				8712,00

В расчет основной заработной платы включается основная заработная плата научного руководителя проекта от университета и исполнителя проекта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 14.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где, Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни, праздничные дни)	66	66
Потери рабочего времени - отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$З_m = З_б * (k_{пр} + k_d) * k_p,$$

где, $З_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

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

Согласно информации с сайта Томского политехнического университета, должностной оклад доцента кандидата наук в 2021 году без учета РК составляет 33664 руб., занятость руководителя проекта 0,5 ставки, таким образом базовый оклад примем равным 16832 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	16832,00	1	0,02	1,3	22319,24	979,41	226	221346,6
Магистрант	3100,00	-	-	1,3	4030,00	176,84	414	73211,76

В дополнительную заработную плату научно-производственного персонала включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы):

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} * k_{\text{доп}},$$

где, $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (12%);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант	Итого
Основная зарплата	221346,6	73211,76	294558,36
Дополнительная зарплата	26561,6	9517,53	36079,13

В отчисления на социальные нужды включены отчисления во внебюджетные фонды:

$$С_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где, $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2021 год в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$С_{\text{внеб}} = 0,3 * (247908,2 + 82729,3) = 99191,25 \text{ рублей}$$

В накладные расходы включаются расходы на управление и хозяйственное обслуживание, ремонт оборудования, электроэнергия, интернет, телефонная связь. Размер накладных расходов составляет 80% от суммы основной и дополнительной заработной плат:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (294558,36 + 36079,13) = 264510,00$$

где, $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Таким образом, общие затраты проекта, приведенные в таблице 4.18, составляют 760786,74 руб.

Таблица 4.18 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов)	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	8736,0	57712,00	294558,36	36079,13	99191,25	-	-	-	264510,0	<u>760786,74</u>
Аналог	2000,0	1557400,0	630000,0	75600,0	211680,0	-	-	-	564480,0	3041160,0

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры, представленной на рисунке 4.2.

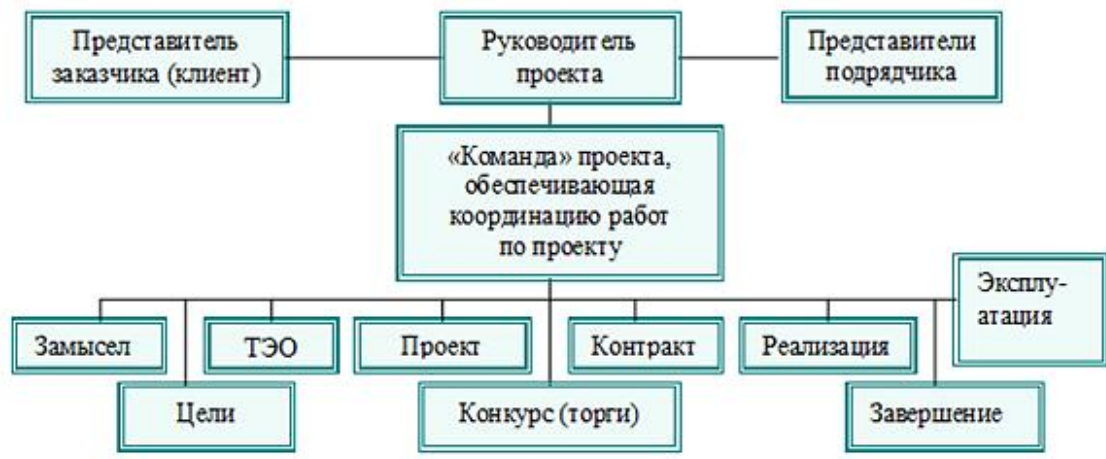


Рисунок 4.2 – Проектная структура проекта

4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.20.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неработающий состав	2	5	Низкий	Тщательный анализ и моделирование	Низкая точность анализа
2	Погрешность расчетов	2	5	Низкий	Проверка	Невнимательность
3	Невостребованность результатов исследования	3	5	Средний	Публикация результатов, поиск инвесторов	Недоработанный проект, отсутствие действующего образца

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

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент

инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где, ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования.

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если **NPV > 0**, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.21.

При расчете рентабельность проекта составляла 25 %, норма амортизации – 10 %.

Выручка = себестоимость * 1,25 = 760786,74 * 1,25 = 950983,43

Операционные затраты = бюджет * 35 % = 266275,36

Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	950983,43	950983,43	950983,43	950983,43
2	Итого приток, руб.	0	950983,43	950983,43	950983,43	950983,43
3	Инвестиционные издержки, руб.	- 760786,74	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	266275,36	266275,36	266275,36	266275,36
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	684708,07	684708,07	684708,07	684708,07
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	136941,61	136941,61	136941,61	136941,61
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	547766,46	547766,46	547766,46	547766,46
9	Чистый денежный поток (ЧДП),	- 760786,74	565042,93	565042,93	565042,93	565042,93

	руб.(чистая прибыль+амортизация)					
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	- 760786,74	470680,76	392139,79	326594,81	272350,69
12	Σ ЧДД	1461766,05 руб.				
12	Итого NPV, руб.	700979,31 руб.				

$$NPV = 1461766,05 \text{ руб.} - 760786,74 = 700979,31 \text{ руб.} > 0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где, i – ставка дисконтирования, 20 %; (10%)

t – шаг расчета. (горизонт планирования - 4года)

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 700979,31 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности(PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где, ЧДД - чистый денежный доход, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1461766,05}{760786,74} = 1,92$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR)—это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или 0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.22 и на рисунке 4.3.

Таблица 4.22 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

11,5	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-760786,74	565042,93	565042,93	565042,93	565042,93	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-760786,74	513624,02	466725,46	424347,24	385924,32	1029834,31
	0,2	-760786,74	470680,76	392139,79	326594,81	272350,69	700979,32
	0,3	-760786,74	434518,01	334505,41	257094,53	197765,03	463096,24
	0,4	-760786,74	403440,65	288171,89	205675,63	146911,16	283412,59
	0,5	-760786,74	376883,63	250879,06	166687,66	111878,5	145542,12
	0,6	-760786,74	353151,83	220366,74	137870,47	86451,56	37053,87
	0,7	-760786,74	332245,24	189289,38	114703,71	63284,8	-61263,59
	0,8	-760786,74	314163,87	174598,27	96622,34	53679,07	-121723,19
	0,9	-760786,74	297212,58	156516,89	82496,26	43508,3	-181052,69
	1,0	-760786,74	282521,47	141260,73	70630,36	35032,66	-231341,51

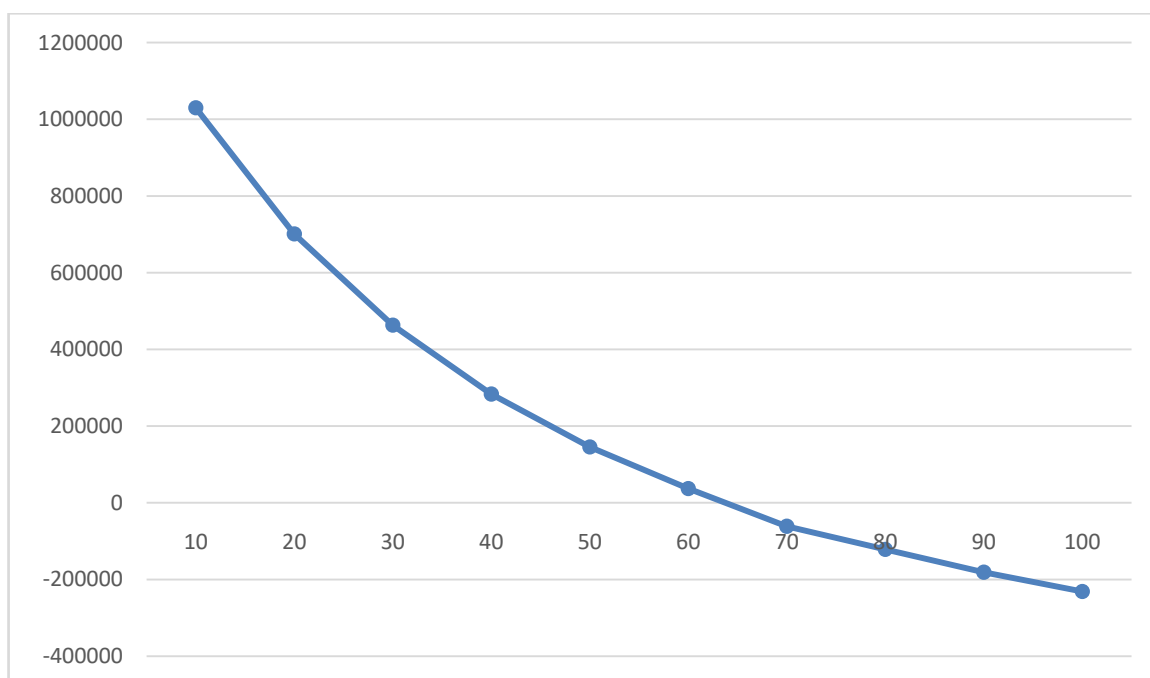


Рисунок 4.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,65.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $65\% - 20\% = 45\%$

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения *дисконтированного срока окупаемости* – времени, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	- 760786,74	470680,76	392139,79	326594,81	272350,69
2	То же нарастающим итогом, руб.	- 760786,74	- 290105,98	102033,81	428628,62	700979,31
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1 + (290105,98 / 392139,79) = 1,74$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 24).

Таблица 4.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Использование составов с высокой степенью риска преждевременного разрушения и наступления экологической катастрофы	Составы намного более экологичны - имеют доказанную эффективность в термо-, сейсмо-, геологоустойчивости
Производство устаревших составов более дешевое, но их использование экономически неэффективно для предприятий в силу их недолгого срока службы	Разработки будут предпочитаться предприятиями, так как затраты экономически обоснованы сроком службы

4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких 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 по следующей формуле:

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

где, $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – 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).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблица 4.25).

Таблица 4.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 1
1. Надежность	0,2	5	4	5
2. Долговечность	0,25	5	4	3
3. Простота эксплуатации	0,3	3	5	3
4. Безопасность	0,2	5	3	2
5. Универсальность	0,05	5	2	2
Итого:	1	23	18	15

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 = 4,4$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 = 4$$

$$I_2^A = 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 = 3,15$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где, $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.26.

Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4	3,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,63	4,08	3,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,88	0,68

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость (NPV), равная 700979,31 руб.; индекс доходности $PI = 1,92$, внутренняя ставка доходности $IRR = 65\%$, срок окупаемости $PP_{дск} = 1,74$ года.

Таким образом, мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

Список публикаций студента

Шашмурина Ю.И.. Материалы для иммобилизации агрессивных отходов химических производств / Ю.И. Шашмурина Мощенко; науч. рук. Н.А. Митина // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых, 2022 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2022. — [С. 188-189].

Приложение II (справочное)

Introduction

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ03	Шашмурина Юлия Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Евсеева Арина Михайловна			

INTRODUCTION

The problem of environmental pollution is extremely topical now and in the near future. A significant share of pollution belongs to the power generation branch and nuclear power in particular. Nuclear power plants produce at least 18 tonnes of radioactive waste each year.

Due to the harm and danger to all living things, radioactive waste is not planned for future use.

To date, the accumulated radioactive waste (RAW) in Russia is about 410 million m³ of liquid and 83 million m³ of solid RAW with a total activity of 6.3 Bq (1.7 billion Ci). Another 60 million m³ of liquid radioactive waste is located at the radioactive waste deep disposal facilities. Most of the accumulated RAW is located at the industrial sites of Rosatom organizations.

In order to maintain and improve living standards and to develop the economy, the country plans to increase electricity production, including through nuclear power plants (NPP). The expected increase in the amount of radioactive waste requires effective disposal technologies.

The safety of human life depends primarily on the correct disposal (immobilization) of radioactive waste.

Immobilization is the reduction of radionuclide migration during the durable storage, transport and disposal of radioactive waste by transfer it into a solid form.

Various methods are used for immobilization: 1 – immobilization using a cement matrix, 2 – bitumen capsulation, 3 – vitrification, 4 – ceramic matrix, 5 – immobilization using a magnesia binder.

A common disadvantage of all these methods is the high rate of radionuclides leaching.

Immobilization of liquid radioactive waste into a magnesia matrix is far superb to almost all currently used matrix materials in terms of a number of physical and chemical properties.

The negative side of this immobilization method is the deviation from the norms leaching rate of the radioactive cesium isotope due to the fact that the magnesium binder is a type of air binder known for its very low water resistance.

In view of the above, obtaining a water resistant binder for the immobilization of radioactive waste is an extremely urgent task.

The goal is to develop a water resistant composition based on a magnesia binder:

The following tasks need to be completed in order to achieve the objective:

1. To refine the composition of the previously obtained composite material by selecting the optimum amount of finely dispersed filler.
2. To define the physical and mechanical properties of the samples received.
3. To establish a pattern of change in the structure of cured samples.

1 IMMOBILISATION WITH MAGNESIA BINDER

As mentioned above, materials with different properties and compositions are used in the immobilisation of liquid radioactive waste, including caustic magnesite powder as a hardener to imprison the radionuclides in a magnesia matrix. The use of magnesia binder makes it possible to use not only classic magnesium chloride or magnesium sulphate, but also water contained in liquid radioactive waste as a mixing liquid. The advantage of this method is that processing waste in this way increases the content of the solidified product with radionuclides from high-salt waste from the chemical industry. The most common binder fluid for magnesia is MgCl_2 , whose physico-chemical properties make it possible to obtain a monolithic magnesia compound with the highest possible strength. The negative side of this method of immobilisation, is the deviation from the norm, the leaching rate of the radioactive cesium isotope, due to the fact that the magnesia binder is of the air binder type, known for its non-water resistance.

1.1 Magnesia binder (classic)

Magnesia binders, the main component of which is magnesium oxide.

Magnesia binders belong to the class of air binders. Classical magnesia binders are produced by mixing fine powder of caustic magnesite with aqueous solutions of magnesium chloride or magnesium sulphate. They are used in construction to make constructional, refractory, insulating, decorative materials and products with a moisture content not exceeding 60 %.

Unlike the commonly used Portland cement, the production of magnesia binders is less energy-consuming. Calcination of caustic magnesite takes place at temperatures of about 700 - 800 °C, which allows obtaining cements that are not inferior in strength properties. In addition, magnesia binders have the following unique properties [1]:

- fast curing velocity;
- low volume shrinkage;
- high abrasion resistance;

- high heat resistance and low thermal conductivity;
- high adhesion.

However, the main disadvantage of magnesia binders is their low water resistance after curing. Therefore, the use of materials based on magnesia binders is limited.

1.2 Hydraulic magnesia binder

Changing the traditional mixing liquid with magnesium bicarbonate $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ is a fundamentally new approach to solving the problem of low water resistance of magnesia binders. The use of $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ solution as a hardener eliminates the formation of soluble compounds and produces insoluble crystalline phases that increase water resistance and strength of products. Figure 1 shows the results of research on thermal decomposition of magnesia binder hardening products with magnesium bicarbonate solution.

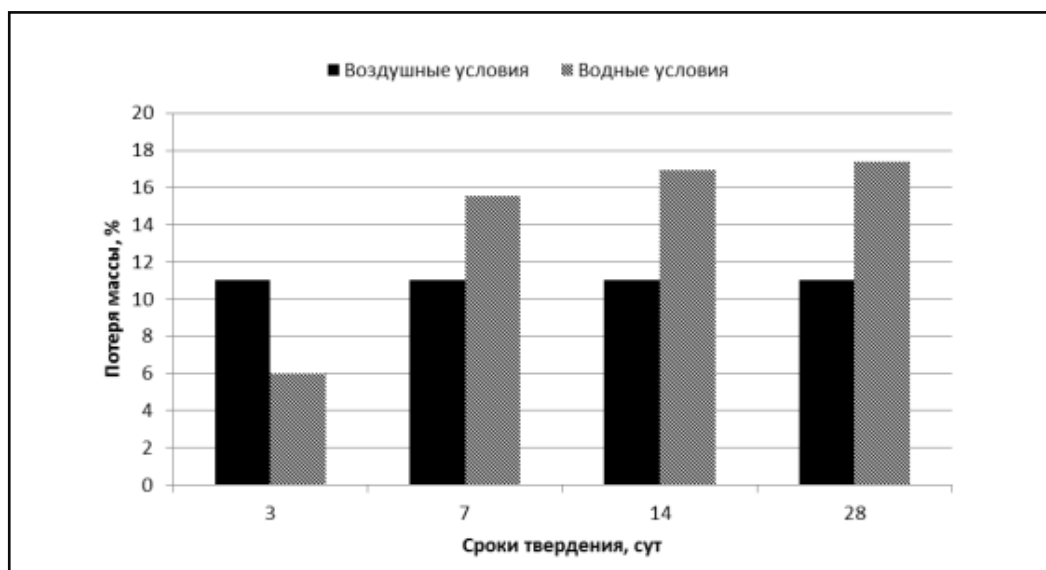


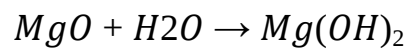
Figure 1.1 – Weight loss of curing products on heating and curing conditions and timing in the temperature range 380-410 °C

The mass loss in the temperature range 380-410 °C is due to the decomposition of the hydroxogroups in the magnesium hydrocarbonates. Figure 1 shows that the formation of hydration products during the hardening of magnesia

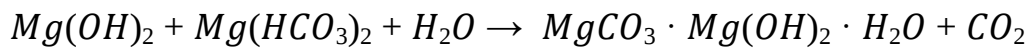
binder samples in aqueous conditions is intensive, due to the continuous exchange of ions with water. Under air conditions the amount of magnesium hydrocarbonates containing hydroxogroups does not change throughout the curing period and, as a result, the mechanical properties of such a magnesian binder will be worse.

Such cement stone can be cured either in an air-dry or aqueous environment with a pre-curing in air for a day.

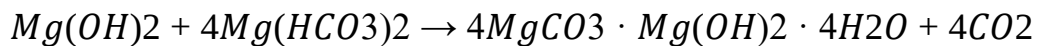
When caustic magnesite interacts with a hardener in the form of an aqueous solution of magnesium bicarbonate, the magnesium oxide is first hydrated:



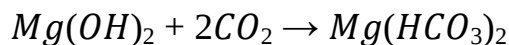
Magnesium hydroxide reacts further with magnesium bicarbonate to form insoluble compounds magnesium hydroxocarbonate hydrate:



For example, the reaction of the hydromagnesite formation:



In parallel, secondary magnesium bicarbonate is formed by the interaction of magnesium hydroxide and carbon dioxide, which also contributes to the formation of the insoluble magnesium hydroxocarbonate phase:



As a result of the sequential and cyclic course of the described reactions two main crystalline phases are formed: magnesium hydroxide and magnesium hydroxocarbonate hydrate. Moreover, the water-curing composition has a higher strength than air-curing samples, which can be explained by the continuous formation of magnesium hydroxide in water as well as by ion-exchange processes between the curing system and the curing medium. Thus, by replacing the traditional binder with magnesium bicarbonate $Mg(HCO_3)_2$, magnesia binders pass from the category of air binders to hydraulic binders.

2 EXPERIMENTAL PART

The experiment consisted in selecting a magnesia-silicate composition that meets the requirements of liquid radioactive waste disposal.

To achieve the objective, mortars (normal-thickness cement batter) with different contents of the additive trepel were prepared.

Both natural and treated trepel were added, in an amount of 1-6% each. The composition of the samples is in table 2.1.

Table 2.1 – Composition of samples

Composition	Sample code						
	0-0	O-1 Π-1	O-2 Π-2	O-3 Π-3	O-4 Π-4	O-5 Π-5	O-6 Π-6
MgO, g	200	198	196	194	192	190	188
SiO ₂ , g	0	2	4	6	8	10	12
BKM, ml	100						

2.1 Research methods

One of the tasks was to determine the physical and mechanical properties of the samples obtained, of different compositions, such as:

1. Determination of the compressive strength;
2. Determination of the water resistance of the magnesia binder.

2.1.1 Determination of the compressive strength

Caustic magnesite, with an additive, is mixed with a solution of magnesium bicarbonate at a W/P ratio of 0,5. The mortar is thoroughly mixed with a spatula and placed in a mould, where it is compacted by tamping.

The samples were left in the moulds for precuring for 24 hours in an air-dry environment. The samples were then removed from the moulds and placed in two environments for further curing (dry and wet).

After 28 days of curing, the samples are measured and the cubes are then tested on a hydraulic press to determine the compressive strength.

2.1.2 Determination of the magnesia binder water resistance

The material water resistance is evaluated by the water resistance coefficient, and is calculated according to the formula:

$$\text{WRC} = \frac{\text{Compressive strength immersed in water}}{\text{Compressive strength cured in air}}$$

A range of physico-chemical methods were also used to determine the properties of the samples after hardening, such as

- X-ray phase analysis;
- thermal analysis.

2.1.3 X-ray phase analysis

The main task of X-ray phase analysis (XRD) is to identify the various phases in a mixture of crystalline substances based on the diffraction pattern they create. This is due to the fact that each crystalline substance has a specific interference pattern with a certain amount, location and intensity of interference lines, which are determined by the nature and location of atoms in this substance. If the mixture consists of several substances, then each of them gives its own roentgenogram, thereby obtaining one total radiograph (Figure 2.1) [2].

This type of analysis is used to determine the qualitative and quantitative composition of the studied substances [3].

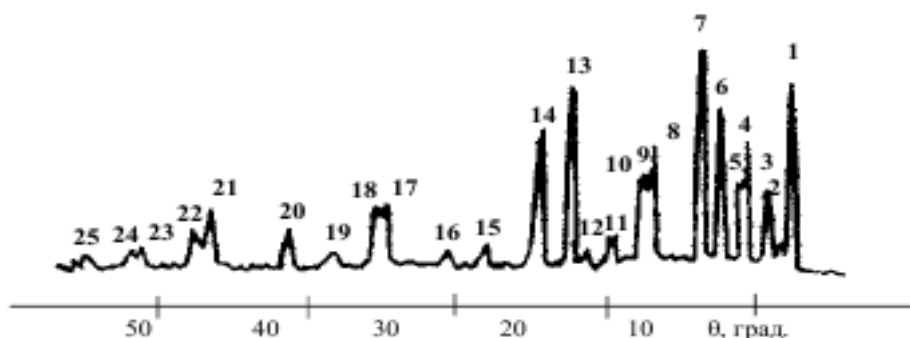


Figure 2.1 – Radiograph of a multiphase sample

A substance that is exposed to x-rays emits secondary radiation whose wavelength is either equal to the wavelength of the incident rays (coherent scattering) or slightly different. When scattering without changing the wavelength, the alternating electromagnetic field created by the x-ray beam causes the oscillatory motion of the electrons of the irradiated substance, and they become sources of coherent radiation.

Due to the coherence, the rays scattered by various atoms can interfere and the distances between the atomic planes in crystals are comparable with the wavelengths of x-rays. The crystal serves as a diffraction grating for x-rays.

Figure 2.2 shows that the path difference (AOW) will be equal to an integer number of waves $\Delta (AOB) = n\lambda$. From the right-angled triangles AOO' and BOO' it is clear that $AOW = 2d\lambda\sin\theta$.

$$2d\sin\theta = n\lambda,$$

where $n = 1, 2, 3 \dots$

This is the Bragg – Wolfe equation [4], which is used to calculate interplanar distances.

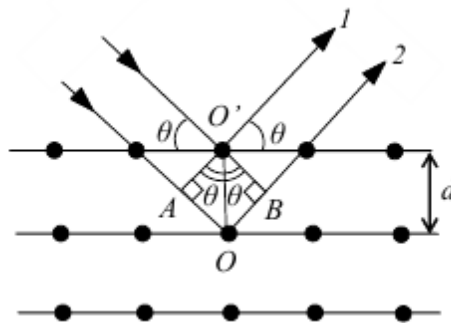


Figure 2.2 – Reflection of X-rays in a crystal according to Bragg [4]

There are many ways to register x-rays. One of the first and most commonly used is the photographic method of recording x-rays.

Preparation of samples for radiographs is one of the main factors for obtaining sufficiently good results. One of the common and effective methods of shooting is the powder method, where the sample is a polycrystalline body obtained from finely ground powder packed into a capillary with a diameter of 0.7 mm [5].

To take diffractograms, the powder is poured and fixed in the recess of the cell made of quartz glass. Since this method is very sensitive, it is necessary to grind the powder in an agate mortar with an agate pestle. An acceptable size is 5-10 microns.

X-ray phase analysis allows you to determine:

- quantity and quality of crystalline phases present;
- grain size, unit cell size;
- microstresses of the crystal lattice;
- type of solid solution, degree of ordering, solubility limits.

X-ray phase analysis is successfully used to study materials of natural and synthesized origin [2].

2.1.4 Thermal analysis

Thermal analysis is subdivided into the following methods:

- differential scanning calorimetry (DSC);
- Differential Thermal Analysis (DTA);
- Thermogravimetry (TG).

Differential thermal analysis is based on comparing the thermal properties of the test substance to a thermally inert substance which is taken as a reference. Differential-scanning calorimetry allows you to fix the heat flux reflecting physical and chemical processes occurring in the substance during heating. When examining samples, DSC and DTA show characteristic endothermic effects that result from dehydration and destruction of the crystal structure, as well as exothermic effects due to the formation of new phases at higher temperatures. Thermogravimetry is a method of thermal analysis based on recording the change in mass of a sample as a function of temperature. The resulting relationship allows conclusions to be drawn about the thermal stability and composition of the sample. This method can be used effectively when the sample, during heating, gives off volatile substances as a result of various chemical, physical and physical-chemical processes. We used a NETZSCH STA 449 F3 Jupiter differential thermal analyzer as a coupled DSC-TG instrument. Thermal analysis was carried out up to 1000 °C.