

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса твердения магниезиального вяжущего в воде

УДК 666.941.2.015.42-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Охлопкова Анна Владимировна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения
по ООП 18.03.01 Химическая технология

P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственно-го анализа, связанные с созданием и пере-работкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия , общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г51	Охлопковой Анне Владимировне

Тема работы:

Исследование процесса твердения магниезального вяжущего в воде
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Объект исследования - магниезальное вяжущее на основе каустического магнезита и раствора бикарбоната магния в качестве затворителя.</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>Анализ литературных источников; постановка задач исследования; изучение методов исследования; анализ результатов экспериментов; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение по работе.</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Результаты экспериментов, рентгенофазовый и термический анализы образцов, микрофотографии.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына З.В., доцент ОСГН, к.т.н.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А., старший преподаватель ООД ШБИП
Экспериментальная часть	Митина Н.А., доцент НОЦ Н.М. Кижнера, к.т.н.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Н.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Охлопкова Анна Владимировна		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Н.А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 78 с., 14 рис., 20 табл., 38 источников.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее; каустический магнезит; водостойкость; бикарбонат магния; твердение.

Объектом исследования является магнезиальное вяжущее на основе каустического магнезита и раствора бикарбоната магния в качестве затворителя.

Цель работы – исследование процесса твердения в водной среде гидравлического магнезиального вяжущего.

В процессе исследования проводились: приготовление гидравлического магнезиального вяжущего, определение характеристик среды и изучение изменений структуры и фазового состава магнезиального вяжущего во время твердения образцов в воде.

В результате исследования: установлено влияние водной среды на твердение магнезиального вяжущего, доказано наличие миграции ионов во время твердения в воде.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: строительство.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате проведения анализа экономической эффективности выявлено, что данное исследование по сравнению с аналогом более ресурсоэффективно.

В будущем планируется: исследование твердения гидравлического магнезиального вяжущего в жидкостях различного состава.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАНДАРТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПМК-75 – порошок магниальный каустический с содержанием оксида магния не менее 75 %;

БКМ – бикарбонат магния;

РФА – рентгенофазовый анализ;

ДСК – дифференциально-сканирующая калориметрия;

ДТА – дифференциально-термический анализ;

ТГ – термогравиметрия;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	13
1.1 Магнезиальное вяжущее	13
1.2 Способы повышения водостойкости магнезиальных вяжущих веществ .	14
1.3 Твердение магнезиального вяжущего в воде	17
1.3.1 Фазообразование в системе MgO-CO ₂ -H ₂ O	18
1.3.2 Стойкость кристаллогидратов магния в воде	21
1.4 Предпосылки исследований.....	23
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ	24
2.1 Характеристика исходных материалов.....	24
2.1.1 Каустический магнезит	24
2.1.2 Раствор бикарбоната магния.....	25
2.2 Методы исследований	26
2.2.1 Определение концентраций ионов CO ₃ ²⁻ и HCO ₃ ⁻	26
2.2.2 Измерение pH среды.....	27
2.2.3 Определение предела прочности на сжатие.....	28
2.2.4 Рентгенофазовый анализ	28
2.2.5 Термический анализ.....	29
2.2.6 Электронная микроскопия	30
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	31
3.1 Измерение pH среды	32
3.2 Измерение концентраций ионов CO ₃ ²⁻ и HCO ₃ ⁻ в среде твердения	34

3.3 Измерение прочности образцов.....	36
3.4 Рентгенофазовый анализ	37
3.5 Термический анализ.....	38
3.6 Электронная микроскопия	39
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	42
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	44
4.1.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны	45
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	46
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	46
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	47
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	47
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования	50
4.2.4.1 Расчет материальных затрат исследования.....	50
4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование	50
4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	51
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	53
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	53
4.2.4.6 Накладные расходы	53
4.2.4.7 Формирование бюджета исследования	54
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	54

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	57
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	60
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	60
5.1.2 SWOT-анализ.....	60
5.2 Профессиональная социальная безопасность	61
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	63
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	67
5.3 Экологическая безопасность.....	67
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	67
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	75

ВВЕДЕНИЕ

Магнезиальные вяжущие вещества – воздушные вяжущие вещества на основе оксида магния. Обладают уникальным рядом свойств: высокая механическая прочность, малая усадка, износостойкость, термостойкость. Главным недостатком магнезиальных вяжущих является их низкая водостойкость.

На сегодняшний день известно много способов повышения водостойкости магнезиальных вяжущих. Одним из таких является замена традиционной жидкости затворения на раствор бикарбоната магния, что позволяет получить гидравлические магнезиальные вяжущие, способные твердеть как на воздухе, так и в воде. Однако недостаточно изучен сам процесс твердения в воде.

Целью данной работы является исследование процесса твердения в водной среде гидравлического магнезиального вяжущего.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Получение образцов гидравлического магнезиального вяжущего на основе каустического магнезита и водного раствора бикарбоната магния в качестве затворителя;
2. Осуществление твердения образцов в водных условиях;
3. Определение характеристик среды твердения;
4. Определение прочностных свойств образцов;
5. Установление закономерности изменения структуры при твердении в воде.

Объект исследования – магнезиальное вяжущее на основе каустического магнезита и раствора бикарбоната магния в качестве затворителя.

Предмет исследования – процесс твердения гидравлического магнезиального вяжущего в воде.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Магнезиальное вяжущее

Магнезиальные вяжущие вещества – воздушные вяжущие вещества на основе оксида магния.

Наиболее известны магнезиальные вяжущие вещества, полученные путем затворения тонкомолотого порошка каустического магнезита водными растворами хлорида или сульфата магния.

Применяются в строительстве для изготовления конструкционных, огнеупорных, теплоизоляционных, декоративных материалов и изделий.

В отличие от широко используемого портландцемента производство магнезиальных вяжущих менее энергозатратно. Процесс обжига сырьевой смеси для изготовления портландцемента осуществляется при температуре до 1450 °С и сопровождается значительными ресурсными расходами. Мировое производство портландцемента составляет более 4 миллиардов тонн в год и обуславливает выделение 5-10 % глобальных антропогенных выбросов углекислого газа [1]. Одним из вариантов снижения выбросов является использование альтернативных, более экологичных видов цемента, к которым относятся магнезиальные вяжущие вещества. Обжиг каустического магнезита происходит при меньших температурах (около 700-800 °С), что позволяет получать цементы, не уступающие по прочностным свойствам.

Кроме того, магнезиальные вяжущие вещества обладают следующими достоинствами [2]:

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

Известны способы получения сырья для производства магнезиальных вяжущих из промышленных отходов [3-6], такие как:

- получение оксида магния из отходов талькомагнезитовых и серпентинитовых руд;
- получение карбоната магния из отходов содового производства;
- получение каустического магнезита в качестве побочного продукта производства огнеупоров.

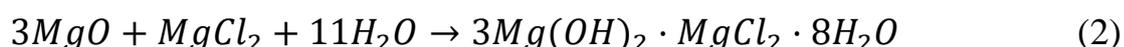
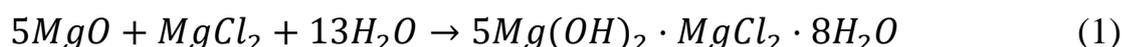
В настоящее время большое количество магнезиевой продукции производится из гидроминерального сырья, осаждением солей магния из морской воды [7, 8].

Главным недостатком магнезиальных вяжущих является их низкая водостойкость, вследствие образования в процессе твердения водорастворимых гидрооксихлоридов и гидрооксисульфатов магния. В связи с этим, применение материалов на основе магнезиальных вяжущих ограничено в гражданском и промышленном строительстве.

1.2 Способы повышения водостойкости магнезиальных вяжущих веществ

Причиной низкой водостойкости магнезиальных вяжущих является гидратация непрореагировавшего каустического магнезита и аморфного гидроксида магния, а также гидролиз гидрооксихлоридов магния [9].

В системе $MgO-MgCl_2-H_2O$ при комнатной температуре и атмосферном давлении могут идти следующие реакции [10]:



Фазы, получаемые по реакциям 1 и 2, являются основными связующими элементами в цементном камне, но легко разрушаются при воздействии воды, образуя гидроксид магния $Mg(OH)_2$, тем самым снижая водостойкость цемента.

Таким образом, известные способы улучшения водостойкости магнезиальных вяжущих основаны на:

- повышении реакционной способности каустического магнезита,
- снижении гидролиза растворимых соединений.

Реакционная способность каустического магнезита во многом зависит от условий его получения. Прежние исследования [11] показывают, что температура и время обжига магнезиального сырья значительно влияют на активность вяжущего. Оксид магния, полученный при 800 °С, обладает большей реакционной способностью и гидратируется полностью уже к 7 суткам. Вяжущее, обожженное при 1200 °С, к 28 суткам гидратируется на 63-75 %. Тем не менее независимо от температуры обжига, полученные магнезиальные вяжущие склонны к растрескиванию.

Установлено [9], что процесс гидратации MgO замедляется из-за образующейся на поверхности частиц пленки Mg(OH)₂, которая препятствует диффузии воды. Проблема решается введением в затворитель электролита, в результате чего ускоряется гидратация и повышается водостойкость.

Другой путь решения проблемы основан на подавлении гидролиза растворимых соединений. Введение в состав магнезиального вяжущего добавки молотого кварцевого стекла [12] приводит к ограничению разложения 5Mg(OH)₂·MgCl₂·8H₂O за счет образования форстерита и предотвращает образование брусита в воде. Результаты показывают, что повышается водостойкость, но также снижается механическая прочность и увеличивается время схватывания.

Учеными [13-15] было предложено введение минеральных добавок в виде серпентинита, диопсида и волластонита. Повышение прочности и коэффициента водостойкости при введении таких добавок обусловлено их исходными высокими прочностными характеристиками, а также химическим сродством к продуктам твердения магнезиального вяжущего. Высокое химическое сродство

приводит к образованию гетероцепных силикатных полимеров, повышающих прочность и водостойкость вяжущего.

Иным образом действуют железосодержащие добавки. Автор статьи [16] исследовал влияние золи гидроксида железа на свойства магнезиальных вяжущих. Введение в состав такой добавки в количестве до 1 % от массы вяжущего позволило получить образцы с прочностью на сжатие более 80 МПа и коэффициентом водостойкости не менее 0,8. Действие основано на внедрении активных ионов железа в структуру камня с образованием нерастворимых фаз.

Также снижение гигроскопичности магнезиального цемента можно достичь путем введения органических добавок, которые уменьшают пористость и проницаемость пор. Например, использование фталата калия в виде модифицирующей добавки приводит к повышению коэффициента водостойкости до 0,86 [17].

Известны способы применения растительных отходов в виде добавок, улучшающих эксплуатационные свойства, в том числе снижающих гигроскопичность материалов на основе магнезиальных вяжущих. Авторами [18] было изучено введение измельченной рисовой шелухи и комплексного агента из фосфатов и стирол-акриловой эмульсии в состав магнезиальных вяжущих. Результаты показывают, что использование добавки привело к увеличению водостойкости материалов и повышению прочности на сжатие.

Замена традиционной жидкости затворения на бикарбонат магния $Mg(HCO_3)_2$ является принципиально новым подходом к решению проблемы низкой водостойкости магнезиальных вяжущих. Использование раствора $Mg(HCO_3)_2$ в качестве затворителя позволяет исключить образование растворимых соединений и получить нерастворимые кристаллические фазы, повышающие водостойкость и прочность изделий.

На рисунке 1 приведены результаты исследования [19] процесса термического разложения продуктов твердения магнезиального вяжущего затворенного раствором бикарбоната магния.

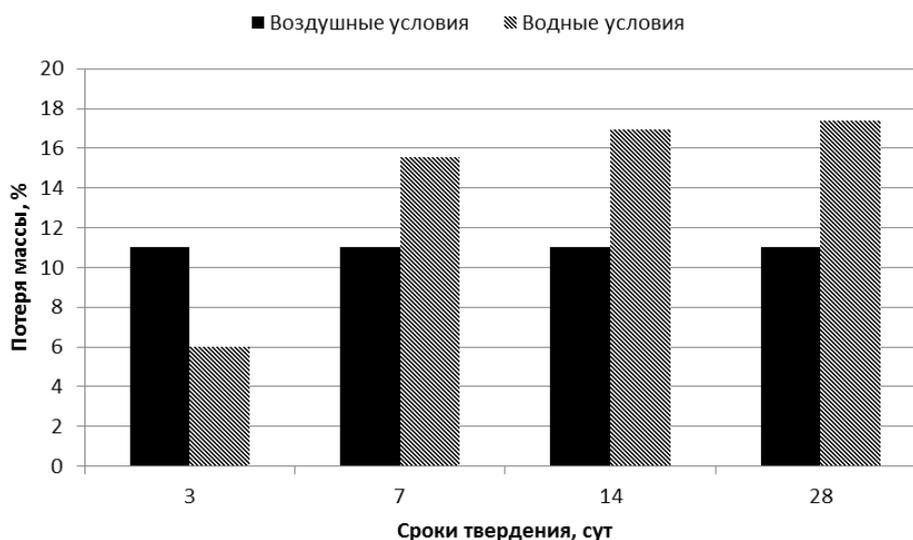


Рисунок 1 – Зависимость потери массы продуктов твердения при нагревании от условий и сроков твердения в интервале температур 380-410 °С [19]

Потери массы в интервале температур 380-410 °С связаны с разложением гидроксогруппы в составе гидрокарбонатов магния. Из рисунка 1 видно, что при твердении образцов магниезального вяжущего в водных условиях идет интенсивное образование продуктов гидратации, вследствие непрерывного обмена ионами с водой. В воздушных условиях количество гидрокарбонатов магния, содержащих гидроксогруппы, не изменяется в течение всего срока твердения, в результате чего механические свойства такого магниезального вяжущего будут хуже.

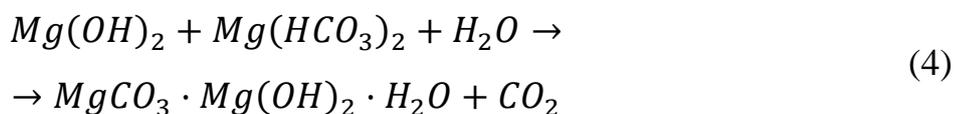
1.3 Твердение магниезального вяжущего в воде

Замена традиционных затворителей на раствор гидрокарбоната магния позволяет исключить образование растворимых соединений в цементном камне, что ведет к повышению водостойкости изделий. Такой цементный камень может твердеть как в воздушно-влажной, так и в водной среде с предварительным твердением на воздухе в течение суток.

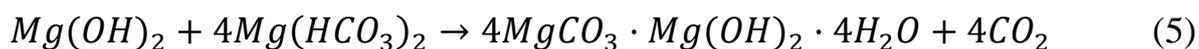
При взаимодействии каустического магнезита с затворителем в виде водного раствора бикарбоната магния идет сначала гидратация оксида магния:



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



Например, реакция образования гидромагнезита [21]:



Параллельно идет образование вторичного бикарбоната магния при взаимодействии гидроксида магния и диоксида углерода, которое также способствует формированию нерастворимой фазы гидрат гидроксокарбонатов магния:



В результате последовательного и циклического протекания описанных реакций образуются две основные кристаллические фазы: гидроксид магния и гидрат гидроксокарбонаты магния.

Более того, по данным исследований [19, 20], прочность твердеющей в воде композиции (37,5 МПа) выше прочности образцов, твердеющих на воздухе (19,2 МПа), что может быть объяснено непрерывным образованием в воде гидроксида магния, а также ионообменными процессами между твердеющей системой и средой твердения.

1.3.1 Фазообразование в системе MgO-CO₂-H₂O

Фазовые переходы в системе MgO-CO₂-H₂O (Рисунок 2), обеспечивающие увеличение прочности во время твердения в воде, основаны на переосаждении и перестройке структур. Инициатором фазовых переходов может являться малейшее изменение условий в среде твердения, таких как концентрация растворенных ионов, температура, давление.

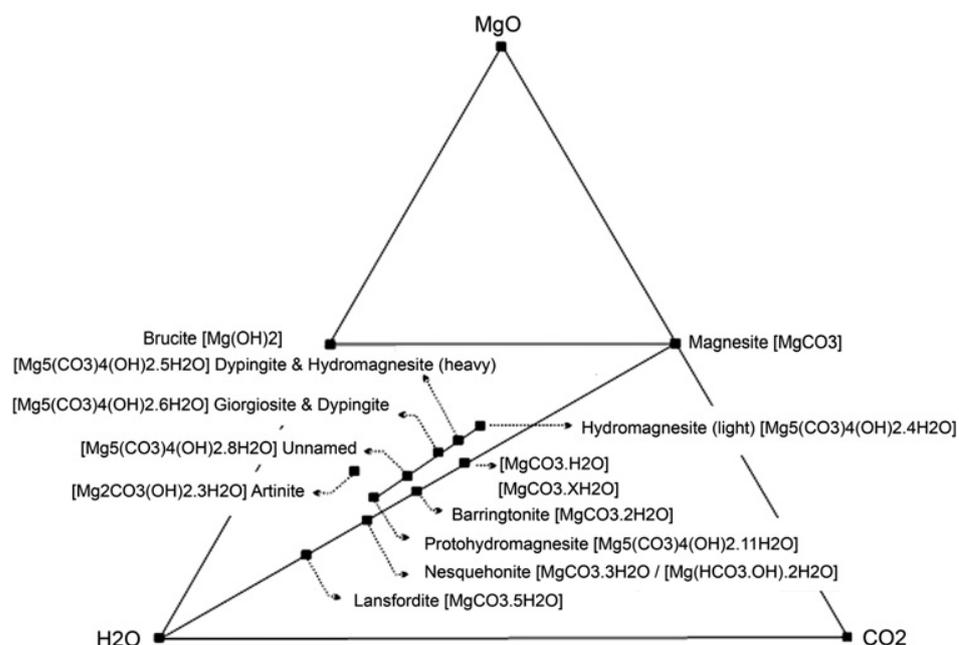
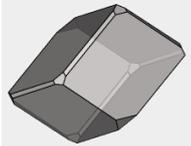


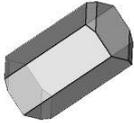
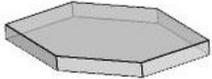
Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы MgO-CO₂-H₂O [22]

Увеличение прочности в таких системах обусловлено морфологией образующихся кристаллов, их ростом и уменьшением объема пор, вследствие чего образуется прочная взаимосвязанная структура.

В системе MgO-CO₂-H₂O могут образоваться следующие минеральные фазы (Таблица 1):

Таблица 1 – Минеральные фазы системы MgO-CO₂-H₂O [23]

Название	Формула	Структура кристалла
Брусит	Mg(OH) ₂	
Магнезит	MgCO ₃	
Баррингтонит	MgCO ₃ ·2H ₂ O	Параметры ячейки: $a = 9.15 \text{ \AA}$, $b = 6.2 \text{ \AA}$, $c = 6.09 \text{ \AA}$ $\alpha = 94^\circ$, $\beta = 95.5^\circ$, $\gamma = 108.7^\circ$

Несквегонит	$MgCO_3 \cdot 3H_2O$	
Лансфордит	$MgCO_3 \cdot 5H_2O$	
Артинит	$MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$	
Гидромагнезит	$4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$	
Дипингит	$4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 5H_2O$	Параметры ячейки: $a = 9.15 \text{ \AA}$, $b = 6.2 \text{ \AA}$, $c = 6.09 \text{ \AA}$ $\alpha = 94^\circ$, $\beta = 95.5^\circ$, $\gamma = 108.7^\circ$

В соответствии с таблицей 1 опишем свойства перечисленных фаз [24]:

1) Брусит $Mg(OH)_2$ – таблитчатые кристаллы в пластинчатых или листоватых массах и розетках. Сингония тригональная. Спайность совершенная по $\{0001\}$. Твердость по Моосу – 2,5. Плотность – 2,39 г/см³.

2) Магнезит $MgCO_3$ – ромбоэдрические или призматические кристаллы. Сингония тригональная. Спайность совершенная по ромбоэдру. Твердость по Моосу – 4 - 4,5. Плотность – 3,1 г/см³.

3) Баррингтонит $MgCO_3 \cdot 2H_2O$ – кристаллы триклинной сингонии. Плотность – 2,83 г/см³.

4) Несквегонит $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ – игольчатые кристаллы; сферолиты, налеты. Сингония моноклинная. Спайность совершенная по $\{010\}$. Твердость по Моосу – 2,5. Плотность – 1,854 г/см³.

5) Лансфордит $MgCO_3 \cdot 5H_2O$ – микроскопические короткопризматические кристаллы, сталактиты. Сингония моноклинная. Спайность совершенная по $\{001\}$, средняя по $\{100\}$. Твердость по Моосу – 2,5. Плотность – 1,6 г/см³.

6) Артинит $MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$ – игольчатые кристаллы, радиально-лучистые агрегаты. Сингония моноклинная. Спайность совершенная по $\{100\}$, средняя по $\{001\}$. Твердость по Моосу – 2,5. Плотность – 2,03 г/см³.

7) Гидромагнезит $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$ - агрегаты в виде розеток или корок из игольчатых или листоватых кристаллов, удлинённых по $[001]$ и уплощённых по $\{100\}$. Сингония моноклинная. Спайность весьма совершенная по $\{010\}$. Твердость по Моосу – 3,5. Плотность – 2,236 г/см³.

8) Дипингит $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 5H_2O$ - шарообразные агрегаты. Сингония моноклинная. Плотность – 2,15 г/см³.

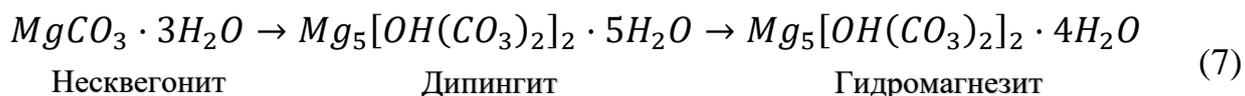
1.3.2 Стойкость кристаллогидратов магния в воде

Способность вяжущего набирать прочность в воде обусловлено свойствами образующихся фаз, а именно их водонерастворимостью.

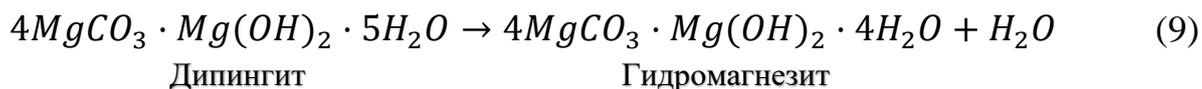
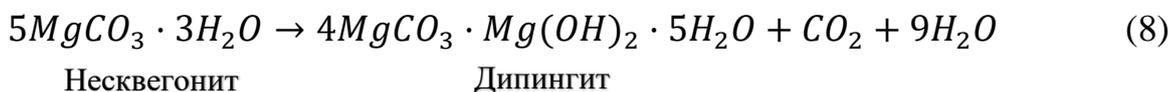
Каустический магнезит, взаимодействуя с водой и растворенным в ней углекислым газом CO_2 , дает различные гидрокарбонаты магния (например, несквегонит $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ и гидромагнезит $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$), которые являются малорастворимыми.

Авторами А.М. Chaka, А.Р. Felmy и О. Qafoku [25] была изучена термодинамика карбонатов и гидрокарбонатов магния и их стабильность в воде. В результате исследований было выявлено, что гидромагнезит $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$ и несквегонит $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ являются термодинамически стабильными в воде в интервале температур от 0 до 100 °С.

При повышении температуры несквегонит теряет свою стабильность и переходит в более устойчивые гидрокарбонаты магния по схеме [26]:



Реакции образования дипингита и гидромагнезита по схеме 7:



О стабильности соединений можно судить также через энергию Гиббса (Таблица 2).

Таблица 2 – Стандартная энергия Гиббса образования некоторых фаз

Название	Формула	$\Delta G_{f,298}^0$, кДж/моль
Брусит	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	-835
Магнезит	MgCO_3	-1028
Несквегонит	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-1724
Лансфордит	$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-2200
Артинит	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-2569
Гидромагнезит	$4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-5865

Из таблицы 2 видно, что гидромагнезит наиболее термодинамически устойчив с энергией Гиббса равной -5865 кДж/моль. Гидрокарбонаты магния (несквегонит, лансфордит, артинит и гидромагнезит) обладают большей энергией Гиббса, чем магнезит (Таблица 2). Авторы [27] утверждают, что скорость образования гидрокарбонатов магния гораздо выше, чем скорость образования магнезита, и в течение долгого времени они могут не разрушаться и не дегидратироваться до магнезита в обычных условиях.

1.4 Предпосылки исследований

При использовании добавок для повышения водостойкости в цементном камне, затворенном хлоридом или сульфатом магния, остаются водорастворимые соединения. Проблему низкой водостойкости магниезальных вяжущих можно решить заменой традиционной жидкости затворения на водный раствор бикарбоната магния. В отличие от традиционных способов, применение раствора бикарбоната в качестве затворителя позволит исключить возможность образования растворимых веществ. Предварительными исследованиями [19, 20] было выявлено, что прочность твердеющей в воде цементной композиции, затворенной бикарбонатом магния, выше прочности образцов, твердеющих на воздухе. Однако в настоящее время недостаточно изучены процессы, протекающие при твердении в воде магниезального вяжущего. Несмотря на высокий интерес у зарубежных исследователей к процессам в системе $MgO-CO_2-H_2O$, применение этой системы в цементном камне не рассматривалось.

Твердение в воде магниезального вяжущего может быть объяснено непрерывной гидратацией, а также миграцией ионов из твердеющей системы в среду твердения и обратно.

Целью данной работы является исследование процесса твердения в водной среде гидравлического магниезального вяжущего.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Получение образцов гидравлического магниезального вяжущего на основе каустического магнезита и водного раствора бикарбоната магния в качестве затворителя;
2. Осуществление твердения образцов в водных условиях;
3. Определение характеристик среды твердения;
4. Определение прочностных свойств образцов;
5. Установление закономерности изменения структуры при твердении в воде.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ

2.1 Характеристика исходных материалов

Для получения гидравлического магнезиального вяжущего были использованы каустический магнезиальный порошок марки ПМК-75 и водный раствор бикарбоната магния в качестве затворителя.

2.1.1 Каустический магнезит

Химический состав каустического магнезиального порошка марки ПМК-75 Савинского месторождения представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав каустического магнезита

Содержание оксидов, мас. %							
MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	Δm _{пр}	Сумма
75,64	3,18	-	4,24	-	-	16,94	100

Рентгенограмма и термограмма исследуемого каустического магнезита приведены на рисунках 3 и 4.

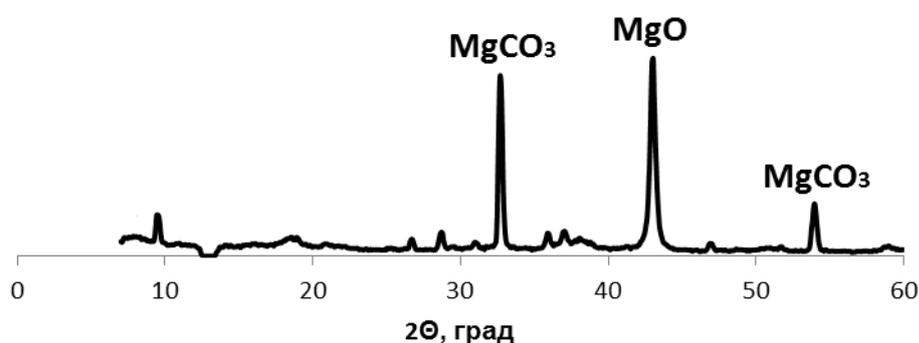


Рисунок 3 – Рентгенограмма каустического магнезиального порошка

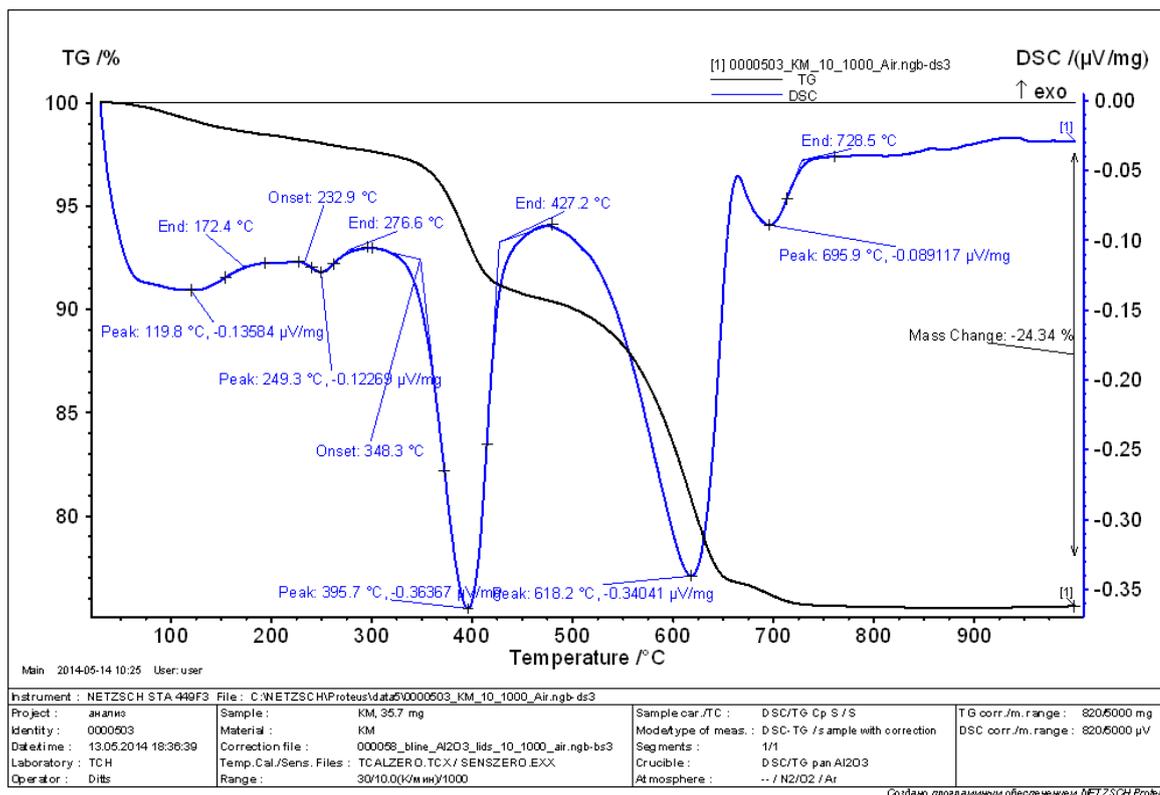
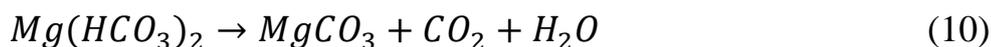


Рисунок 4 – Термограмма каустического магнезита

Из рентгенограммы и термограммы следует, что основными кристаллическими фазами каустического магнезита являются оксид магния MgO, гидроксид магния Mg(OH)₂ и карбонат магния MgCO₃.

2.1.2 Раствор бикарбоната магния

Гидрокарбонат магния Mg(HCO₃)₂ (традиционное название - бикарбонат магния) – неорганическое соединение, магниевая соль уксусной кислоты. Существует только в водных растворах, т.к. легко разлагается:



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

Концентрация иона HCO₃⁻ в растворе БКМ – 13 г/л.

2.2 Методы исследований

В ходе работы был использован комплекс физико-химических методов исследования. Последовательность исследований:

- определение концентрации ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- ,
- измерение рН среды,
- определение предела прочности на сжатие,
- рентгенофазовый анализ,
- термический анализ,
- электронная микроскопия.

2.2.1 Определение концентрации ионов CO_3^{2-} и HCO_3^-

Определение концентрации CO_3^{2-} и HCO_3^- титриметрическим способом основано на следующих реакциях:



Для титрования используют раствор соляной кислоты HCl с известной концентрацией. Определение карбонат-ионов проводят в присутствии фенолфталеина, гидрокарбонат-ионов – в присутствии метилового оранжевого.

Отбирают пипеткой 25 мл исследуемого раствора и переносят в коническую колбу для титрования. Затем в колбу добавляют 2-3 капли индикатора фенолфталеина и титруют рабочим раствором HCl до тех пор, пока окраска станет слабо-розовой, практически бесцветной. В случае отсутствия окрашивания при добавлении фенолфталеина считают, что карбонат-анион отсутствует в пробе. Фиксируют объем кислоты, израсходованной на титрование по фенолфталеину.

Для определения гидрокарбонат-аниона используют тот же раствор, оставшийся после титрования CO_3^{2-} . Добавляют 1-2 капли метилового оранжевого и титруют, перемешивая, раствором HCl до изменения окраски раствора из желтой до розовой от одной лишней капли соляной кислоты. Для удобства определение проводят в присутствии контрольной пробы с таким же количеством индикатора.

Титрование повторяют до 3-х воспроизводимых результатов.

Определяют средние объемы кислоты V_k и $V_{гк}$, израсходованных на титрование CO_3^{2-} и HCO_3^- соответственно.

Концентрации ионов (мг/л) рассчитываются по уравнениям:

$$C(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{V_k \cdot C_n(\text{HCl}) \cdot 60 \cdot 1000}{V_a}, \quad (13)$$

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{V_{гк} \cdot C_n(\text{HCl}) \cdot 61 \cdot 1000}{V_a}, \quad (14)$$

где $C_n(\text{HCl})$ – концентрация соляной кислоты, моль/л; V_a – объем отобранной аликвоты или пробы раствора, мл; 60 и 61 – молярные массы карбонат- и гидрокарбонат-анионов соответственно; 1000 – коэффициент пересчета в мг.

2.2.2 Измерение pH среды

Для определения pH среды твердения использовали pH-метр S80 SevenMulti фирмы Mettler Toledo с комплексным электродом.

Последовательность работы с pH-метром:

- включить pH-модуль,
- погрузить электрод в отобранный образец среды твердения,
- нажать клавишу «Read» для начала измерения,
- фиксация результата на экране клавишей «Read»,
- проведение повторного измерения.

2.2.3 Определение предела прочности на сжатие

Для определения предела прочности при сжатии готовят магниальное теста заданного состава и формуют образцы размером 3×3×3 см.

Образцы твердеют в течение 24 часов в воздушно-сухих условиях без доступа окружающего воздуха, после чего помещаются в среду твердения.

По истечении контрольного срока в среде твердения измеряют линейные размеры образцов и испытывают на прессе для определения прочности на сжатие по поверхности, перпендикулярной направлению твердения.

Предел прочности на сжатие рассчитывается по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_{ман} \cdot K \cdot 9,807}{S \cdot 100}, \quad (15)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа; $P_{ман}$ – показатель манометра, мВ; $K = 38,2$ кгс/мВ – коэффициент манометра; S – площадь образца, см²; $9,807/100$ – коэффициенты для пересчета предела прочности из кгс/см² в МПа.

2.2.4 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) является методом определения фазового состава кристаллических тел.

В основе рентгенофазового анализа лежит явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке.

Необходимое условие дифракции рентгеновских лучей – выполнение уравнения Вульфа-Бреггов:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\theta, \quad (16)$$

где n – порядок отражения (1, 2, 3); λ – длина волны рентгеновского луча, нм; d – межплоскостной интервал, нм; θ – угол падения рентгеновского луча, град.

В данной исследовательской работе рентгенофазовый анализ исследуемых материалов проводили на приборе ДРОН – 3М, где применяется

рентгеновская трубка БСВ-29 с $\text{Cu}_{K\alpha}$ - излучением и следующими характеристиками:

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

Расшифровку рентгенограмм проводили с помощью программы Crystallographic Search – Match.

2.2.5 Термический анализ

Термический анализ подразделяется на следующие методы:

- дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК);
- дифференциально-термический анализ (ДТА);
- термогравиметрия (ТГ).

Дифференциально-термический анализ основан на сопоставлении термических свойств исследуемого вещества и термически инертного вещества, которое принимается в качестве эталонного.

Дифференциально-сканирующая калориметрия позволяет фиксировать тепловой поток, отражающий происходящие в веществе физико-химические процессы при нагревании.

При исследовании образцов ДСК и ДТА показывают характерные эндотермические эффекты, которые возникают в результате дегидратации и разрушения кристаллической структуры, а также экзотермические эффекты, обусловленные образованием новых фаз при более высоких температурах.

Термогравиметрия – метод термического анализа, основанный на регистрации изменения массы образца от температуры. Получаемая зависимость позволяет делать выводы о термической стабильности и составе образца. Этот метод может быть эффективно использован в том случае, когда образец при

нагревании выделяет летучие вещества в результате различных 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. Термоанализ проводили до 1000 °С.

2.2.6 Электронная микроскопия

Принцип работы электронного микроскопа заключается в испускании пучка электронов и получении изображения, при отражении их от поверхности исследуемого материала.

Анализ структуры исследуемых объектов проводился с помощью настольного растрового электронного микроскопа JSM-6000.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г51	Охлопковой Анне Владимировне

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Рассчитана стоимость исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Премимальный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Доступность исходного сырья, экологичность, прочность, энергоэффективность.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Расчет основной заработной платы, баланс рабочего времени, общая стоимость оборудования и материалов, отчисления во внебюджетные фонды
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. График проведения и бюджет НИИ</i> <i>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i> 	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Креницына З.В.	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г51	Охлопкова Анна Владимировна		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

На сегодняшний день рациональное природопользование является одним из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники. Ежегодный объём производства цемента в мире составляет более 4 миллиардов тонн [1]. Повышение энергоэффективности производства цемента, весьма важного и необходимого строительного материала, может быть достигнуто благодаря технологии магнезиальных вяжущих.

Уникальные свойства магнезиальных вяжущих, такие как высокая прочность, износостойкость, термостойкость, быстрое схватывание и отсутствие усадки, позволяют получать качественные строительные материалы с меньшими энергетическими затратами. Для обжига клинкера в производстве портландцемента требуется температура в печи около 1450 °С. Обжиг магнезита, сырья для производства магнезиальных вяжущих, протекает при температуре около 700-800 °С, на что затрачивается куда меньшее количество энергии.

Материалы на основе магнезиальных вяжущих могут быть получены переработкой промышленных отходов, например, пыли с электрофильтров печей обжига магнезита в производстве огнеупоров [6] или магнийсодержащих отходов горнодобывающей промышленности [3, 4]. Это позволяет снизить ресурсоемкость и стоимость производства цемента.

Сдерживающим фактором применения магнезиальных цементов в строительстве является низкая водостойкость. На решение этой проблемы нацелено настоящее исследование, результаты которого могут помочь найти более экономичный и экологичный способ получения цемента.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Возможными потребителями результатов исследования являются различные заводы по производству цемента. Карта сегментирования рынка представлена на рисунке 13.

		Вид строительного материала		
		Портландцемент	Магнезиальный цемент	Глиноземистый цемент
Отрасли строительства	Гражданское			
	Промышленное			
	Транспортное			
	Гидротехническое			

Рисунок 13 - Карта сегментирования рынка цемента

Обычный портландцемент используется для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, но не пригоден для применения в средах, контактирующих с проточной и минеральной водой.

В настоящий момент магнезиальный цемент применяется для возведения полов как в частных домах, так и в промышленных сооружениях, где требуется высокая прочность и износостойкость.

Глиноземистый цемент является дорогим видом вяжущих и используется в строительстве гидротехнических сооружений, а также конструкций и изделий при низких температурах.

Как видно из карты сегментирования, магнезиальные цементы из-за высокой гигроскопичности не применимы для гидротехнического строительства. Данное исследование направлено на получение водостойкого магнезиального цемента и изучение твердения в воде, что позволит расширить

их применение в строительстве и использовать для возведения гидротехнических сооружений.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это комплексный анализ научного исследования, позволяющий выделить сильные и слабые стороны проекта, а также определить возможности и угрозы реализации.

Результаты SWOT-анализа приведены в таблице 7.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии С3. Наличие финансирования С4. Использование отходов производств в качестве сырья	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Невысокое качество сырья
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Повышение стоимости конкурентных разработок	СиВ 1. Разработка новой технологии с лучшими показателями	СЛиВ 1. Сотрудничество с поставщиками сырья 2. Развитие сырьевой базы
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии у производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	СиУ 1. Создание спроса на новые технологии в производстве 2. Продвижение методики по получению гидравлического магнезиального вяжущего 3. Сертификация продукции	СЛиУ 1. Развитие сырьевой базы 2.Создание спроса на новые технологии в производства, стимулирование инвесторов 3.Доработка методики по ее конкурентным преимуществам 4.Сертификация продукции

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения исследования сформирована научная группа, состоящая из руководителя и инженера.

Структура и содержание работ по этапам, а также определение исполнителей приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер
	6	Планирование эксперимента	Инженер
	7	Подготовка и испытание образцов	Инженер
	8	Анализ состава и структуры полученных образцов	Руководитель, инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, инженер
Составление отчета по НИР	9	Публикация статьи и выступление на конференции с результатами исследований	Руководитель, инженер
	10	Составление пояснительной записки	Инженер
	11	Защита бакалаврской работы	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Стоимость научного исследования в основном определяется трудовыми затратами каждого из участников.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости рассчитывается с помощью формулы [28]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min_i} + 2t_{max_i}}{5}, \quad (19)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; t_{min_i} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; t_{max_i} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Расчет продолжительности работ в рабочих днях производится по формуле [28]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (20)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научного исследования составляется в виде диаграммы Ганта, который представляет собой горизонтальный ленточный график работ, описывающихся датами начала и конца их выполнения.

Для составления графика необходимо определить длительность работ в рабочих днях T_{ki} и перевести полученные значения в календарные дни T_{pi} [28]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (21)$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Расчет коэффициента календарности [28]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (22)$$

где $T_{\text{кал}}$, $T_{\text{вых}}$, $T_{\text{пр}}$ – количество календарных, выходных и праздничных дней в году соответственно.

Все полученные значения приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы (Этапы)	Трудоемкость			Исполнитель*	Длительность работ, рабочие дни	Длительность работ, календарные дни
	t_{min} , чел.- дни	t_{max} , чел.- дни	$t_{\text{ож}}$, чел.- дни			
Составление и утверждение технического задания	0,5	1,0	0,7	Р	0,7	1
Подбор и изучение материалов по теме	7,0	14,0	9,8	И	12,0	15
Выбор направления исследований	0,5	1,0	0,7	Р, И	0,7	1
Календарное планирование работ по теме	0,5	1,0	0,7	Р, И	0,7	1
Проведение теоретических расчетов и обоснований	7,0	14,0	9,8	Р, И	7,0	9
Планирование эксперимента	0,5	1,0	0,7	И	0,7	1
Подготовка и испытание образцов	10,0	20,0	14,0	И	12,0	15
Анализ состава и структуры полученных образцов	7,0	14,0	9,8	Р, И	14,0	17
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	1,0	2,0	1,4	Р, И	1,4	2
Оценка полученных результатов	7,0	14,0	9,8	Р, И	10,0	12
Публикация статьи и выступление на конференции с результатами исследований	7,0	14,0	9,8	Р, И	7,0	9
Составление пояснительной записки	15	45	27,0	И	30,0	37
Защита бакалаврской работы	0,5	1,0	0,7	И	0,7	1

Р – руководитель, И – инженер.

На основе таблицы 9 построим календарный график-план (Таблица 10)

Таблица 10 – Календарный график-план проведения НИОКР

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Р	1	■														
2	Изучение литературы	И	15	■	■													
3	Выбор направления исследований	Р, И	1			■												
4	Календарное планирование	Р, И	1			■												
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Р, И	9			■	■											
6	Планирование эксперимента	И	1			■												
7	Подготовка и испытание образцов	И	15				■	■										
8	Анализ образцов	Р, И	17					■	■									
7	Сопоставление результатов	Р, И	2							■								
8	Оценка результатов	Р, И	12							■	■							
9	Публикация статьи	Р, И	9									■	■					
10	Составление ПЗ	И	37										■	■	■	■	■	■
11	Защита ВКР	И	1															■

■ – руководитель, ■ – инженер.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования

4.2.4.1 Расчет материальных затрат исследования

Формула для определения материальных затрат Z_M [28]:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}_i} \quad (23)$$

где k_T – коэффициент для учета транспортных-заготовительных расходов; m – количество видов используемых материальных ресурсов; C_i – цена приобретения единицы i -го вида ресурсов (руб./кг, руб./ м³, руб./шт. и т.д.); $N_{\text{расх}_i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида (кг, м³, шт. и т.д.).

Расчет материальных затрат приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
ПМК-75	кг	1	20	20
Раствор БКМ	м ³	0,0005	50000	25
Раствор HCl	м ³	0,001	20000	20
Фенолфталеин	кг	0,001	9200	9,20
Метилловый оранжевый	кг	0,001	11330	11,33
Ацетон	м ³	0,0001	170400	17,04
Итого:				102,57
С учетом транспортных-заготовительных расходов (15 %):				117,96

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме, приведены в таблице 12.

Амортизационные отчисления принимаем за время проведения экспериментов – один месяц.

Таблица 12 – Расчет затрат на приобретение спецоборудования

Наименование оборудования	Количество	Цена единицы, тыс. руб.	Стоимость оборудования с учетом доставки и монтажа (15 %), тыс. руб.	Срок амортизации, год	Сумма амортизационных отчислений за 1 мес., руб
Электронные весы	1	20	23	5	383,33
Пресс гидравлический	1	250	287,5	15	1597,22
Сушильная печь	1	50	57,5	10	479,17
Итого:					2459,72

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В исследованиях принимали участие инженер (студент) и руководитель проекта.

Зарботная плата работников складывается из основной $Z_{осн}$ и дополнительной частей $Z_{доп}$ [28]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (24)$$

Основная зарботная плата находится по формуле [28]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (25)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная зарботная плата, руб; T_p – продолжительность работ, раб. дн.

Среднедневная зарботная плата [28]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (26)$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд, раб. дн.

Месячный должностной оклад [28]:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} \cdot k_d) \cdot k_p, \quad (27)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент; k_d – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент.

Действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала определяется исходя из баланса рабочего времени (Таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни,	44	48
– праздничные дни.	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск,	56	28
– невыходы по болезни.	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Зарплата по тарифной ставке инженера – 26300 руб./мес.,
руководителя – 33664 руб./мес.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	Тр, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	0,3	1,3	46388,99	1922,09	41,5	79766,73
Инженер	26300			36241,40	1476,01	96,2	141992,16
Итого:							221758,89

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ [29] доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (28)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Расчет дополнительной заработной платы [28]:

$$Z_{\text{доп.,рук.}} = 0,12 \cdot 79766,73 = 9572,01 \text{ руб.}; \quad (29)$$

$$Z_{\text{доп.,инж.}} = 0,12 \cdot 141992,16 = 17039,06 \text{ руб.} \quad (30)$$

4.2.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды

Определяется по формуле [28]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (31)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

В таблице 15 приведены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	$k_{\text{внеб}}$	Отчисления, руб.
Руководитель	79766,73	9572,01	0,271	24210,80
Инженер	141992,16	17039,06		43097,46
Итого:				67308,26

4.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов, и определяются по формуле [28]:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot \left(\frac{\text{сумма статей}}{\text{число статей}} \right), \quad (32)$$

где $k_{\text{нр}} = 0,16$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

4.2.4.7 Формирование бюджета исследования

Описание бюджета затрат приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	117,96
Амортизация специального оборудования	2459,72
Затраты по основной заработной плате	221758,89
Затраты по дополнительной заработной плате	26611,07
Отчисления во внебюджетные фонды	67308,26
Накладные расходы	10184,19
Итого:	328440,09

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

Определение эффективности проводится по интегральному показателю эффективности научного исследования. Для его расчета необходимо определить финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный финансовый показатель разработки I_{Φ}^p [28]:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (33)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

Альтернативным вариантом исполнения научно-исследовательского проекта является применение в качестве жидкости затворения водный раствор сульфата магния. Стоимость исполнения при замене затворителя на сульфат магния немного выше: цена такого же объема раствора обойдется в 107 руб. Кроме материальных затрат сумма остальных статей не изменится.

Тогда интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\Phi}^{p1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{328440,09}{328534,38} = 0,99 \quad (34)$$

$$I_{\Phi}^{p2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{max}} = \frac{328534,38}{328534,38} = 1 \quad (35)$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности I_p проведен в таблице 17.

Таблица 17 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Стоимость	0,15	5	5
2. Технологичность	0,10	4	4
3. Энергосбережение	0,15	5	5
4. Прочность	0,20	4	3
5. Материалоемкость	0,15	5	5
6. Водостойкость	0,25	5	3
Итого:	1	4,7	3,85

$$I_{p1} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 = 4,7 \quad (36)$$

$$I_{p2} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 = 4 \quad (37)$$

Интегральный показатель эффективности разработки определяется по формуле [28]:

$$I_1 = \frac{I_{p1}}{I_{\phi}^{p1}} = \frac{4,7}{0,99} = 4,75 \quad (38)$$

$$I_2 = \frac{I_{p2}}{I_{\phi}^{p2}} = \frac{4}{1} = 4 \quad (39)$$

Сравнительная эффективность проекта находится с помощью следующей формулы [28]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{4,75}{4} = 1,19 \quad (40)$$

Сравнение полученных значений показателей приведено в таблице 18.

Таблица 18 – Эффективность разработки

№	Показатели	Текущий проект	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,7	4
3	Интегральный показатель эффективности разработки	4,75	4
4	Сравнительная эффективность проекта	1,19	

Выводы по главе 4:

В результате проведенных расчетов определили бюджет научно-технического исследования по изучению процесса твердения магниального вяжущего в воде на основе каустического магнезита и раствора бикарбоната магния, который составил 328440,09 руб.

Сравнили характеристики исследования с аналогом, в котором используется другая жидкость затворения – раствор сульфата магния. Выявлены преимущества разработки по таким свойствам, как прочность и водостойкость.

Анализ экономической эффективности разработки показал, что данное исследование по сравнению с аналогом более ресурсоэффективно.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Охлопкова А. В. и др. Применение термического анализа для определения фазового состава гидромагнезитовой породы //Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика МА Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора МИ Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г. Т. 2.—Томск, 2017. – 2017. – Т. 2. – С. 409-411.

2. Старостин Н. М., Охлопкова А. В., Митина Н. А. Смешенные гидрокарбонатные цементы повышенной водостойкости //Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г.—Томск, 2017. – 2017. – С. 334-335.

3. Охлопкова А. В., Митина Н. А. Твердение магниального вяжущего в воде //Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018): сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г.—Томск, 2018. – 2018. – С. 86-87.