

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния состава (качества) каустического магнезиального порошка на свойства магнезиального цемента

УДК 661.846'022.014:666.941.2-02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Пильникова Виктория Олеговна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Н.М. Кижнера	Казьмина Ольга Викторовна	д.т.н.		

**ПЛАНИРУЕМЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.04.01 - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие</i> знания <i>социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Пильниковой Виктории Олеговне

Тема работы:

Исследование влияния состава (качества) каустического магнезиального порошка на свойства магнезиального цемента	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 643/с от 02.02.18

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.19
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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></p>	<p>Анализ литературы и патентных источников; породы магнезита и брусита, заводские каустические магнезиальные порошки; методы и методики исследования;</p>
---	--

<p>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></p>	<p>1. Исследования активности каустических магниезиальных порошков, полученных обжигом пород магнезита и брусита при различных температурах и заводских каустических магниезиальных порошков. 2. Установление влияния активности каустических магниезиальных порошков на прочностные характеристики изделий.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рентгенофазовый анализ материалов; графики зависимости прочности образцов от активности каустических порошков; план эвакуации при пожарах и ЧС</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основная часть	Митина Н.А., доцент НОЦ Н.М. Кижнера
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Т.Г., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Романова С.В., старший преподаватель ООД ШБИП
Обязательное приложение на иностранном языке	Аксёнова Н.В., доцент ОИЯ ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Перспективы использования, виды и свойства магниезиальных вяжущих материалов (Литературный обзор)

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Пильникова Виктория Олеговна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Пильниковой Виктории Олеговне

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, районный коэффициент по г. Томску
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	– цели и результаты исследования; – участники проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– структура работ в рамках научно-технического проекта; – определение трудоемкости выполнения работ; – составление графика проведения научно-технического проекта; – определение бюджета научно-технического проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– оценка эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- «Портрет» потребителя результатов НТИ
- График проведения НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трубченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Пильникова Виктория Олеговна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Пильниковой Виктории Олеговне

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Исследование влияния состава (качества) каустического магнезиального порошка на свойства магнезиального цемента	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются каустические порошки магнезита и брусита. Работа заключалась в исследовании химической активности этих порошков, полученных обжигом породы при различных температурах, и её влиянии на прочностные свойства образцов, изготовленных из этих порошков. Область применения – гражданское строительство
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Воздействие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии 2. Воздействие веществ, вызывающих поражение кожи и раздражение глаз 3. Превышение уровня шума 4. Превышение уровня общей вибрации 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны 6. Отклонение показателей микроклимата 7. Воздействие подвижных частей механического оборудования 8. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	– литосфера (бытовые отходы) – гидросфера (продукты реакций нейтрализации)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– природные ЧС (сильные морозы) – техногенные ЧС (возникновение пожара)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2019
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Пильникова Виктория Олеговна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 с., 19 рис., 35 табл., 66 источников, 1 прил.

Ключевые слова: гидравлическое магнезиальное вяжущее, химическая активность, прочность на сжатие, фазовый состав, температура обжига.

Объектами исследования являются породы магнезита и брусита, каустические магнезиальные порошки, полученные обжигом пород магнезита и брусита при различных температурах.

Цель работы – установление влияния фазового состава каустического магнезиального порошка на качество водостойкого гидравлического магнезиального вяжущего.

В процессе исследования проводились исследования активности каустических магнезиальных порошков, полученные обжигом пород магнезита и брусита при различных температурах и заводских каустических магнезиальных порошков.

В результате исследования было установлено влияние активности каустических магнезиальных порошков на прочностные характеристики изделий.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: содержание активного оксида магния, предел прочности при сжатии, фазовый состав каустических магнезиальных порошков.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: гражданское строительство.

Экономическая эффективность/значимость работы: текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным, перспективным с точки зрения ресурсопотребления и превосходит конкурентов.

В будущем планируется провести сравнительные эксперименты по улучшению технических характеристик вяжущего.

Оглавление

Введение.....	14
РАЗДЕЛ 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Современное состояние сырьевой базы для получения каустических магнезиальных порошков.....	15
1.1.1 Магнезит.....	19
1.1.1.1 Происхождение и месторождения магнезита	20
1.1.1.2 Применение магнезита	22
1.1.2 Брусит	23
1.1.2.1 Происхождение и месторождения брусита	23
1.1.2.2 Применение брусита	25
1.2 Магнезиальные вяжущие материалы.....	25
1.2.1 Свойства материалов на основе магнезиального вяжущего	26
1.2.2 Изделия на основе магнезиального вяжущего	27
1.2.3 Классическое магнезиальное вяжущее	29
1.2.3.1 Оксихлоридное магнезиальное вяжущее	30
1.2.3.2 Оксисульфатное магнезиальное вяжущее	32
1.2.4 Процессы твердения классических магнезиальных вяжущих веществ	34
1.2.5 Водостойкость изделий на основе магнезиального вяжущего	36
1.2.6 Гидравлическое магнезиальное вяжущее	37
1.2.7 Качество каустического магнезиального порошка и его влияние на свойства изделий	39
1.2.7.1 Влияние содержания активного MgO на качество оксихлоридного магнезиального вяжущего	39

1.2.7.2	Использование «лежалого» каустического магнезимального порошка в качестве гидравлического магнезимального вяжущего	41
1.3	Предпосылки исследований.....	42
РАЗДЕЛ 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ		44
2.1	Характеристика используемых материалов	44
2.1.1	Магнезит.....	44
2.1.2	Брусит	45
2.1.3	Каустический магнезит.....	47
2.1.4	Каустический брусит	47
2.1.5	Жидкость затворения.....	48
2.2	Методы исследования.....	49
2.2.1	Активность каустических магнезимальных порошков по ГОСТ 22688-77	49
2.2.2	Активность каустических магнезимальных порошков по лимонному числу	50
2.2.3	Предел прочности на сжатие образцов.....	51
2.2.4	Рентгенофазовый анализ (РФА)	51
2.2.5	Комплексный термический анализ	52
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....		54
3.1	Методики определения структуры и свойств пород магнезита и брусита после обжига при различных температурах.....	54
3.1.1	Определение активности каустических магнезимальных порошков по ГОСТ 22688-77	54
3.1.2	Определение активности каустических магнезимальных порошков по лимонному числу	55
3.1.3	Определение предела прочности при сжатии образцов	57

3.1.4 Проведение рентгенофазового анализа РФА	59
Выводы.....	61
РАЗДЕЛ 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	63
4.1 Предпроектный анализ	63
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	63
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	67
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	69
4.2 Инициация проекта	69
4.2.1 Цели и результаты проекта	69
4.2.2.Организационная структура проекта	70
4.2.3.Ограничения и допущения проекта	71
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	71
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта	71
4.3.2 Контрольные события проекта	73
4.3.3 План проекта.....	73
4.4 Бюджет научного исследования	75
4.5. Организационная структура проекта	80
4.6. Матрица ответственности	81
4.7 Реестр рисков проекта	81
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	83

4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	86
4.9 Оценка научно-технического эффекта	89
Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	90
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	92
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
5.2 Профессиональная социальная безопасность	93
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	95
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	96
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	100
5.3 Экологическая безопасность.....	103
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	103
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	103
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	103
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	104
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	104
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	105
Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	107
Заключение	108
Список использованных источников	110
Приложение А	117

Введение

В настоящее время во всем мире актуальными проблемами являются рациональное природопользование, а также энергоэффективность и энергосбережение. В нашей стране эти темы также немаловажны и относятся к приоритетным направлениям развития науки и техники Российской Федерации, с учетом прогноза развития до 2030 года [1].

Использование магнезиальных вяжущих и материалов на их основе отвечает требованиям современности и имеет значительные перспективы развития, связанные с уникальными свойствами магнезиальных материалов. Магнезиальные вяжущие и материалы на его основе обладают хорошими свойствами по прочности, теплоизоляции и длительности эксплуатации.

Недостатком магнезиального вяжущего является плохая сопротивляемость влаге из-за образования растворимых соединений, образующихся при твердении. Но эта проблема была решена с применением новой жидкости затворения – раствора бикарбоната магния и перевода магнезиальных вяжущих в разряд гидравлических.

Основным сдерживающим фактором развития являются проблемы качества производимых в настоящее время магнезиальных вяжущих и материалов, которые связаны главным образом с генетически и технологически обусловленной неоднородностью состава и свойств сырья, высокой чувствительностью свойств вяжущих к режиму обжига сырья, а также с высокой стоимостью из-за значительных энергетических затрат на производство.

РАЗДЕЛ 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Современное состояние сырьевой базы для получения каустических магнезиальных порошков

Глобальная индустрия строительных материалов, которая исторически основывалась на чрезвычайно широком спектре материалов, подходящих для местных условий и конкретных применений, во второй половине 20-го века стала почти монокультурой, основанной на использовании портландцемента (ПЦ).

В прошлом цементы на основе MgO рассматривались как способ использования обильных местных ресурсов или для достижения ощутимых коммерческих преимуществ перед ПЦ, так же для достижения желаемых эстетических или механических свойств.

В последние десятилетия основными мотивациями для разработки и внедрения цементов на основе MgO в России были:

- большие запасы магнезиального сырья;
- экономия энергетических ресурсов;
- получение изделий с лучшими эксплуатационными характеристиками;
- уменьшение загрязнения окружающей среды

В Европе и Америке основной мотивацией для разработки и внедрения цементов на основе MgO был экологический подход, а также экономия энергетических ресурсов. В настоящее время ведется поиск альтернатив ПЦ из-за его большого следа выбросов CO₂ [2], который в настоящее время составляет около 8% глобальных антропогенных выбросов парниковых газов [3].

Более низкие температуры, необходимые для производства MgO, по сравнению с температурами при производстве ПЦ и экономия энергии, связанная с этой пониженной температурой, привели к тому, что многие считают, что цементы на основе MgO являются центральными в будущем экологически чистого производства цемента.

Так же уделяется внимание способности MgO поглощать CO_2 из атмосферы с образованием ряда карбонатов и гидроксикарбонатов, которые могут положительно влиять на прочностные свойства изделий из магнезиальных цементов. Эти два аспекта привели к возобновлению интереса, как академического, так и коммерческого, к цементам на основе MgO .

Для производства оксида магния чаще всего используют следующие породы:

- магнезит $MgCO_3$
- доломит $CaMg(CO_3)_2$

Также могут использоваться:

- серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$
- амфибол $Mg_7[Si_8O_{22}](OH)_2$
- тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ и другие породы, которые разрабатываются в странах, бедных магнезитом.

Основным путем получения MgO для использования в качестве сырья в магнезиальных цементах является обжиг магнезита ($MgCO_3$), но его запасы географически ограничены, а крупные залежи обнаружены лишь в нескольких странах. В Европе магнезит является достаточно дефицитным и востребованным, и он был включен в список «Критическое сырье» ЕС 2014 года, хотя в настоящее время в этом регионе не производится крупномасштабное производство цементов на основе MgO . На Китай, Северную Корею и Россию приходится большая часть мировых объявленных запасов (рис.1.1) [4].

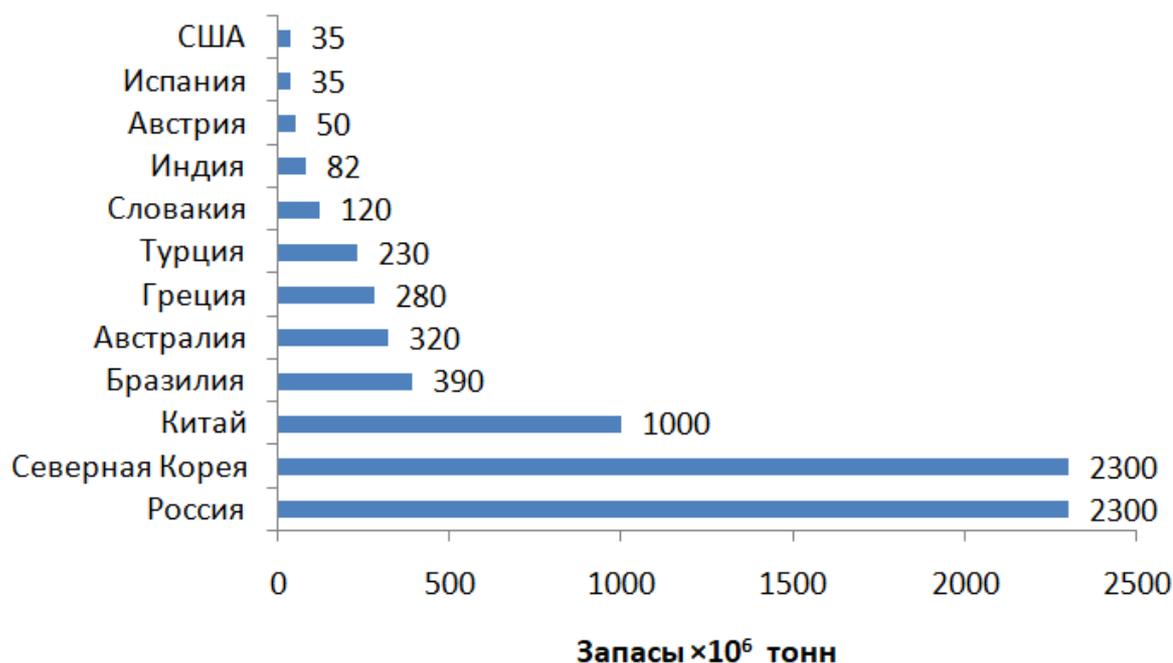


Рисунок 1.1 Запасы магнезита в мире по состоянию на 2018 год по основным странам ×10⁶ тонн

MgO получают также при прокаливании брусита ($Mg(OH)_2$). Месторождения брусита редки, обычно встречается как второстепенная порода при добыче магнезита как, например, на месторождениях в Челябинской области, г. Сатка.

Производство MgO также может происходить вблизи соляных озер (из рапы соляных озер) или в результате выпадения осадков в виде $Mg(OH)_2$ из морской воды, хотя последний вариант считается энергоемким. Такое производство было известно в Америке (Юта), на китайских соляных озерах (Цинхай, Синьцзян и Тибет) и на Мертвом море (Израиль / Иордания). В России такой способ не популярен, так как имеются большие запасы породы. Китай на сегодняшний день является крупнейшей страной в мире по добыче магнезита, на его долю приходится примерно 66 % мирового производства (рис.1.2) [5].

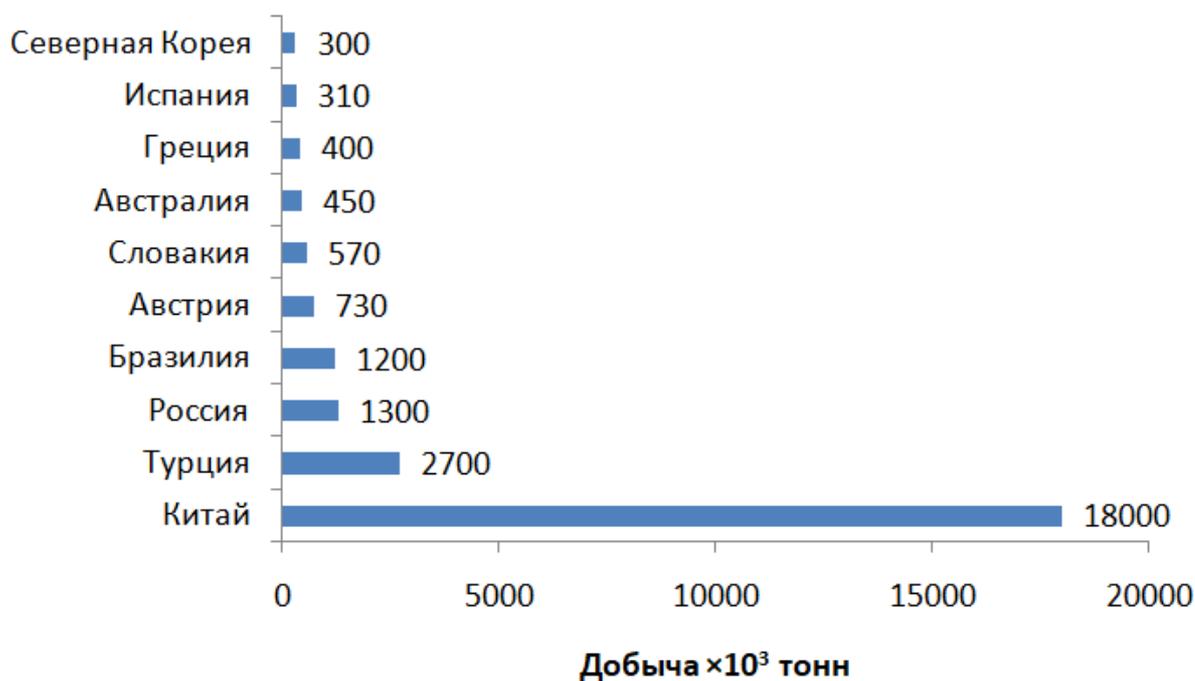


Рисунок 1.2 Добыча магнезита в мире по состоянию на 2018 год по основным странам × 10³ тонн

Политические изменения в Китае повлияли цены и наличие всех сортов магнезии на мировом рынке. Остановки заводов в 2017 и 2018 годах, по распоряжению правительства Китая по экологическим соображениям, привело к ограниченным поставкам и повышению цен.

Исходя из описанного выше можно сделать вывод, что в России существует огромный нереализованный потенциал. Работы по изучению и освоению огромных ресурсов нашей страны актуальны для российской промышленности. Поэтому остановимся на рассмотрении основной породы – магнезита и сопутствующего ему брусита, в котором содержание активного оксида магния является максимальным по сравнению с другими видами магнезительного сырья. Основные свойства пород приведены в таблице 1.1 [6]. Также рассмотрим каустические порошки, полученные на основе магнезита и брусита, для использования в цементной промышленности.

Таблица 1.1 – Основные химические и физические свойства магнезита и брусита

Свойства	Магнезит	Брусит
Химическая формула	MgCO ₃	Mg(OH) ₂
Примеси	Fe, Mn, Ca	Mn, Fe, Ca
Разновидности	Брейнерит, сидерит	Немалит, ферробрусит, манган-брусит
Содержание компонентов, %	MgO – 47,6; CO ₂ – 52,4	MgO – 69,0; H ₂ O – 31
Сингония	Тригональная	Тригональная
Внешний облик	Кристаллические агрегаты, реже землистые аморфные формы	Кристаллические, плотные, и листоватые, чешуйчатые и волокнистые агрегаты
Цвет	Белый, серый	Белый, серый, голубовато-зеленый
Блеск	Стеклообразный, тусклый	Перламутровый, стеклообразный
Плотность, г/см ³	2,9 – 3,1	2,4
Твердость	4,0–4,5	2,5–3,0
Спайность	Совершенная	Весьма совершенная, слюдоподобная
Хрупкость	Хрупкий	Расщепляется на пластинки, волокна
Температура диссоциации, °С	580–680	490
Уд. магнитная восприимчивость	$-0,38 \times 10^{-3}$	Диамагнитен
Электропроводность, Ом·м	10^6 – 10^9	Н/св.
Диэлектрическая проницаемость	4,4 – 10,6	Пироэлектрический диэлектрик
Растворимость	Разлагается при нагревании в кислотах	Разлагается в кислотах

1.1.1 Магнезит

Магнезит (назван в честь области, где впервые был найден: Магнесия, Греция) – минерал из класса карбонатов: карбонат магния. Синоним: магнезиальный шпат. Химическая формула: MgCO₃.

1.1.1.1 Происхождение и месторождения магнезита

Магнезит бывает гидротермального и поверхностного происхождения.

Месторождения гидротермального происхождения образуются двумя путями:

- метасоматического замещения кальция, известняков и доломитов магнием горячих магнезиальных растворов, идущих из магматического очага. Месторождения этого типа всегда залегают среди доломитов, известняков; магнезит имеет зернистое строение.

- метаморфизирующего влияния на оливиносодержащие ультраосновные магматические породы (перидотиты, дуниты) углекислых гидротерм (процесс серпентинизации). Процесс серпентинизации ультраосновных магматических пород сопровождается образованием магнезита. Он в этом случае представлен аморфными разностями.

Магнезит поверхностного происхождения образуется при химическом выветривании серпентинизированных ультраосновных магматических пород на поверхности Земли. В результате серпентиниты разлагаются и образуют бикарбонат магнезии, который поверхностными водами уносится в нижележащие горизонты, где отлагается магнезит, образуя жилы, гнезда, прожилки в серпентинитах [7].

Чаще всего магнезит добывают в карьерах с применением взрывного метода. Породы дробят на фрагменты прямо на месте добычи до размеров от 150 до 300 мм. Далее происходит сортировка по твердости и чистоте на три сорта.

Основным объектом сырьевой базы огнеупорной промышленности России является Саткинская группа месторождений магнезита.

В Челябинской области находится Катавское месторождение магнезита, имеющего следующий химический состав: 40,7 % MgO; 2,3 % CaO; 3,9 % SiO₂; 2,4 % Al₂O₃; 1,8 % Fe₂O₃; нерастворимого остатка 1,0 %; потери при прокаливании 48,8 %.

В Башкирии известны Ширмаевское и Белорецкое месторождения магнезита. Состав ширмаевского магнезита: 44,4 % MgO; 2,8 % CaO; 0,2 %

Al_2O_3 ; 0,5 % SiO_2 ; потери при прокаливании 51,9 %. Содержание окиси магния в белорецком магнезите не превышает 41 %.

На Урале имеется значительное количество небольших месторождений аморфного магнезита. Наиболее крупное Халиловское месторождение находится в западной части большого змеевикового массива и представляет собой жилы различной мощности длиной до 10 м и шириной от 0,05 до 1 м. В халиловском магнезите содержится значительное количество примесей кремниевой кислоты, а также CaO . Халиловский магнезит состоит из мельчайших кристаллов MgCO_3 размером около 0,001 мм; магнезит пропитан аморфной кремнекислотой, содержание которой в отдельных местах доходит до 10–12 %. Химический состав халиловского магнезита: 43,3–47,4 % MgO ; 0,5–4,6 % CaO ; 0,1–0,80 % Al_2O_3 ; 0,02–4,70 % SiO_2 ; потери при прокаливании 49,8–52,3 %.

В Сибири месторождения высококачественного магнезита, содержащего свыше 46 % MgO , обнаружены в Красноярском крае. Химический состав его следующий: 99,6–97,7 % MgCO_3 ; от следов до 3,0 % CaCO_3 . В этом же районе обнаружены залежи магнезита, имеющего следующий состав: 46,7 % MgO ; 0,3 % Al_2O_3 ; 1,5 % CaO ; 0,6 % нерастворимого остатка; потери при прокаливании 50,5 % [8].

Наиболее крупные месторождения магнезита Азии находятся в Китае, Корее и Индии. Значительные месторождения магнезита имеются в европейских странах: Австрии, Чехии, Греции.

Месторождения магнезита в Австрии расположены в Тироле, Штирии и Каринтии. Магнезит кристаллический, среднего качества. Запасы оцениваются в 80 млн. т. На Австрию приходится около половины общей добычи магнезита зарубежных стран, составляющей 2,5 млн. т в год.

Богатые магнезитом районы расположены в Словакии. Магнезит кристаллический, хорошего качества, с содержанием 45–46% MgO , 0,5% CaO , 0,04% SiO_2 , 0,01% Al_2O_3 , 1,9% Fe_2O_3 . Запасы магнезита в Чехии значительны. Имеется несколько месторождений аморфного магнезита; они вытянуты вдоль

Адриатики через Центральную Боснию, Восточную Сербию и Македонию до греческой границы. Магнезит хорошего качества: 46—49% MgO, 1,5% CaO, 1% SiO₂, 0,1—0,3% R₂O₃. Запасы составляют около 15 млн. т.

В Греции известны месторождения аморфного магнезита в северной части острова Эвбеи. Состав магнезита: 46—47% MgO, 0,6—0,8% CaO, 0,3—0,9% SiO₂, 0,6—0,8% Al₂O₃, 0,4—0,6% Fe₂O₃. Запасы оцениваются в 5,5 млн. т.

В западных Пиренеях на французской и испанской территориях имеются залежи магнезита; содержание MgO не превышает 42%. Небольшие месторождения магнезита известны в Италии, Швеции и Норвегии.

Крупные месторождения магнезита имеются в Индии, из них наиболее значительное — в округе Салем штата Мадрас. Химический состав салемского магнезита: 46—48% MgO, 0,6—0,8% CaO, 0,1—0,4% R₂O₃, 0,7—1,2% SiO₂. Запасы магнезита в Индии превышают 100 млн. т.

В северо-восточном Китае (Маньчжурии) находятся наиболее крупные в мире месторождения магнезита. Мощность пластов на некоторых месторождениях исчисляется сотнями метров. Магнезит содержит 46—48% MgO, до 0,9% CaO, 0,8—1,3% Fe₂O₃, до 0,7% Al₂O₃, 0,05—1,6% SiO₂. Запасы магнезита в Китае оцениваются в миллиарды тонн.

В Северной Корее имеются значительные месторождения магнезита следующего состава: 45—46% MgO, 0,9—1,9% CaO, 0,9—1,5% Fe₂O₃, 0,5—1,5% Al₂O₃, 0,4—3% SiO₂. Запасы исчисляются в 3 млрд. т.

1.1.1.2 Применение магнезита

При температуре обжига 650—900°C получают каустический магнезит, при 1500—1650°C — намертво обожженный магнезит.

Магнезит используется преимущественно как огнеупорный материал в металлургии.

В остальных отраслях промышленности используется каустический магнезит:

- в строительной промышленности применяются магнезиальные цементы для производства тепло- и звукоизоляционных материалов;
- в химической промышленности (в виде соединений магния);
- в сахарной промышленности (для рафинирования);
- в керамической промышленности (флюсующая добавка к фарфору, фаянсу, санитарной керамике, уменьшающая коэффициент термического расширения изделий и деформацию при обжиге);
- в бумажной промышленности (сульфитное производство целлюлозы);
- в резиновой промышленности;
- в кабельной промышленности (наполнитель электроизоляционных материалов);
- в лакокрасочной промышленности (наполнитель огнестойких красок);
- в металлургии легких металлов (получение металлического магния путем восстановления древесным углем из смеси магнезита и шихты типа магнезиального цемента) [9].

1.1.2 Брусит

Брусит (назван в честь американского минералога Арчибальда Бруса (1777—1818 гг.), который открыл и описал его) – класс минералов: гидрокислы. Волокнистая асбестовидная разновидность брусита называется – немалит. Химическая формула: $Mg(OH)_2$.

1.1.2.1 Происхождение и месторождения брусита

Среди месторождений брусита можно выделить следующие формации:

- апомагнезитовых брусититов контактового происхождения,
- аподоломитовых бруситовых руд метаморфогенных,
- апогипербазитовых бруситовых руд метаморфогенных,

Формация брусититов, возникающих за счет магнезитов в зонах контактов их с интрузивными породами, представлена крупными месторождениями с сырьем высокого качества. Форма рудных тел главным образом линзообразная.

Аподоломитовые бруситсодержащие руды формируются преимущественно в условиях контактового метаморфизма. Содержание брусита в них от 5—10 до 40—50%. Месторождения этого типа (20— 25% брусита) разрабатываются в Канаде. Известны они и в России, Узбекистане др. Качество руд этой формации хуже, чем апомагнезитовой; руды требуют обогащения.

Апогипербазитовые бруситсодержащие руды известны в ряде районов, в том числе в Пакистане (Хиндубах). Содержание брусита здесь всего 6%. Промышленное значение этой формации не совсем ясно [10].

Месторождения мономинеральных бруситов в мире очень редки (единицы). Известно о промышленных месторождениях в США (штат Невада), также есть промышленное месторождение в России (Еврейская АО) – Кульдурское. Месторождения являются гидротермально-метасоматическими, имеют прямую генетическую связь с магнезитами и образовались в зонах контактового метаморфизма под воздействием гипабиссальных и субвулканических интрузий. Протяженность рудных тел в контактных ореолах измеряется сотнями метров и мощностью – десятки метров. Качество сырья, обычно, очень высокое [7].

Кульдурское месторождение брусита осваивается с 1969 года, разведанные запасы составляют 14 млн. тонн. Брусититы на 90-95% сложены бруситом, а также магнезитом, доломитом, кальцитом и серпентином; кроме того, отмечаются единичные зерна форстерита и периклаза. Брусит, представленный пластинками, чешуйками и микроволокнами размером 0,001-0,005 мм, предопределяет плотный, массивный облик породы преимущественно светло-серого, бледно-розового и белого цвета. Собственно брусититы составляют около 2/3 от всего объема залежей: внутреннее строение

последних осложнено включениями и прослоями кальцифиров, бруситовых мраморов, дайками диабазовых порфиринов и бостонитов [6].

1.1.2.2 Применение брусита

Брусит используется как в сыром, так и в обожженном виде. Брусит является более экологичным материалом, так как при его разложении выделяется вода, не загрязняющая природную среду.

Около 60% добываемого во всем мире брусита обжигают для производства оксида магния (магнезии). Обжиг брусита производят таким же образом как обжиг магнезита, но при более низких температурах. Благодаря ничтожному количеству примесей обожженный продукт обладает очень высоким качеством. При электроплавке получается очень плотный агрегат с повышенной теплопроводностью и электроизоляционными свойствами. В сыром виде брусит применяется в качестве слабощелочного реагента в производстве целлюлозы в связи с многократной оборачиваемостью и отсутствием сброса щелоков в водоемы.

Основными потребителями брусита являются США, Китай и Канада. По сравнению с отечественным применением, за рубежом брусит используется очень широко, в том числе, в производстве вискозы, пластмасс, гидрOMETаллургии урана, рафинировании сахара, виноделии, покрытии сварочных электродов, получении керамических изделий, термоизоляционных материалов, стеклоизделий, конструкционных материалов электронного, ядерного и ракетного оборудования, инфракрасной и ультрафиолетовой оптики, добавки в топливо, водо- и газоочистка, наполнителя бумаги, поделочного материала и др. [7].

1.2 Магнезиальные вяжущие материалы

Помимо широкого использования в металлургии намертво обожженного магнезита, получают вяжущие материалы. В основе магнезиального вяжущего

лежит каустический магнезиальный порошок, получаемый обжигом магнезита – каустический магнезит, брусита – каустический брусит.

После обжига при температурах выше температуры диссоциации, но ниже температуры спекания (от 650 до 900°C для магнезита, от 450 до 700°C для брусита), теряется до 94% углекислот, и формируется каустический магнезиальный порошок с максимальной гидравлической активностью, отличающийся от периклаза более низкими показателями преломления, увеличенными параметрами кубической элементарной ячейки и более низкой плотностью [11].

После обжига сырье перемалывают в шаровых мельницах. Каустический магнезит должен быть измельчен так, чтобы при прохождении через сито № 02 оставалось не больше 5%, а через сито № 009 – максимум 25%.

Порошки из каустического магнезита делятся на 4 марки: ПМК-75, ПМК-83, ПМК-87, ПМК-88 в соответствии с процентным содержанием MgO [12].

1.2.1 Свойства материалов на основе магнезиального вяжущего

Магнезиальные вяжущие и материалы на его основе обладают хорошими свойствами по прочности, теплоизоляции и длительности эксплуатации.

Каустические магнезиальные порошки — быстротвердеющие вяжущие, начало схватывания наступает не ранее, чем через 20 минут, а конец не позднее, чем через 6 часов.

Материалы на основе магнезиального вяжущего обладают очень высокой, в отличие от других вяжущих, адгезией не только к минеральным, но и к органическим веществам. Введение магнезита в смесь делает материал стойким к гниению.

Магнезиальные вяжущие из каустического магнезита являются воздушными вяжущими, поэтому в воде или воздушно-влажной среде прочность затвердевшего материала падает. При затворении водным раствором

хлористого магния с плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$ через сутки при твердении на воздухе имеет прочность на растяжение не менее $1,5 \text{ МПа}$, через 28 суток – $3,5-4,5 \text{ МПа}$. Прочность на сжатие $30-50 \text{ МПа}$. Различают марки по прочности $400, 500$ и 600 .

Недостатком магнезиального вяжущего является плохая сопротивляемость влаге из-за образования растворимых соединений, образующихся при твердении. Если влажность воздуха достигает 75% , материал начинает сильно набухать.

Каустический магнезиальные порошки обладают свойством поглощать влагу и углекислоту из воздуха, в результате чего образуются $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и MgCO_3 . Поэтому хранить материал можно лишь в хорошо закрытых емкостях. При долгом лежании он начинает терять свои качества. Гидратационные свойства магнезиального вяжущего ухудшаются и требуют отсева скомковавшегося материала.

1.2.2 Изделия на основе магнезиального вяжущего

Магнезиальные цементы применяют для изготовления ксилолита, фибролита, оснований под чистые полы, искусственного мрамора, теплоизоляционных материалов, лестничных ступеней, и других строительных изделий, скульптурных изделий, а также для получения точильных и литографских камней, искусственных жерновов и для ряда других целей.

Ксилолиты – разновидности легкого бетона на магнезиальном вяжущем и органических заполнителях – материалах растительного происхождения. Ксилолиты имеют высокую прочность при сжатии и изгибе, большую сопротивляемость ударным нагрузкам и небольшие водопоглощение и истираемость, стойкость к агрессивным средам. Ксилолит обладает хорошими звукопоглощающими и теплоизоляционными свойствами. Недостатком является возникновение коррозии металлов. Поэтому, в готовых изделиях, металлические элементы должны быть изолированы (зацементированы, покрыты битумным лаком). Традиционно ксилолит применяют для устройства

бесшовных не пылящихся полов. Из ксилолита можно изготавливать стеновые балки, плиты для отделки наружных и внутренних стен, потолков, лестничных ступеней, подоконников, пластинки для мозаичных полов, панели для обшивки ванных комнат.

Фибролит изготавливают из магнезиального вяжущего вещества солевого затворения с наполнителем из костры, древесной шерсти или другого волокнистого органического материала, спрессованных в виде плит. Конструкции из фибролита не подвержены гниению, воздействию грибков, плесени, насекомых и грызунов. Внутри конструкций стен, перекрытий, ограждений не образуется конденсат, что повышает долговечность зданий. Фибролит обладает высокой адгезией к растворам, что обеспечивает легкость любой отделки. Материал безопасен для здоровья человека и окружающей среды. Устойчив к различным атмосферным явлениям и не деформируется от мороза и длительного воздействия влаги. Основными областями применения фибролитовых плит являются строительство и реконструкция зданий, внутренняя отделка помещений, звуко- и теплоизоляция помещений.

Основания под «чистые» полы изготавливаются на основе магнезиального раствора для использования только в закрытых и сухих помещениях.

Искусственный мрамор получают смешиванием каустического магнезита (доломита), бишофита, опилок, добавок повышающих водо- и морозоустойчивость изделий, пигментов. Применяются в сантехнике, облицовочных плитах, строительном погонаже, при отделке различных помещений.

Пено-, газомангезит является хорошим теплоизоляционным материалом. Коэффициент теплопроводности изделий со средней плотностью 350 кг/м^3 колеблется от $0,091$ до $0,112 \text{ Вт/м}^0\text{С}$. Пеномангезит на растворе хлорида магния выдерживает 15-кратное замораживание и оттаивание без признаков разрушения. Магнезиальные пенобетоны со средней плотностью от 600 до 1100 кг/м^3 можно использовать в качестве конструктивно-теплоизоляционных

материалов в виде стеновых блоков, панелей, плит, а также применяются для утепления полов и кровли при надлежащей защите от влаги.

Стекломагнезитовые листы - современные листовые строительно-отделочные материалы. В его состав входят: каустический магнезит, хлорид магния, вспученный перлит и стеклоткань в качестве армирующего материала. Преимуществами являются: влагостойкость, огнестойкость (при толщине листа 8 мм удерживает огонь до 3 часов), огнеупорность (выдерживает нагрев до 3000⁰С), хорошая звукоизоляция. Стекломагнезитовые листы широко применяются для отделки зданий: монтаж стен, перегородок, арок, монтаж подвесных потолков, отделка откосов и устройство полов. Листами отделяют коммуникационные шахты, используют в качестве несъёмной опалубки под лёгкие бетоны, отделяют фасады (как правило, с нанесением дополнительных отделочных материалов).

Магнезиальные полы – полы, выполненные из магнезиального бетона. Магнезиальные полы имеют высокую прочность. Преимуществами магнезиальных полов являются: износостойчивость, отсутствие пылеобразования, масло-, бензостойкость. Прочность на сжатие магнезиальных полов более 50 МПа. После 3 месяцев эксплуатации магнезиальное покрытие набирает до 80–120 МПа [13].

1.2.3 Классическое магнезиальное вяжущее

Отличительной особенностью магнезиальных вяжущих от других вяжущих является то, что их затворяют растворами солей, а не водой [14].

В качестве затворителя наиболее часто используется водный раствор бишофита $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Он производится промышленностью в виде технического плавленого продукта. Из-за хлорида магния получаемые изделия имеют высокую гигроскопичность. Раствор хлорида магния имеет плотность 1,08-1,25 г/см³. Содержание компонентов, масс. %: MgO – 62-67, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ – 33-38.

Сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ входит в состав рапы всех самосадочных озер. Это так называемая горькая соль. Хотя прочность вяжущих, затворенных сульфатом магния, ниже прочности вяжущих, затворенных $MgCl_2$, гигроскопичность их гораздо меньше. Плотность растворов $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, применяемых в качестве затворителя, колеблется от 1,10 до 1,15 г/см³. Соотношение между компонентами по весу: MgO – 80-84, $MgSO_4$ (безводный) – 16-20% [15].

Иногда применяют в смеси с $MgCl_2$ и железный купорос $FeSO_4$. Железный купорос $FeSO_4$ увеличивает водостойкость изделий и снижает их гигроскопичность. Его добавка увеличивает сроки схватывания и уменьшает вероятность появления высолов на готовых изделиях.

1.2.3.1 Оксихлоридное магниальное вяжущее

Впервые опубликованные Сорелем в патенте 1866 года [16] и более подробно разъясненные в журнальной публикации в 1867 году [17], оксихлоридные магниальные цементы первоначально оказались популярными из-за их привлекательного, похожего на мрамор вида. Связующие фазы, соответствующие тем, которые образуются в оксихлоридных магниальных цементах, могут быть синтезированы путем растворения MgO в водном растворе $MgCl_2$, образуя гомогенный гель, из которого осаждаются основные соли хлорида магния. Эти соли часто выражаются в виде $xMg(OH)_2 \cdot yMgCl_2 \cdot zH_2O$ или $xMgO \cdot yMgCl_2 \cdot (z + x)H_2O$.

Способность этих цементах связывать и консолидировать большие количества различных наполнителей, от гранита до опилок, с хорошей прочностью на сжатие и растяжение, способствовала их внедрению. Историческое использование варьировалось от декоративных применений (имитация слоновой кости, бильярдные шары, дверные ручки) до полов, штукатурки, шлифовальных кругов, и даже погребальных хранилищ. Различные источники отмечают широкое использование в качестве заменителя древесины в настиле для судов с начала 1900-х до 1950-х годов, где

огнестойкость и звукоизоляционные свойства были желательны. Однако за последние полвека популярность оксихлоридных цементов резко снизилась из-за их низкой водостойкости и последующей деградации во время эксплуатации.

Как правило, оксихлоридный цемент изготавливается путем объединения MgO, полученного в результате прокаливания магнезита, с наполнителями. Затем эту смесь упаковывают в форму, затворяют раствором MgCl₂ и оставляют затвердевать. Изменение реакционной способности MgO из-за различных примесей и температур прокаливания в сочетании с различными концентрациями раствора MgCl₂ привело к значительной изменчивости образовавшихся продуктов реакции и, следовательно, физических свойств затвердевших цементов. Тепло, независимо от того, применяется ли оно извне или генерируется во время гидратации, изменяет образующиеся фазы, как и карбонизация, что еще больше усложняет обсуждение точных фаз связывания, присутствующих в затвердевших цементах. Фазы, наблюдаемые в оксихлоридных цементах представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Фазы, наблюдаемые в оксихлоридных цементах

Фаза	Состав	Была охарактеризована
3-1-8	$3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	de Wolff and Walter-Lévy [18, 19]
	$3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	
5-1-8	$5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	de Wolff and Walter-Lévy [18]
	$5\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Sugimoto et al.[20]
хлоркарбонат (хлорарнитит)	$\text{Mg}_2\text{CO}_3(\text{OH})\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	de Wolff and Walter-Lévy [19]
	$\text{Mg}_2\text{CO}_3(\text{OH})\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Suigimoto et al.[21]
2-1-2	$2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Dinnebier et al.[22]
2-1-4	$2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Dinnebier et al.[22]
9-1-4	$9\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Dinnebier et al.[23]

Основываясь на развитии этого кристаллографического понимания образовавшихся фаз, также стало возможным проектировать и управлять фазовыми равновесиями в связующих оксихлоридного цемента, в частности, для повышения долговечности и прочности цементов. Высокая прочность

обычно достигается за счет максимизации быстрого образования 5-фазы, в которой долгое время считалось, что блокирующие кристаллические иглы этой фазы являются источником прочности. Однако существуют мнения, что блокировка игл не является основным источником прочности, а скорее, что иглы сформировались в областях пористости, что может привести к раннему застыванию пасты. После заполнения пустот кристаллитами микроструктура оксихлоридного цемента начинает уплотняться, что, как предполагается, является причиной увеличения основной прочности.

Образующиеся при гидратации и твердении фазы являются водорастворимыми, поэтому оксихлоридное магнезиальное вяжущее имеет низкий коэффициент водостойкости и применение его во влажной среде невозможно.

1.2.3.2 Оксисульфатное магнезиальное вяжущее

Цементы на основе оксисульфата магния по своей концепции аналогичны оксихлоридным цементам, за исключением того, что в качестве жидкости затворения вместо $MgCl_2$ используется $MgSO_4$. Аналогичная схема номенклатуры применяется к фазам $xMg(OH)_2 \cdot yMgSO_4 \cdot zH_2O$, однако эти фазы не изоструктурны тем, которые образуются в оксихлоридных цементах с одинаковыми названиями. Как правило, формирование структуры будет соответствовать уравнениям:



(последний при нагревании), хотя также могут быть сформированы несколько других фаз.

История этих цементов началась с патента, выданного в 1891 году Энрихту на «Искусственный камень или цемент» [24], в котором определена комбинация оксида магния, сульфата магния и воды, которая «образует оксисульфат магния, который при высыхании становится очень твердым цементом или камнем».

Окисульфатные цементы приобрели интерес из-за менее гигроскопичной природы сульфата магния по сравнению с хлоридом магния и, следовательно, заявленной превосходной стойкости к атмосферным воздействиям. Это позволило упростить доставку и увеличить срок годности цемента в мешках. Эти цементы, однако, находят меньше применений. Окисульфатные цементы сложнее формовать из-за ограниченной растворимости $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ при комнатной температуре, но при разработке этих материалов на основе сульфатов избегается использование хлоридов, что делает их значительно менее вредными для армирования стали, хотя они все еще имеют плохую водостойкость.

В 1957 г. Демедюк и Коул провели всестороннее исследование системы $MgO - MgSO_4 - H_2O$, проанализировав осадки из насыщенных растворов $MgSO_4$, в которые был добавлен MgO , при температуре от 30 до 120°C [25]. Они идентифицировали четыре окисульфатные фазы магния (3–1–8, 5–1–3, 1–1–5 и 1–2–3), которые входят в число известных фаз, подробно описанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Фазы, наблюдаемые в окисульфатных цементах

Фаза	Состав	Была охарактеризована
3–1–8	$3Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 8H_2O$	Dinnebier et al.[26]
5–1–3 (или 5–1–2)	$5Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ [или $5Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O$]	Demediuk and Cole [25]
1–1–5	$Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 5H_2O$	Demediuk and Cole [25]
1–2–3	$Mg(OH)_2 \cdot 2MgSO_4 \cdot 3H_2O$	Demediuk and Cole [25]
5–1–7	$5Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Runčevski et al.[27]

Образование этих фаз сильно зависит от температуры, как и растворимость $MgSO_4$, которая значительно увеличивается с температурой. Это увеличивает концентрацию $MgSO_4$ в растворе, что позволяет осаждать фазы 1–1–5 и 1–2–3, которые содержат более высокие доли $MgSO_4$. Построение фазовой диаграммы (рис.1.3) выявило несколько условий, при которых могут выпадать в осадок чистые фазы, а также много областей смешанной фазы.

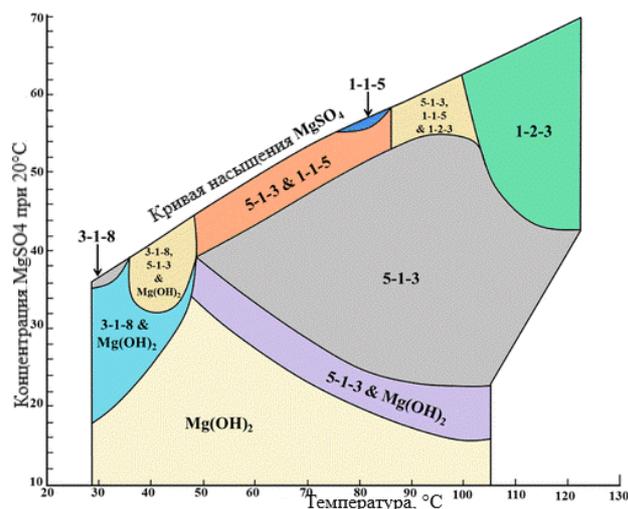


Рисунок 1.3 Фазовые равновесия в системе $\text{MgO} - \text{MgSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$

Особый интерес представляет наличие однофазной области $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при низких концентрациях MgSO_4 , что убедительно показывает, что фазы оксисульфатного цемента не являются водостойкими. Степень нестабильности зависит от температуры, достигая максимума растворимости при $\sim 47^\circ\text{C}$.

1.2.4 Процессы твердения классических магнезиальных вяжущих веществ

Согласно теории А.А. Байкова различают три стадии твердения:

- растворение вяжущего;
- образование насыщенных и пересыщенных растворов;
- коллоидация, кристаллизация.

На начальной стадии процесса происходит гидролиз хлорида магния с образованием соли $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$ и ее дальнейшим гидролизом до $\text{Mg}(\text{OH})_2$:



Образующийся $\text{Mg}(\text{OH})_2$ вместе с MgO участвует в синтезе сложных гидроксидных соединений.

Каустический магнезиальный порошок медленно взаимодействует с водой. В результате MgO растворяется с поверхности зерен и переходит в

раствор, где соединяясь с водой образует менее растворимый в воде $Mg(OH)_2$. Раствор становится пересыщенным относительно $Mg(OH)_2$ и он выпадает из раствора в виде аморфного осадка, покрывающего поверхность зерен MgO . Образующаяся пленка $Mg(OH)_2$ препятствует диффузии воды вглубь зерен MgO .

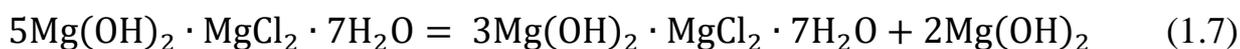


Процесс резко ускоряется и различие в растворимости MgO и $Mg(OH)_2$ также увеличивается в присутствии соли-электролита, например, $MgCl_2$. При этом гидратация основной фазы MgO сопровождается фазовыми изменениями в системе $MgO-MgCl_2-H_2O$ с образованием комплексных соединений.

На заключительной стадии твердения образуются гидроксихлориды магния:



$5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 7H_2O$ метастабилен и превращается в $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 7H_2O$ и вторичный $Mg(OH)_2$, который не связан с гидратацией MgO :



$3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 7H_2O$ кристаллизуется в виде волокон и игл и образует прочный каркас.

За счет увеличения концентрации хлорида магния в затворителе происходит формирование микроконгломератной структуры камня на основе упрочняющих гидроксихлоридных комплексов и частиц минералов (рис. 1.4)

Первоначальные кристаллы $Mg(OH)_2$ и мелкие кристаллы вторичного $Mg(OH)_2$ уплотняют каркас придавая высокую прочность магниальному вяжущему.

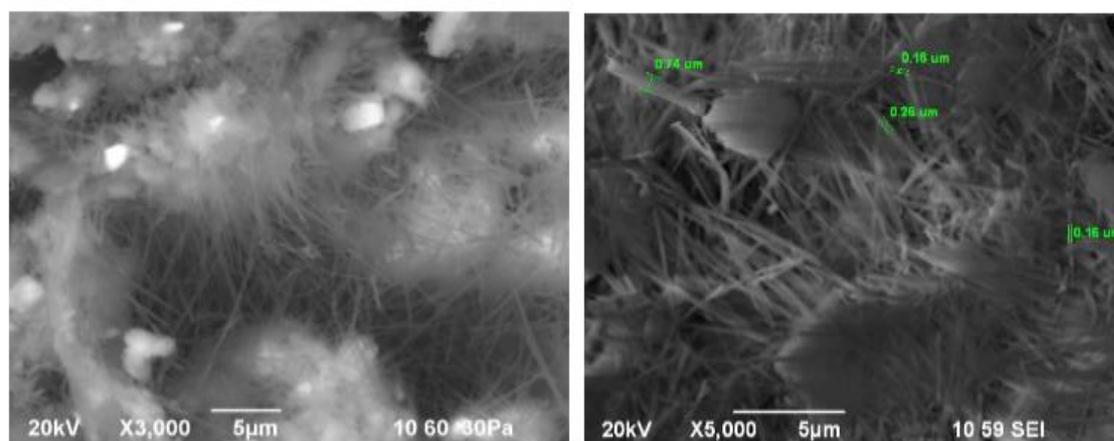


Рисунок 1.4 Микроструктура камня оксихлоридного магниезиального вяжущего

1.2.5 Водостойкость изделий на основе магниезиального вяжущего

Основной причиной сокращения использования классических магниезиальных вяжущих является подверженность этих материалов вредным процессам, вызванным воздействием влаги. Во влажных условиях связующие фазы растворяются в растворе $Mg(OH)_2$ и $MgCl_2$, что приводит к потере прочности цемента. Чжоу и соавторы выяснили, что 3-я фаза ($3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ и $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$) является нестабильной в растворе с молярностью $Mg < 2,25$ моль/кг, тогда как 5-я фаза ($5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ и $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$) нестабильна для Mg с молярностью 1,47 моль/кг [28].

Водостойкость магниезиального камня можно повысить прямой защитой изделий от воды или формированием водостойкой структуры [29, 30]. В прошлом, на рубеже 20-го века изделия защищали от влаги с помощью введения пропитанных парафином опилок [31]. В настоящее время наиболее перспективным для повышения водостойкости магниезиального камня является применение гидравлических добавок в виде портландцемента, кремнеземсодержащих добавок [32, 33], шлаков [34, 35], а также зол ТЭЦ и других видов минеральных добавок [36]. Эти добавки вводят в количестве от 5 до 20% от массы магниезиального вяжущего [37].

Многообещающей разработкой являлось использование небольших количеств фосфатов для улучшения стабильности фаз. Было обнаружено, что

фосфаты значительно улучшают прочность на сжатие: до 96% прочности при воздушном твердении сохранялось, когда было добавлено 0,74 мас.% H_3PO_4 , по сравнению с 6,4% сохранения прочности для образцов без добавки. Это не было связано с образованием нерастворимых фосфатов магния; скорее, было отмечено, что фосфаты снижают уровень свободных ионов Mg^{2+} , необходимых в растворе, и, таким образом, стабилизируют 5-ю фазу [38].

1.2.6 Гидравлическое магниальное вяжущее

Из-за низкой водостойкости и образования водорастворимых соединений в классических магниальных вяжущих возникает необходимость в создании новых затворителей, которые решили бы эти проблемы [39].

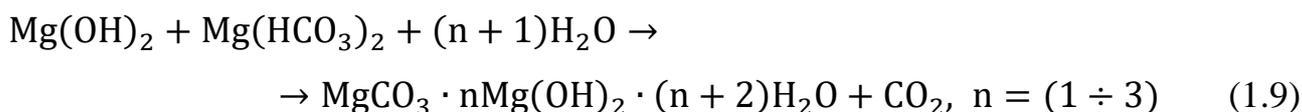
Лотов В.А. и Лотова Л.Г. предложили использовать в качестве жидкости затворения – бикарбонат магния. В результате образуются продукты гидратации с предельно малой растворимостью в воде и формируется структура с прочностью, не уступающей прочности изделий известного состава. Также появляется возможность использовать лежалый каустический магнезит [40].

Раствор бикарбоната магния (БКМ) получают путем растворения в воде магнезита при повышенном давлении. Концентрация раствора составляет 10–13 г/л.

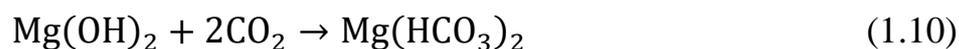
При взаимодействии каустического магнезита с водным раствором $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ сначала протекает реакция гидратации:



Образовавшийся гидроксид магния далее взаимодействует с БКМ по реакции:



В результате образуется гидрат гидрокарбоната магния и диоксид углерода, который взаимодействует с избытком гидроксида магния. Получается вторичный бикарбонат магния:



Вторичный бикарбонат магния взаимодействует с гидроксидом магния по реакции (1.9) с образованием новой порции гидрата гидрокарбоната магния. И далее вместе с гидроксидом магния образует первичные продукты гидратации магнезиального цемента, обеспечивающих его твердение в процессе перекристаллизации первичных коллоидных продуктов в кристаллическое состояние.

Отсутствие растворимых соединений в цементном камне из такого вяжущего предопределяет его повышенную водостойкость с коэффициентом водостойкости более 1, и такой цементный камень твердеет с увеличением прочности не только в воздушной среде с относительной влажностью более 75 %, но и в воде после предварительного твердения на воздухе в течение 3 суток [40].

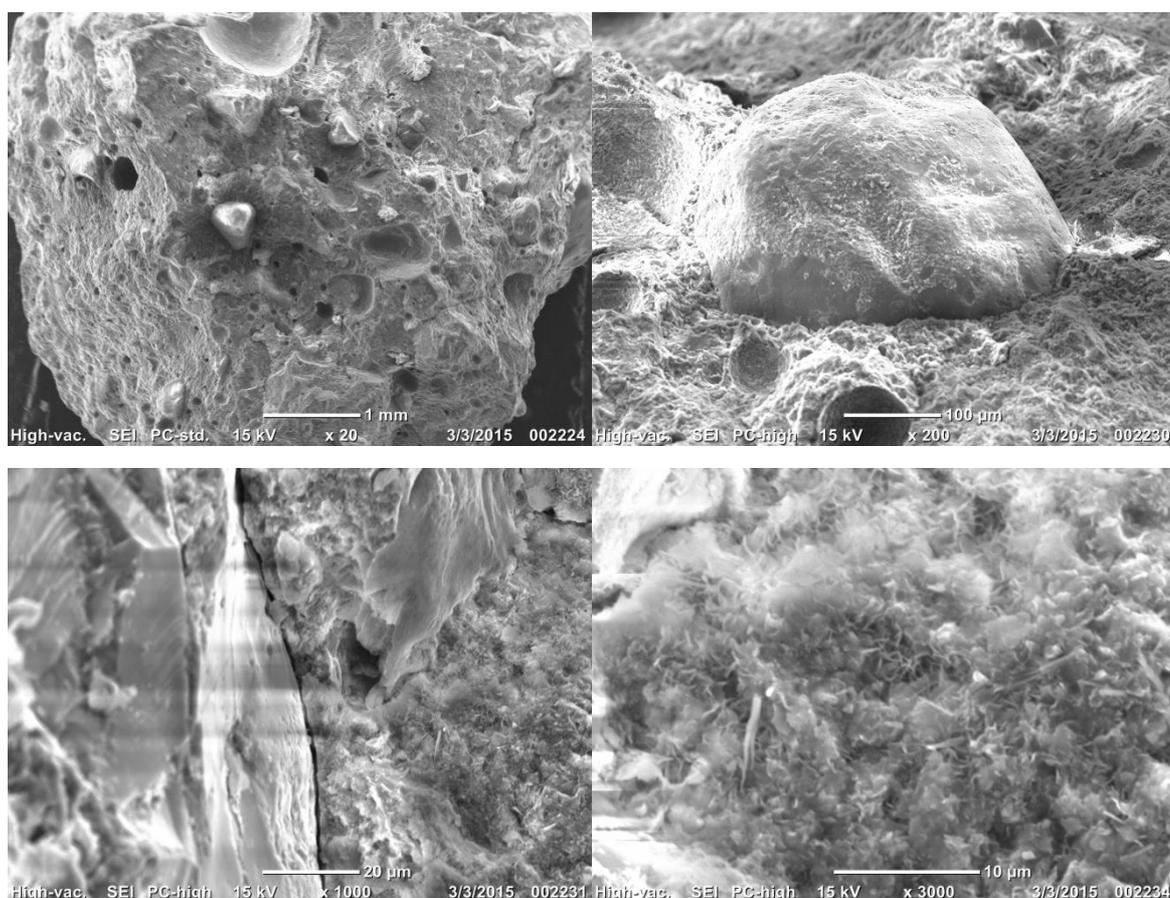


Рисунок 5 Микрофотографии магнезиальной композиции с мелким заполнителем, твердевшей в воде

При твердении в воде магнезиально-песчаной композиции, образуются, кроме кристаллических фаз $MgCO_3$ и $Mg(OH)_2$, кристаллы гидрокарбоната магния в виде листоватых пластинчатых кристаллических образований, имеющих, однако, низкую закристаллизованность. Зерна заполнителя плотно встроены в цементную матрицу.

1.2.7 Качество каустического магнезиального порошка и его влияние на свойства изделий

На реакционную способность MgO в значительной степени влияют его размер частиц и распределение по размерам, поверхностный дефект и площадь поверхности, а также термическая история. Измерения вышеуказанных свойств магнезии являются трудоемкими, дорогостоящими, а иногда даже невозможными из-за отсутствия информации и надлежащих инструментов на участках конечных применений. Прежде всего, нет четкого определения реакционной способности MgO и непротиворечивой характеристики MgO , непосредственно связанной с характеристиками материалов на основе магния, особенно для применений в классическом магнезиальном вяжущем. Следовательно, способ измерения реакционной способности MgO будет ключом к дальнейшему развитию и успеху его промышленного применения.

1.2.7.1 Влияние содержания активного MgO на качество оксихлоридного магнезиального вяжущего

Установлено, что качество, в частности реакционная способность каустического магнезиального порошка, может варьироваться настолько сильно, что это может значительно повлиять на обрабатываемость и эксплуатационные качества конечных продуктов на основе оксида магния.

Гидравлическая активность минерального состава вяжущего зависит от технологических режимов термообработки.

При обжиге породы особенно важным является соблюдение оптимального режима обжига, недопущение недожога или пережога породы.

Ранее проведенные исследования влияния режима обжига показывают, что обжиг следует проводить до степени декарбонизации $Mg(CO)_3$ 92-95%. При этом температура обжига должна быть от 660 до 800°C. Выбор температурного режима зависит от времени обжига. Для температуры 660°C время обжига составляет 210 минут, для температуры 800°C – 45 минут [11]. При этом формирующиеся частицы оксида магния должны обладать определенной степенью кристалличности и размером кристаллов до 35-43 нм. Содержание активного оксида магния близкое к 100 % в магнезиальном вяжущем нежелательно в связи с возможностью возникновения трещин при гидратации, так как образование гидроксида магния протекает с большим увеличением объема. Наиболее прочный бездефектный магнезиальный оксихлоридный камень получают при содержании 75-85% активного MgO и с остатком недоразложившихся частиц карбоната магния с высокодефектной структурой [41].

При недостаточной температуре обжига будет наблюдаться большое количество неразложившегося магнезита (10% и выше), который не обладает гидравлической активностью. Также при недостаточном обжиге образуется аморфный оксид магния, обладающий крайне высокой активностью. Магнезиальное вяжущее твердеет мгновенно и полученный магнезиальный камень растрескивается. При взаимодействии сверхактивного оксида магния с затворителем образуются гидрооксихлориды магния, происходит уменьшение концентрации затворителя, который реагируя с оставшимся оксидом магния образует непрочные структуры из гидроксида магния. При этом образуется неоднородная кластерная структура. Внутри каждого кластера находятся прочные гидрооксихлориды магния, а по мере приближения к поверхности кластера преобладает непрочный гидроксид магния. Между кластерами остаются прослойки жидкости, при испарении которых происходит усадка и растрескивание магнезиального камня.

При проведении обжига выше оптимальной температуры происходит полная декарбонизация $Mg(CO)_3$, образуется оксид магния в виде периклаза, который обладает низкой активностью и также приводит к растрескиванию камня вяжущего при твердении. Периклаз отличается изотропностью, более высокой микротвердостью и крупнокристаллической структурой. Взаимодействие с затворителем происходит медленно и не полностью, преимущественно по поверхности частиц. В результате в такой неэластичной структуре создаются внутренние напряжения, приводящие к растрескиванию магнезиального камня [42].

1.2.7.2 Использование «лежалого» каустического магнезиального порошка в качестве гидравлического магнезиального вяжущего

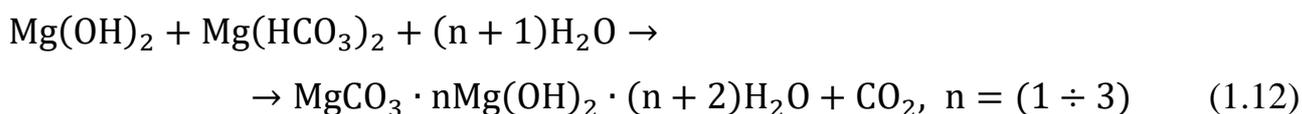
Каустический магнезит способен поглощать влагу и углекислоту из воздуха. Поэтому каустический магнезит необходимо упаковывать в плотную тару, иначе гидратационные свойства классического магнезиального вяжущего ухудшаются.

Преимуществом гидравлического магнезиального вяжущего является возможность использования порошка лежалого каустического магнезита с содержанием активного оксида магния 40-80%.

Порошок лежалого каустического магнезита может содержать в своем составе кроме MgO также $Mg(OH)_2$ и $MgCO_3$, образующихся при взаимодействии MgO с влагой и углекислотой воздуха. Примеси $Mg(OH)_2$ и $MgCO_3$ в данном случае не снижают активности взаимодействия порошка лежалого магнезита с раствором бикарбоната магния, так как взаимодействие $Mg(OH)_2$ с бикарбонатом магния протекает по реакциям (1.9, 1.10), а $MgCO_3$ взаимодействует с диоксидом углерода, образующимся при протекании реакции (1.10), по реакции:



и получаемый бикарбонат магния по реакции (1.11) взаимодействует с $Mg(OH)_2$ по реакции (1.12).



Данные результатов испытаний свидетельствуют, что наибольшую прочность имеют образцы на основе магнезиального порошка с пониженным содержанием активного оксида магния - «лежалый» каустический магнезит. Это объясняется тем, что для формирования гидрокарбонатной структуры гидравлического магнезиального камня необходимо неперенное образование гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в слабозакристаллизованном состоянии проявляющем большую активность как по отношению к бикарбонатной составляющей магнезиальной вяжущей композиции (реакция 1.9), так и по отношению к углекислому газу CO_2 воздуха. Поэтому частично прогидратированный за счет влаги воздуха каустический магнезиальный порошок показывает хорошие результаты по прочности. Присутствие недоразложившихся частиц карбоната магния MgCO_3 и частичная карбонизация из воздуха дает при затворении водным раствором бикарбоната магния дополнительные упрочняющие карбонатные фазы в гидравлическом магнезиальном камне. Особенно это проявляется при твердении гидрокарбонатного магнезиального вяжущего в воде. Водная среда благоприятствует постоянному образованию гидроксида магния, обеспечивая реакционную способность системы [42].

1.3 Предпосылки исследований

Из анализа литературных данных следует, что использование магнезиальных вяжущих и изделий на их основе мало распространено из-за низкой водостойкости классического магнезиального вяжущего и склонности его к растрескиванию. Но эта проблема была решена с применением новой жидкости затворения – раствора бикарбоната магния и перевода магнезиальных вяжущих в разряд гидравлических.

Учеными доказано, что для получения качественного оксихлоридного магнезиального камня необходимо наличие недоразложившегося $\text{Mg}(\text{CO})_3$ в

пределах от 5 до 8%, MgO с размером кристаллов до 35-43 нм и количеством активного MgO 75-85%. Для водостойкого гидравлического магнезиального вяжущего данные факторы также применимы, но так как происходит реакция взаимодействия с $Mg(HCO_3)_2$, возможно, в каустическом порошке необходимо присутствие $Mg(OH)_2$.

Каустический магнезиальный порошок является гигроскопичным материалом, при взаимодействии с влагой и углекислотой воздуха, возможна гидратация и карбонизация. Примеси $Mg(OH)_2$ и $MgCO_3$ могут не снижать активности взаимодействия порошка с раствором бикарбонатом магния. Вопрос заключается в том, какое количество $Mg(OH)_2$ и $MgCO_3$ допустимо.

Гидравлическая реакционная активность минерального состава вяжущего зависит от технологических режимов термообработки. В связи с этим целью магистерской диссертации является установление влияния фазового состава каустического магнезиального порошка на качество водостойкого гидравлического магнезиального вяжущего. Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- определить активность заводских каустического магнезита и каустического брусита;
- определить активность свежееобожженных порошков каустического магнезита и каустического брусита при различных температурах;
- установить влияние активности на прочностные характеристики

РАЗДЕЛ 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика используемых материалов

2.1.1 Магнезит

Для исследований был использован магнезит Савинского месторождения. Химический состав породы магнезита представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Химический состав породы магнезита

Содержание оксидов, масс.%						
MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Δm _{пр}	Сумма
46,88	0,85	1,60	0,80	0,59	50,26	101,27

Данные об основных кристаллических фазах породы магнезита представлены на рентгенограмме рисунка 2.1.

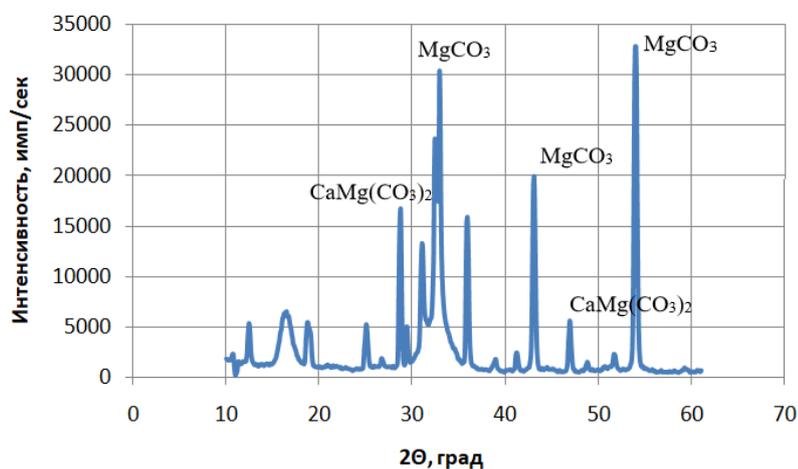


Рисунок 2.1 Рентгенограмма породы магнезита

Согласно рентгенограмме, в породе магнезита присутствуют примеси доломита CaMg(CO₃)₂.

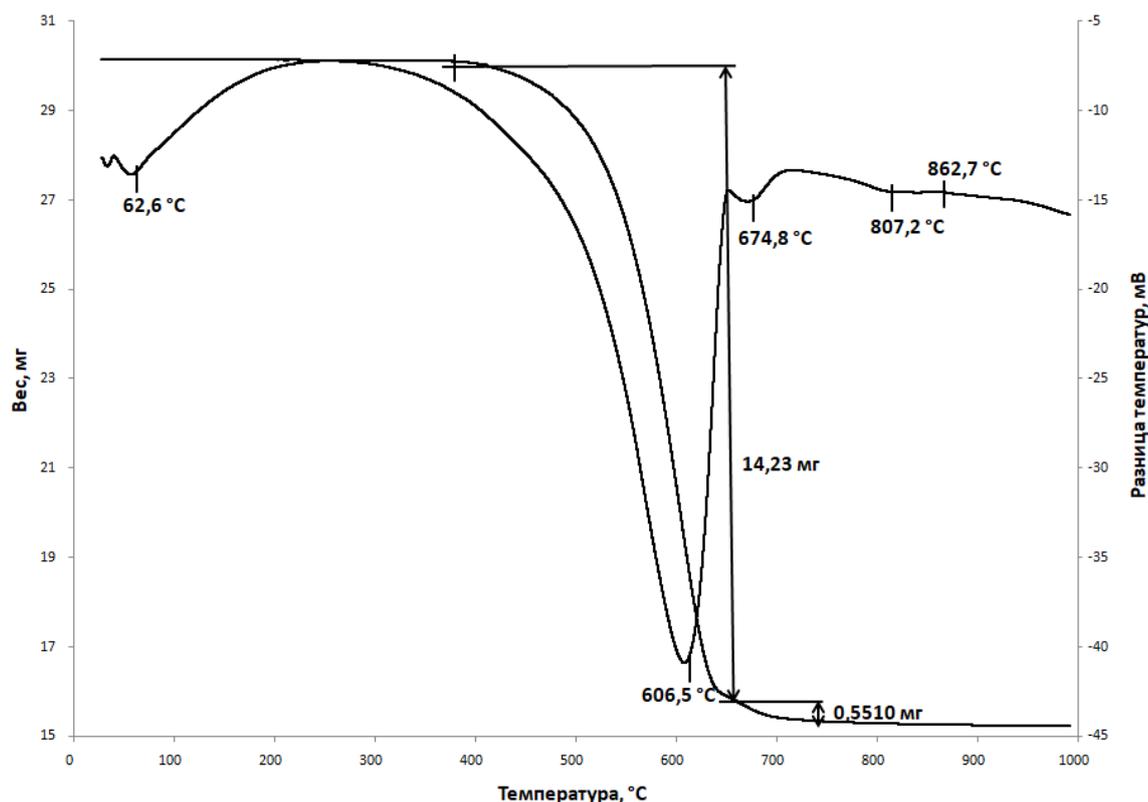


Рисунок 2.2 Термограмма породы магнезита

Из данных термоанализа (рис. 2.2) видно, что при температуре 606,5-674,8, 807,2°C происходит разложение магнезита с образованием оксида магния.

2.1.2 Брусит

Месторождения мономинеральных бруситов в мире очень редки (единицы). В основном бруситы являются вторичными породами при добыче магнезита. Химический состав породы брусита представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Химический состав породы брусита

Содержание оксидов, масс.%						
MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Δm _{пр}	Сумма
63,91	1,06	1,90	0,19	2,00	30,94	100,00

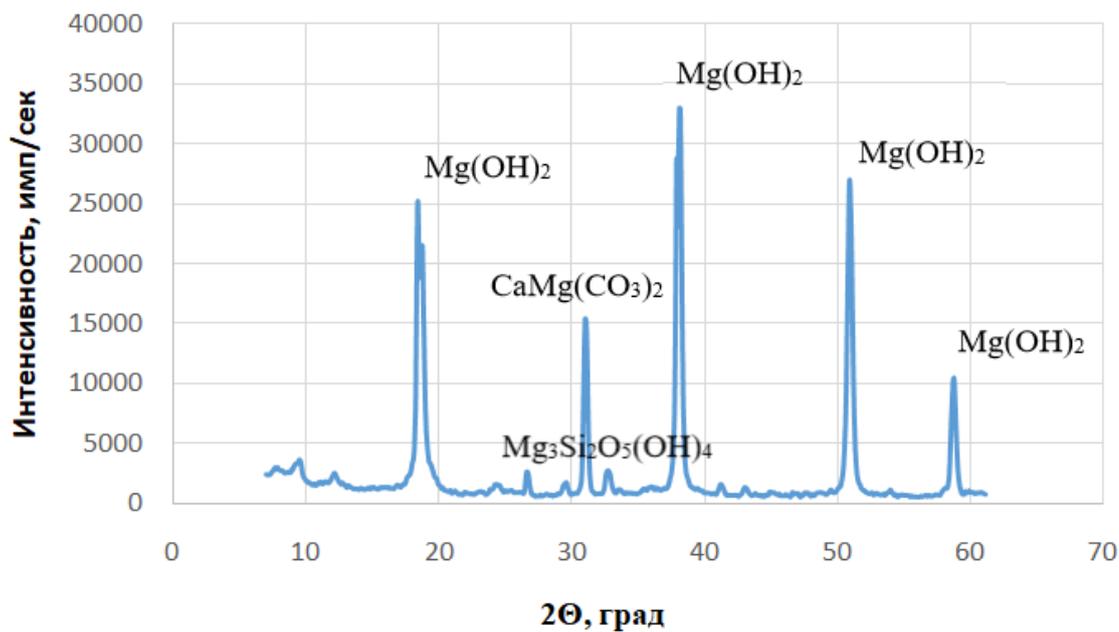


Рисунок 2.3 Рентгенограмма породы магнезита

Согласно рентгенограмме, в породе брусита присутствуют примеси доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и клинохризотила $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

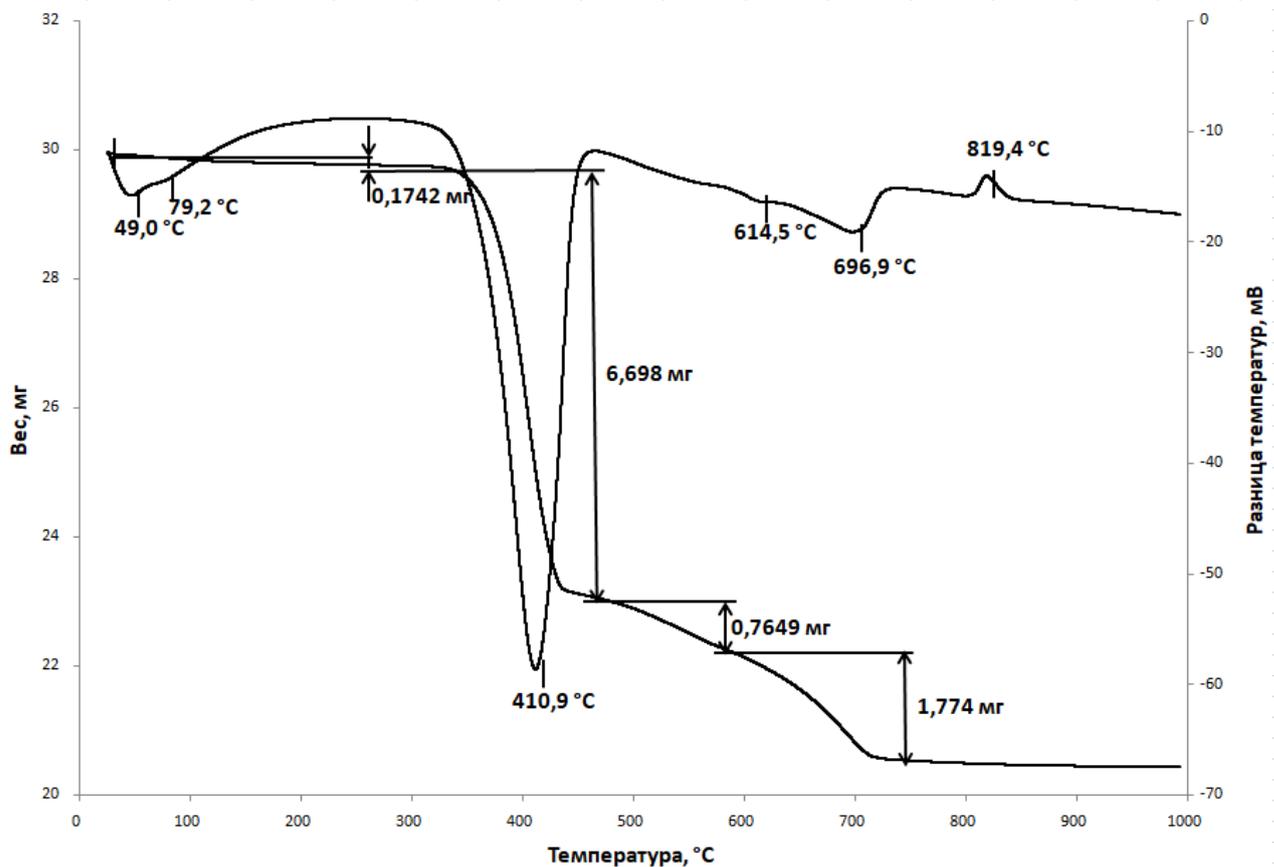


Рисунок 2.4 Термограмма породы брусита

Термоанализ пробы брусита (рис. 2.4) показывает, что при температуре 410,9°С происходит процесс дегидратации брусита $Mg(OH)_2$. Также обнаруживаются два небольших эндотермических эффекта при 614,5 и 696,9°С, соответствующие декарбонизации примеси доломита. При температуре 819,4°С наблюдается экзотермический эффект, который говорит о присутствии в незначительном количестве клинохризотила, который при данной температуре превращается в форстерит.

2.1.3 Каустический магнезит

Для исследований использовался каустический магнезиальный порошок Савинского месторождения Иркутской области. Порошок изготавливают методом обжига при 800°С на предприятии ООО «Сибирские порошки» в г. Иркутск. По ГОСТ 1216-87 полученный порошок соответствует марке ПМК – 75. Химический состав представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Химический состав каустического магнезита

Содержание оксидов, масс.%						
MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Δm _{пр}	Сумма
78,6	4,5	2,5	2,8	0,35	16,5	101,25

2.1.4 Каустический брусит

Для исследований использовался каустический брусит Савинского месторождения Иркутской области. Порошок изготавливают методом обжига при 600°С на предприятии ООО «Сибирские порошки» в г. Иркутск. Химический состав представлен в таблице 2.4. Специальные технические требования к бруситу отсутствуют, поэтому о качестве получаемых из него продуктов судят по требованиям к продуктам, изготовленным из магнезита.

Таблица 2.4 – Химический состав каустического брусита

Содержание оксидов, масс.%						
MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Δm _{пр}	Сумма
92,54	1,53	2,75	0,28	2,90	-	100,00

2.1.5 Жидкость затворения

Для получения образцов использовалась жидкость затворения – раствор бикарбоната магния. Раствор бикарбоната магния (БКМ) получают путем растворения в воде магнезита при повышенном давлении. Концентрация раствора составляет 10–13 г/л.

При нормальных условиях бикарбонат магния нестабилен, и на воздухе отщепляется CO₂, что приводит к его разложению. При получении водного раствора бикарбоната магния необходимо учитывать, что его содержание необходимо осуществлять при постоянном давлении углекислого газа.

Взаимодействие оксида магния с водой и углекислым газом происходит по реакциям:



Образовавшиеся гидроксид магния и карбонат магния также вступают в реакцию и образуют бикарбонат магния по следующим реакциям:



Также одновременно с этими реакциями образуется угольная кислота, которая затем взаимодействует с MgO, в результате чего образуется вода и бикарбонат магния [43].

2.2 Методы исследования

2.2.1 Активность каустических магнезиальных порошков по ГОСТ 22688-77

Специальные нормативные документы к методам испытания каустических магнезиальных порошков отсутствуют. Поэтому используют стандарты на другие продукты. В данном случае используют ГОСТ 22688-77. Известь строительная. Методы испытаний.

Подготовка пробы каустических порошков должна проводиться в соответствии с ГОСТ 1216 – 87. Порошки магнезитовые каустические. Используемая посуда должна соответствовать ГОСТ 1770-74.

Применяемые реактивы и растворы:

- HCl 1N по ГОСТ 3118-77
- Трилон Б 0,1N по ГОСТ 10652-73
- H₂O_{дист}
- аммиачный буферный раствор pH = 10
- индикатор хром-темносиний
- триэтаноламин
- 20% КОН
- индикатор эриохром черный

Определение содержания активной окиси магния проводят трилонометрическим методом.

Подготовка к испытанию:

Для установки титра трилона Б приливают из бюретки 20 мл 0,1N титрованного раствора сернокислого магния, в коническую колбу вместимостью 250-300 мл, разбавляют раствор до 100 мл водой, нагревают до 60-70°C, приливают 15 мл аммиачного буферного раствора и 5-7 капель кислотного хром темно-синего индикатора и титруют 0,1N раствором трилона Б при интенсивном помешивании до перехода красной окраски раствора в устойчивую синюю с зеленоватым оттенком.

Титр 0,1N раствора трилона Б, выраженный в MgO, вычисляют по формуле:

$$T_{\text{MgO}} = \frac{20 \cdot 0,002016}{V}, \quad (2.5)$$

где: V - объем 0,1N раствора трилона Б, пошедший на титрование 20 мл 0,1N раствора сернокислого магния, мл; 0,002016 - количество окиси магния, соответствующее 1 мл точно 0,1N раствора трилона Б, г [44].

2.2.2 Активность каустических магниальных порошков по лимонному числу

Активность по лимонному числу - условная величина, позволяющая характеризовать скорость реакции гидратации оксида магния. Лимонное число – это время в секундах, необходимое для нейтрализации стандартного количества лимонной кислоты в водной среде, содержащей оксид магния.

Подготовка пробы на химический анализ ведется по ГОСТ 2642.0-86. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Общие требования к методам анализа.

Средства измерений, вспомогательное оборудование и материалы:

- Весы лабораторные высокого класса точности по ГОСТ 24104-2001;
- Посуда лабораторная по ГОСТ 1770-74;
- Магнитная мешалка, обеспечивающая необходимый режим скорости вращения;
- Кислота лимонная по ГОСТ 3562-79;
- Бензонат натрия;
- Фенолфталеин спиртовой раствор 0,1%

Подготовка к испытанию:

Стандартный раствор лимонной кислоты готовят следующим образом: 5,6 г лимонной кислоты, 0,25 г бензоната натрия и 2 мл 0,1% раствора фенолфталеина растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до литра (мерная колба вместимостью 1000 см³). Бензонат натрия вводят как консервирующий агент, при приготовлении больших объемов раствора.

Режим скорости вращения мешалки устанавливают следующим образом: на стакан наносят отметки верхней и нижней границы воронки, образующейся при вращении. Глубина воронки – расстояние между верхней и нижней границами должна составлять $(2\pm 0,1)$ см [45].

2.2.3 Предел прочности на сжатие образцов

Поскольку в лаборатории отсутствуют машина МИИ-100 и рычажный прибор Михаэлиса с приспособлением для определения предела прочности на сжатие, используют гидравлический пресс (рис.2.1)

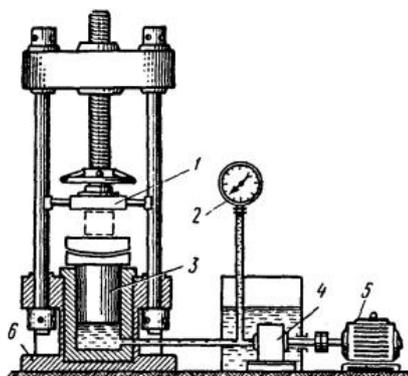


Рисунок 2.1 Схема гидравлического пресса для испытаний строительных материалов на прочность при сжатии: 1 – опорные части, 2 – силоизмерительное устройство, 3 – плунжер, 4 – насос высокого давления, 5 – электродвигатель, 6 – станина

Испытание каустического магнезита для определения предела прочности при сжатии выполняется на малых образцах твердеющих 28 суток.

Предварительно готовится магнезиальное тесто, которое тщательно перемешивается и выкладывается в силиконовые формы. Образцы оставляются в формах для предварительного твердения на 24 часа в условиях воздушно-сухой среды, затем образцы подвергаются распалубке и помещаются для окончательного твердения в водную и воздушно-влажную среду.

2.2.4 Рентгенофазовый анализ (РФА)

Данный вид анализа предназначен для исследования фазового состава кристаллических силикатных материалов. При помощи этого метода можно

провести качественный и количественный фазовый анализ, определить параметры элементарной ячейки, исследовать фазовые превращения, которые происходят под воздействием термообработки.

Физический смысл РФА заключается в рассеянии рентгеновских лучей при прохождении через кристаллическую решетку вещества. Необходимым условием дифракции рентгеновских лучей является уравнение Вульфа – Бреггов:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta, \quad (2.6)$$

где: λ – длина волны рентгеновского луча, нм; n – порядок отражения; d – межплоскостной интервал, нм; θ – угол падения рентгеновского луча, град.

Рентгенофазовый анализ выполняется на установке ДРОН-3М, где применяется рентгеновская трубка БСВ – 29 с $\text{Cu}_{K\alpha}$ – излучением ($2\theta = 10-90$ град.), точность съемки 1000, 2000, напряжение анод-катод 35 кВ, анодный ток 25 мА, скорость вращения гониометра 4 град/мин.

2.2.5 Комплексный термический анализ

Данный метод позволяет исследовать и выявлять химические реакции и фазовые переходы, которые происходят в веществе при нагревании и охлаждении по термическим эффектам, сопровождающим эти изменения.

Дифференциально-термический анализ основан на сопоставлении термических свойств исследуемого вещества и термически инертного вещества, которое принимается в качестве эталонного. Параметром, регистрируемым прибором, служит разность температур образца и эталона, изменяющаяся при нагревании и охлаждении образца с постоянной скоростью. Дифференциально-сканирующая калориметрия отличается от дифференциально-термического анализа тем, что позволяет фиксировать тепловой поток, который характеризует происходящие в веществе изменения при нагреве.

Термогравиметрия – метод термического анализа, основанный на регистрации изменения массы образца от температуры. Получаемая зависимость позволяет сделать выводы о составе и термической стабильности

образца. Этот метод эффективен в случаях, где образец при нагревании выделяет летучие вещества в результате химических, физических и физико-химических процессов.

Для проведения термического анализа в работе использовался дифференциально-термический анализатор STA 449 F3 Jupiter фирмы «NETZSCH», представляющий собой сопряженный ДСК-ТГ прибор.

РАЗДЕЛ 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время во всем мире актуальными проблемами являются рациональное природопользование, а также энергоэффективность и энергосбережение. В нашей стране эти темы также немаловажны и относятся к приоритетным направлениям развития науки и техники Российской Федерации, с учетом прогноза развития до 2030 года[1].

Использование магнезиальных вяжущих и материалов на их основе отвечает требованиям современности и имеет значительные перспективы развития, связанные с уникальными свойствами магнезиальных материалов.

Основным сдерживающим фактором развития являются проблемы качества производимых в настоящее время магнезиальных вяжущих и материалов, которые связаны главным образом с генетически и технологически обусловленной неоднородностью состава и свойств сырья, высокой чувствительностью свойств вяжущих к режиму обжига сырья, а также с высокой стоимостью из-за значительных энергетических затрат на производство.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Сегментирование рынка по услуг по продаже полов на основе магнезиального вяжущего производят по критериям: вид продукции, способ приобретения.

В таблице 4.1 показано, какие ниши на рынке услуг по продаже полов на основе магнезиального вяжущего не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по продаже полов на основе магнезиального вяжущего

Критерий		Способ приобретения		
		Заказ через корпоративный сайт (интернет-каталоги определенной фирмы)	Заказ через интернет-магазин (поставщики продукции различных производителей)	Покупка товара в специализированных магазинах
Вид продукции	Промышленные полы			
	Жилищно-гражданские полы			
	Декоративные мозаичные полы			

ООО «Альфапол»
 ООО «Декопол»

Из анализа карты можно сделать вывод, что жилищно-гражданские полы и декоративные мозаичные полы выпускаются обеими фирмами и продажа осуществляется всеми способами, и поэтому существует высокая конкуренция. Промышленные полы выпускаются только одной компанией, и продажа осуществляется только одним способом. Следовательно, в данном случае, среди компаний конкуренция низкая.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разрабатываемый объект. Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки и

определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 –слабая позиция, а 5 –сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность				
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}		
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6		
Экологичность	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8		
Долговечность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3		
Надежность	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2		
Безопасность	0,2	5	5	4	1	1	0,8		
Простота эксплуатации	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4		
Декоративные свойства	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5		
Итого	1	31	28	25	4,5	4,1	3,6		
Экономические критерии оценки эффективности									
Конкурентоспособность продукта	0,14	3	5	4	0,42	0,7	0,56		
Уровень проникновения на рынок	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3		
Цена	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3		
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3		
Послепродажное обслуживание	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2		
Финансирование научной разработки	0,12	3	4	2	0,36	0,48	0,24		
Срок выхода на рынок	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5		
Наличие сертификации разработки	0,14	5	5	5	0,7	0,7	0,7		
Итого	1	31	30	25	3,98	3,78	3,1		

Конкурент 1 - ООО «Альфапол»

Конкурент 2 - ООО «Декопол»

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B \cdot B, \quad (4.1)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$K_K = \frac{K_{\phi}}{K_{\text{кр}}} = \frac{3,98}{(3,78+3,1)/2} = 1,16 \quad (4.2)$$

Так как $K_K > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно.

1.1.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Причинно-следственная диаграмма по получению газобетона представлена на рис.4.1. Данная диаграмма помогает выявить основные причины возникновения проблем, анализ и структурирование процессов на предприятии, оценить причинно-следственные связи. Анализ причин и решения проблемы сведены в таблицу 4.3

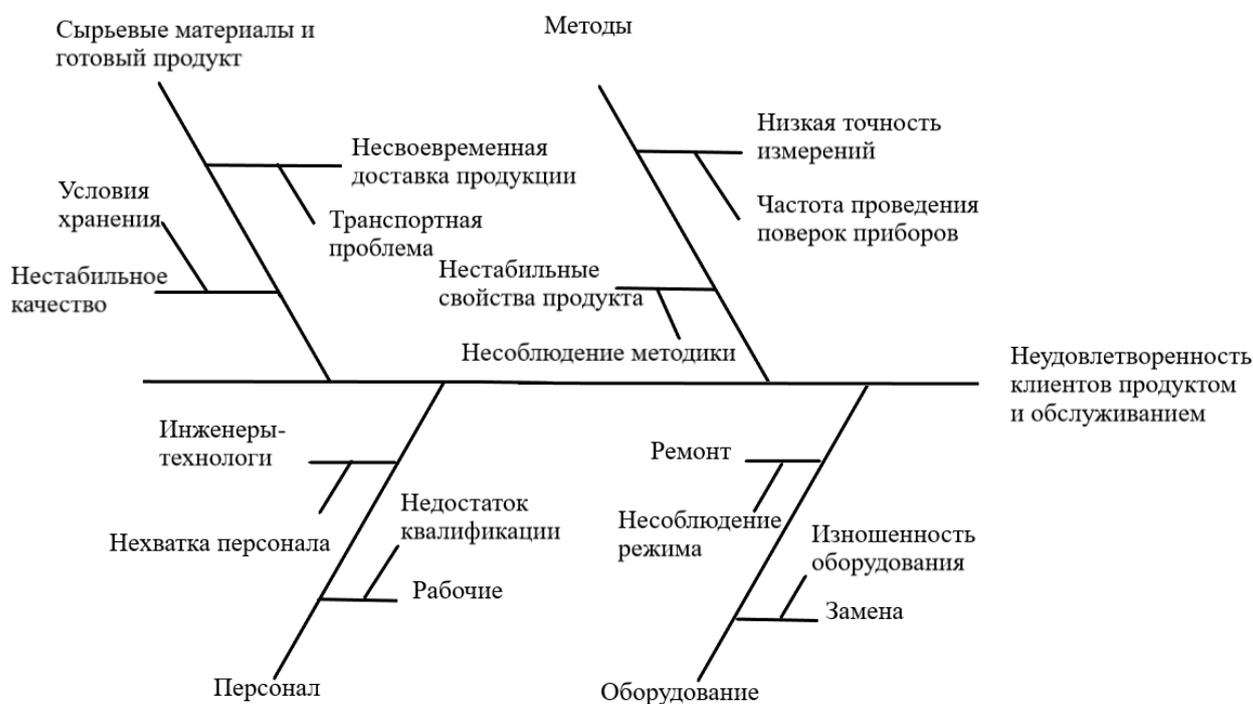


Рисунок 4.1 Причинно-следственная диаграмма

Таблица 4.3 - Анализ причин и решения проблемы некачественной продукции

Категория	Причина	Решение
Сырьевые материалы и готовая продукция	Нестабильное качество	Соблюдать условия хранения, использовать более современные емкости для хранения
	Задержки с поставками	Поиск других поставщиков, способов доставки продукции
Методы	Нестабильные свойства продукта	Соблюдение методик технологии производства
	Низкая точность измерений	Своевременное проведение проверок приборов
Персонал	Низкая квалификация рабочих	Повышение квалификации
	Нехватка квалифицированного персонала инженеров-технологов	Прием на работу
Оборудование	Ремонт поломок	Соблюдение режима работы, качественное и своевременное техобслуживание
	Замена	Соблюдение режима работы для уменьшения износа

4.1.3 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). В таблице 4.4 показаны оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

Таблица 4.4 – Оценки степени готовности научного 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	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
12.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
13.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	65	57

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.3)$$

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. Разработка считается перспективной, так как значение и знания разработчика являются достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации можно предложить *инжиниринг*. Данный вид коммерциализации предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Выбор данного метода коммерциализации обусловлен тем, что по окончании разработки усовершенствования технологии строительного материала на основе гидравлических магниезиальных вяжущих, планируется сотрудничество с лицом, предоставлявшим сырье для исследований – ООО «Сибирские порошки». Данное предприятие заинтересовано в выпуске не только исходного сырья, но и готовых строительных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

1.2 Инициация проекта

4.2.1 Цели и результаты проекта

Проект выполняется Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в интересах ООО «Сибирские порошки». В данном разделе приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 4.5 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта - это заказчик и исполнитель, и их ожидания относительно результатов проекта. Также в таблице 4.6 сформулированы цели проекта и требования к его результатам.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «Сибирские порошки»	Усовершенствование технологического процесса, улучшение свойств продукта

Таблица 4.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Изучить влияние состава каустического магнезиального порошка на свойства изделий из магнезиального цемента. Выявить оптимальную температуру технологического процесса, при которой будут достигаться наилучшие результаты по химической активности магнезиального порошка, прочности изделий из магнезиальных вяжущих и наименьший расход энергоресурсов
Ожидаемые результаты проекта:	Усовершенствование технологического процесса и свойств продукта на основе магнезиального вяжущего
Критерии приемки результата проекта:	Улучшение свойств изделий на основе магнезиального вяжущего
Требования к результату проекта:	Требование:
	Предел прочности при сжатии должен соответствовать требованиям ГОСТ 10178—85

4.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Информация об организационной структуре представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, ч
1	Митина Н.А., НИ ТПУ, к.т.н., доцент	Руководитель	Выбор направления исследований, формулировка темы, консультации и обсуждение полученных результатов	536
2	Пильникова В.О., НИ ТПУ, магистрант	Исполнитель	Разработка плана работ, выполнение работ, обсуждение полученных результатов	920
Итого				1456

4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 4.8 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1 000 000
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	10.01.2019 – 1.06.2019
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10. 01.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	02. 06.2019
3.3. Прочие ограничения и допущения*	Время использования научного оборудования

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Научно-исследовательскую работу можно разделить на отдельные части (этапы), содержание которых определяется спецификой темы. Как правило, НТИ включает в себя следующие этапы:

Подготовительный этап. К этому этапу относится сбор и изучение литературных данных, составление литературного обзора по выбранной тематике, подготовка рабочего места, подготовка исходных веществ и вспомогательных веществ.

Экспериментальный этап. Этот этап включает непосредственное проведение цикла экспериментов и обработку полученных результатов.

Обсуждение результатов, вывод о проделанной работе.

Заключительный этап. Выполнение графической части, оформление пояснительной записки.

Иерархическая структура НТИ представлена на рисунке 4.2.

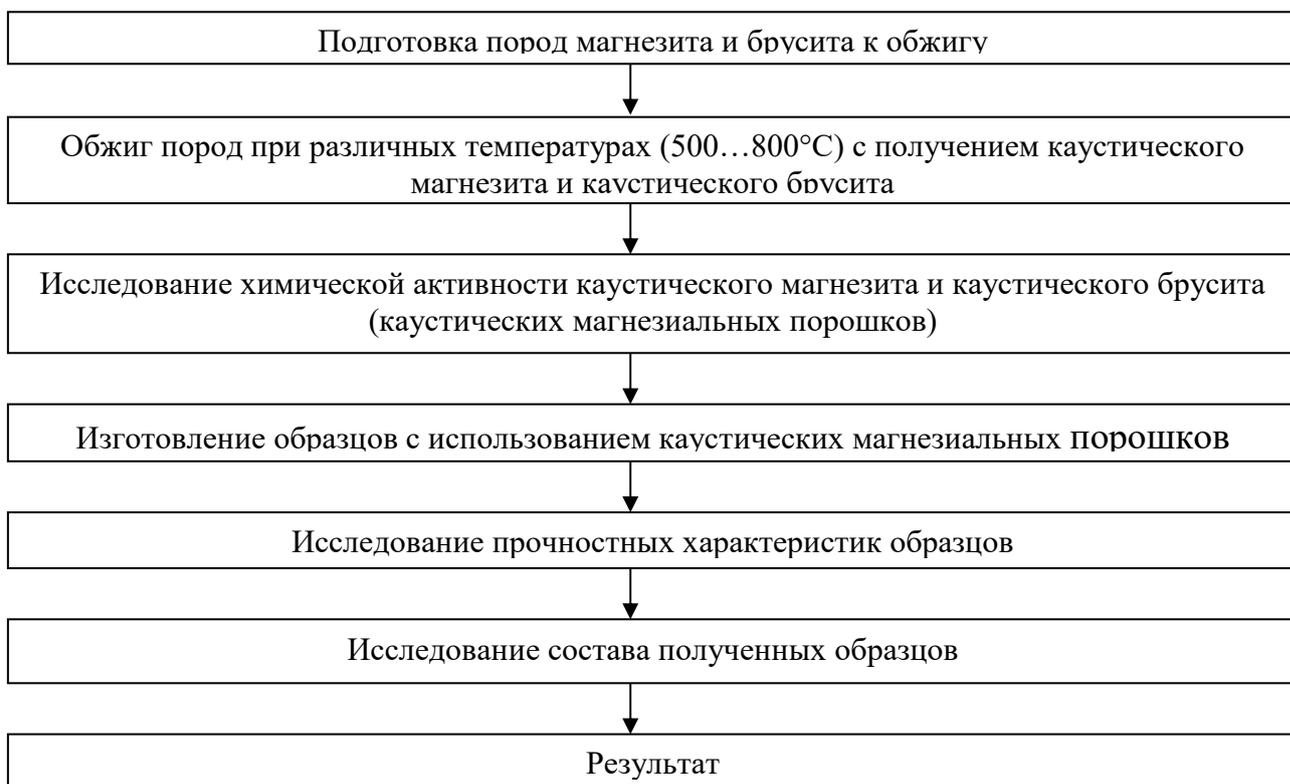


Рисунок 4.2 Иерархическая структура НТИ

4.3.2 Контрольные события проекта

Основные контрольные события проекта представлены в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Получение задания и составление плана работ	10.01.2019	
	Литературный обзор проблематики	19.01.2019	Литературный обзор в ВКР
2	Постановка цели и задач	20.02.2019	Раздел цели и задачи в ВКР
3	Разработка плана экспериментальных работ	20.02.2019	План работ
4	Исследование сырьевых материалов	14.03.2019	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
5	Проведение эксперимента	23.03.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
6	Обработка экспериментальных данных, обсуждение результатов	07.04.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
7	Оформление графической части (таблицы, графики).	12.04.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
8	Разработка презентаций и раздаточного материала	03.05.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
9	Оформление пояснительной записки	25.05.2019	ВКР

4.3.3 План проекта

Календарный план-график выполнения научно-исследовательской работы по теме: «Исследование влияния состава (качества) каустического магнезиального порошка на свойства магнезиального цемента» представлен в календарном плане-графике (таблица 4.10)

4.4 Бюджет научного исследования

Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательской работы рассчитывается по статьям калькуляции, которые включают две группы затрат – прямые затраты и накладные затраты.

Прямые затраты – это затраты на сырье, энергию, амортизацию оборудования.

Накладные затраты включают лабораторные затраты, связанные с освещением, отоплением, содержанием персонала.

Основными статьями калькуляции являются:

- затраты на сырье и материалы, покупные изделия;
- фонд заработной платы исполнителей;
- амортизация оборудования;
- накладные расходы, включающие затраты на содержание на административно-управленческого аппарата, по охране труда и т.п.;
- прочие затраты.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода

Затраты на сырье и материалы определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_i \quad (4.4)$$

где: $Z_{\text{м}}$ – сумма затрат на сырье и материалы, руб.; G_i – расход i -го компонента, ед.; C_i – цена i -го компонента, руб./ед.

Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НТИ представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на сырье на проведение НТИ

Наименование материалов	Цена за единицу, руб/кг	Потребляемое количество, кг (или л)	Сумма, руб
Магнезит	15	10	150
Брусит	15	10	150
ТрилонБ	230	2	460
Лимонная кислота	120	1	120
Фенолфталеин	112	1	112
Бензоат натрия	178	1	178
Аммиачный буферный раствор	25	1	25
Соляная кислота	60	1	60
Гидроксид калия	120	1	120
Триэтаноламин	140	1	140
Всего за материалы			1515
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			45,45
Итого по статье З _м			1560,45

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам. Все необходимое оборудование, представленное в таблице 4.12, уже имелось в научной лаборатории, поэтому стоимость оборудования, используемого при выполнении нашей данной дипломной работы, должна учитываться в виде амортизационных отчислений.

Таблица 4.12 – Расчет спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Пресс ПГМ 100 МГ4	1	481 440	10	6980,88	481440
2.	Весы аналитические (Sartorius)	1	710 000	11	11 324,5	710 000
ИТОГО:						1 191 440
Доставка и монтаж (15%), тыс.руб.						194 466
Итого по статье, тыс.руб.1 385 906						

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все оборудование имеется в наличии.

Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление технического задания	Научный руководитель	9	1057,49	9517,44
2	Обзор литературы	Научный руководитель	32	1057,49	33839,68
		Магистрант	32		
3	Постановка цели и задач	Магистрант	2		
4	Разработка плана экспериментальных работ	Научный руководитель	20	1057,49	21149,8
5	Исследование сырьевых материалов	Магистрант	10		
6	Проведение эксперимента	Магистрант	15		
7	Обработка полученных данных	Научный руководитель	6	1057,49	6344,94
		Магистрант	6		
8	Оформление графической части	Магистрант	22		
9	Разработка презентаций и раздаточного материала	Магистрант	21		
10	Оформление пояснительной записки	Магистрант	7		
Итого, тыс.руб.					70851,86

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.5)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. ; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.6)$$

где: $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия; определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для руководителя (доцент) $Q_{\text{рук}} = 23264,86 \text{руб/мес.}$

На выполнение НИР понадобилось 144 дня.

$$Z_{\text{м рук}} = 23264,86 \cdot (0,3 + 0,2 + 1) \cdot 1,3 = 45366,48$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.7)$$

где: $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дня, $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дней, $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	144	144
Количество нерабочих дней	24	24
- выходные дни	19	19
- праздничные дни	5	5
Потери рабочего времени		
- отпуск	19	19
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	101	101

Среднедневная ЗП:

$$Z_{\text{дн.рук.}} = 45366,48 \cdot 10,4 / 144 = 3\,276,47 \text{ руб.}$$

Основная ЗП:

$$Z_{\text{осн.рук.}} = 3\,276,47 \cdot 244 = 471811,68 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 4.15.

Таблица 4.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,48	3 276,47	144	471811,68

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данный раздел включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \text{ руб.} \quad (4.8)$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 45\,366,48 = 5443,98, \text{ руб.}$$

где: $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (45366,48 + 5443,98) = 15\,344,76, \text{ руб}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.10)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,80 \cdot (45366,48 + 5443,98) = 40648,37, \text{ руб}$$

4.5. Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, использующихся в практике, нами была выбрана проектная, которую можно изобразить следующим образом:



Рисунок – 4.3 Организационная структура проекта

4.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 4.16).

Таблица - 4.16 Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Составление задания и составление плана работ	У	-
Литературный обзор	О	И
Постановка цели и задач	О	-
Разработка плана экспериментальных работ	С	И
Проведение эксперимента	-	И
Обработка экспериментальных данных, обсуждение результатов	О	И
Оформление результатов	С	И

4.7 Реестр рисков проекта

На пути реализации проекта могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 - Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска
Технические риски					
1	Требования	1	4	средний	Отслеживание изменений требований к материалам, с помощью которых проводится исследование. Постоянный поиск путей оптимизации производства
2	Технология	1	3	низкий	
3	Использование ненадежных источников	2	4	средний	
4	Качество	2	4	средний	
Внешние риски					
5	Качество предоставляемых расходных материалов	2	4	низкий	Изучение конъюнктуры рынка. Страхование имущества. Изучение изменений в российском законодательстве. Определение мер поощрений и наказаний по отношению к рабочим.
6	Предписания контролирующих органов	3	3	средний	
7	Рынок	3	4	средний	
8	Непредвиденные обстоятельства	1	4	средний	
9	Изменения российского законодательства	4	5	высокий	
10	Небрежность и недобросовестность сотрудников	3	3	низкий	

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых прочностных характеристик магниевых изделий.

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

4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход;
- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма доходности;
- потребность в дополнительном финансировании;
- срок окупаемости;
- индексы доходности затрат и инвестиций и др.

Чистым доходом (другие названия – ЧД, NetValue, NV) называется накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период, где суммирование распространяется на все шаги расчетного периода. Важно четко различать окончательную эффективность проекта и затраты предприятия до даты, когда проект начнет приносить прибыль.

Дисконтированный доход (другие названия - ЧДД, интегральный эффект, NetPresentValue, NPV) - накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. Дисконтирование представляет собой приведение доходов и расходов будущих периодов к текущему моменту с учетом временной стоимости денежных средств.

Определяем ЧД и ЧДД. Будем считать, что продолжительность шага расчета равна одному месяцу. Предполагается, что поступления денежных средств заносятся в таблицу со знаком "+", а расходование (оттоки) - со знаком "-". Составим план денежных потоков:

Таблица 4.18 – План денежных потоков

№	Показатель, млн.руб	Номер месяца					
		0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность							
1	Выручка без НДС, тыс.руб	0	1300	2080	3380	4420	5460
2	Полные текущие издержки, в том числе:	0	-934,7	-1495,52	-2430,22	-3177,98	-3925,74
3	прямые материальные затраты	0	-325	-520	-845	-1105	-1365
4	ФОТ основных рабочих, включая взносы во внебюджетные фонды	0	-400	-640	-1040	-1360	-1680
5	Силовая энергия	0	-65	-104	-169	-221	-273
6	Общепроизводственные расходы	0	-150	-200	-235	-250	-260
7	Общехозяйственные расходы	0	-100	-110	-115	-115	-130
8	Коммерческие расходы	0	-25	-28	-35	-47	-55
9	Прочие расходы	0	-30	-40	-50	-60	-70
10	Денежный поток от производственной (операционной) деятельности (п.1-п.2)	0	365,3	584,48	949,78	1242,02	1534,26
Инвестиционная деятельность							
11	Поступление инвестиций	0	0	0	0	0	0
12	Капиталовложения, обслуживание инвестиций	-450	-200	0	0	0	0
13	Сальдо от инвестиционной деятельности (п.11+п.12)	-450	-200	0	0	0	0
14	Сальдо суммарного потока (п.10+п.13)	-450	165,3	584,48	949,78	1242,02	1534,26
15	Сальдо накопленного потока	-450	-284,7	299,78	1249,56	2491,58	4025,84
16	Коэффициент дисконтирования при ставке дохода 30%	1,000	0,769	0,592	0,455	0,350	0,269
17	Дисконтированное сальдо суммарного потока (стр.14*стр.16)	-450,0	127,15	345,85	432,31	434,87	413,22
18	Дисконтированные инвестиции (стр.12*стр.16)	-450	-153,84	0	0	0	0
Срок окупаемости, отсчитанный от нулевого периода							2,4871
ИД							7,1936
ИД							1,684315
ВНД							181,98 %

Обычно проект считается устойчивым, если в расчетах по проекту в целом уровень безубыточности не превышает 0,6 - 0,7 после освоения проектных мощностей. Близость уровня безубыточности к 1 (100%), как правило, свидетельствует о недостаточной устойчивости проекта к колебаниям спроса на продукцию в данном периоде.

Расчет уровня безубыточности для проекта приведен в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Расчет безубыточности

№	Показатель, млн.руб	Номер месяца				
		1	2	3	4	5
1	Выручка без НДС, тыс.руб	1300	2080	3380	4420	5460
2	Полные текущие издержки, в том числе:	934,7	1495,52	2430,22	3177,98	3925,74
3	Прямые материальные затраты	325	520	845	1105	1365
4	ФОТ основных рабочих, включая взносы во внебюджетные фонды	400	640	1040	1360	1680
5	Силовая энергия	65	104	169	221	273
6	Общепроизводственные расходы	150	200	235	250	260
7	Общехозяйственные расходы	100	110	115	115	130
8	Коммерческие расходы	25	28	35	47	55
9	Прочие расходы	30	40	50	60	70
10	Условно переменные издержки (стр3+4+5+8)	815	1292	2089	2733	3373
11	Уровень безубыточности УБт [(стр. 2 - стр.10)/(стр. 1 - стр. 10)]	0,2468	0,25827	0,26430	0,2637	0,26484

Из проведенных расчетов можно заключить, что устойчивость проекта особых подозрений не вызывает.

4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность.

Чтобы определить эффективность исследования, необходимо рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования. Для этого определяют две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.11),$$

где: I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналогов).

Таблица 4.20 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Стоимость электроэнергии	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	400,00	175360,44	1041,01	245185,83	74781,68	496768,96
2	350,00	68973,80	1041,01	248973,76	75937,00	395275,57

Найдем значения интегрального финансового показателя для всех вариантов исполнения научного исследования:

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{319984,34}{496768,96} = 0,64$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{496768,96}{496768,96} = 1$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{395275,57}{496768,96} = 0,8$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы по сравнению с аналогами.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяют следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.12),$$

где: I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Результаты расчетов представлены таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Прочность	0,35	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	4
3. Эстетические свойства	0,15	5	4	4
4. Энергосбережение	0,2	5	4	4
5. Надежность	0,07	5	4	3
6. Материалоемкость	0,08	4	4	4
ИТОГО	1	4,67	3,83	3,66

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

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

Для нашей разработки: $I_{финр}^p = \frac{4,67}{0,64} = 7,3$

Для первого аналога: $I_{финр}^{a1} = \frac{3,83}{1} = 3,83$

Для второго аналога: $I_{финр}^{a2} = \frac{3,66}{0,8} = 4,58$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (4.14),$$

где: \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.22 – Сравнительная эффективность разработки с первым аналогом

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,64	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,83	4,67	3,66
3	Интегральный показатель эффективности	3,83	7,3	4,58
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,9		1,59

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

4.9 Оценка научно-технического эффекта

С целью выяснения социально-научного эффекта исследования химической активности каустических магнезиальных порошков для производства изделий из магнезиального цемента, имеет место определить коэффициент научно-технического эффекта на основе оценок признаков работы:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot k_i, \quad (4.15)$$

где: r_i – весовой коэффициент i -го признака (табл. 4.22); k_i – количественная оценка i -го признака.

Таблица 4.23 – Примерные значения весового коэффициента для каждого признака научно-технического эффекта исследования

Признак научно-технического эффекта исследования	Примерное значение весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможности реализации	0,2

Поскольку данное исследование позволит систематизировать и обобщить имеющиеся сведения определяют пути дальнейшего исследования. Количественная оценка уровня новизны разработки составляет 4.

Проект подразумевает элементарный анализ исследования химической активности каустических магнезиальных порошков, объясняет зависимость

прочности полученных изделий от химической активности каустических магниезальных порошков. Следовательно, количественная оценка теоретического уровня полученных результатов – 2.

Возможности реализации научного эксперимента в течение первых лет на базе лаборатории НИ ТПУ и на базе лаборатории ООО «Сибирские порошки». Количественная оценка возможности реализации научных результатов равняется 10.

Таким образом, количественные оценки признаков социально-научного эффекта исследования химической активности каустических магниезальных порошков для производства изделий из магниезального цемента: $k_1=4$, $k_2=2$, $k_3=10$.

Значит, коэффициент научно-технического эффекта проекта:

$$H_T = 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 = 5,2$$

В соответствии с полученным коэффициентом научно-технического эффекта его уровень можно оценить, как средний.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате проведения разработки раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение было выяснено, что данное исследование оправдывает физические и материальные затраты.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, показал, что коэффициент конкурентоспособности (K_K) предприятия равен 1,16. Так как $K_K > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно. Проект является устойчивым, так как в расчетах по проекту в целом уровень безубыточности не превышает 0,6 - 0,7 после освоения проектных мощностей.

При подсчете затрат на проведение НИИ можно сделать вывод, что в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на

себестоимость будущей продукции. Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы. Это достигается за счет использования местных недорогих сырьевых материалов. При этом ожидаемый результат проекта – усовершенствование технологического процесса и свойств продукта на основе магниального вяжущего был достигнут.

Заключение

В данной исследовательской работе были проведены работы по установлению влияния фазового состава каустического магнезиального порошка на качество водостойкого гидравлического магнезиального вяжущего.

В первой главе исследовательской работы рассмотрены сырьевые материалы для получения каустических магнезиальных порошков, свойства классических и гидравлического магнезиальных вяжущих, свойства изделий и виды на их основе.

Во второй главе описаны используемые в данной работе материалы, их характеристики и методы исследования.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных испытаний: приведены значения активности каустических магнезиальных порошков заводских и свежееобожженных; приведены значения прочности при сжатии образцов твердевших в воздушной среде и водной среде; представлены графики зависимости влияния содержания активного оксида магния на прочностные характеристики и фазовый состав порошков магнезита и брусита.

В результате проведения разработки раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение было выяснено, что данное исследование оправдывает физические и материальные затраты.

В пятой главе был проведен анализ опасных и вредных факторов. Ими являются:

1. Воздействие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии;

2. Воздействие веществ, вызывающих поражение кожи и раздражение глаз;

3. Превышение уровня шума;

- 4.Превышение уровня общей вибрации;
- 5.Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- 6.Отклонение показателей микроклимата;
- 7.Воздействие подвижных частей механического оборудования;
- 8.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

Также были рассмотрены разделы по охране труда и безопасности жизнедеятельности цеха «Лаборатория». Все мероприятия по безопасности и охране труда разработаны в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами и ГОСТами РФ. Условия труда для работников лаборатории соответствуют всем нормам.