

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка состава и способа получения водного раствора бикарбоната магния</b>
УДК <u>666.962</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7А	Чернышов Андрей Олегович		

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	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

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 Кижнера Н.М.

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7А	Чернышову Андрею Олеговичу

Тема работы:

Разработка состава и способа получения водного раствора бикарбоната магния	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.21 №28-12/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Данные литературного обзора
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Исследование по получению эффективной жидкости затворения магниезиального вяжущего
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор; Методы исследований; Экспериментальный анализ	Митина Н.А
Финансовый менеджмент	Маланина В.А.

Социальная ответственность	Черемискина М.С.
----------------------------	------------------

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.01.21
--	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Н.А.	к.т.н.		28.01.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7А	Чернышов Андрей Олегович		28.01.21

Планируемые результаты освоения ООП  
Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом

	процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта

ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	Способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов

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 Кижнера Н.М.  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.05.21	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:  
Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Н.А.	К.Т.Н.		02.02.21

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 82 страниц, 5 рисунков, 18 таблиц, 41 источник.

Ключевые слова: раствор бикарбоната магния, каустический брусит, жидкость затворения, магнезиальный цемент, водостойкость, прочность при сжатии.

Объектом исследования является технология получения раствора бикарбоната магния.

Цель работы – разработка оптимальной технологии получения раствора БКМ как жидкости затворения магнезиального вяжущего.

В процессе исследования проводились выбор сырья и определение факторов эксперимента; карбонизация магнезиального сырья; исследования получившейся жидкости затворения и исследования свойств затворяемого получившимися растворами БКМ магнезиального цементного камня.

В результате исследования установлены эмпирические зависимости концентрации бикарбоната магния от отдельных параметров и их совокупностей, определены оптимальные условия получения раствора БКМ для получения магнезиального цементного камня высокого качества.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: высокая концентрация раствора БКМ, высокая качество магнезиального цементного камня на основе полученных растворов БКМ.

Степень внедрения: лабораторные исследования.

Область применения: в строительной промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в том, что разработка является конкурентоспособной на рынке магнезиальных вяжущих веществ, а цементный камень обладает высоким качеством.

В будущем планируется установление оптимальной концентрации катализатора, исследования влияния на прочность магнезиального цементного камня растворов БКМ высокой концентрации, исследование вариации температуры на процессы получения раствора БКМ.



## Содержание

Введение.....	12
1. Жидкость затворения магнезиального вяжущего.....	14
1.1. Магнезиальное вяжущее. Характеристика, применение.....	15
1.1.1. Водостойкость.....	19
1.2. Влияние жидкости затворения на свойства магнезиального цементного камня.....	21
1.3. Водный раствор бикарбоната магния.....	24
1.4. Предпосылки исследований.....	26
2. Материалы и методы исследования.....	28
2.1. Материалы.....	28
2.1.1. Каустический брусит.....	28
2.1.2. Каустический магнезит.....	29
2.1.3. Углекислый газ.....	30
2.2. Методы исследования.....	31
2.2.1. Методика приготовления раствора БКМ.....	31
2.2.2. Определение концентрации карбонат-ионов и гидрокарбонат-ионов....	32
2.2.3. Методика изготовления образцов магнезиального цементного камня.....	34
2.2.4. Определение прочности при сжатии.....	35
2.2.5. Рентгенофазовый анализ.....	37
3. Получение раствора бикарбоната магния как жидкости затворения магнезиального вяжущего вещества.....	39
3.1 Разработка плана эксперимента.....	39
3.2 Синтез бикарбоната магния и обсуждение результатов.....	41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
4.1 Оценка коммерческого потенциала разработки.....	50
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	55
5. Социальная ответственность.....	66
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	67

5.2 Производственная безопасность.....	68
5.3 Экологическая безопасность.....	71
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
Заключение.....	76
Список используемой литературы.....	78

## Определения, обозначения и сокращения

В данной выпускной квалификационной работе применены следующие термины со следующими сокращениями:

- Бикарбонат магния (БКМ) – кислая соль магния и угольной кислоты с формулой  $Mg(HCO_3)_2$ ;
- Гидрокарбонат-ион (ГКИ) – ион  $HCO_3^-$ ;
- Рентгенофазовый анализ (РФА) – метод качественного и количественного анализа, основанный на отражении рентгеновских лучей от атомов вещества и на интерференции этих лучей.

## Введение

Магнезиальный цемент (Цемент Сореля) – это вяжущее вещество на основе порошкообразного оксида магния. Магнезиальный цемент обладает превосходными характеристиками: большой прочностью, устойчивостью к истиранию, пожаробезопасностью, стойкостью к маслам и солям, высокой стойкостью к изгибающим, растягивающим и ударным нагрузкам и пр. Однако при данных замечательных свойствах получаемый магнезиальный камень обладает низкой водостойкостью.

Низкая водостойкость обуславливается растворимостью солей, которые образуют основную структуру камня и несут основную нагрузку при деформации. Магнезиальное вяжущее затворяется не водой, а солями магния, в качестве которых обычно используют хлорид магния и сульфат магния. Эти соли образуют вместе с оксидом магния водорастворимые соединения.

Есть различные способы повысить водостойкость. Применяется специальная подготовка вяжущего вещества, в том числе и добавление гидрофобных добавок. Водостойкость также возможно повысить за счёт применения другой жидкости затворения, которая бы образовывала нерастворимые кристаллические фазы. Одной из таких жидкостей является раствор бикарбоната магния.

Актуальность исследований в области магнезиальных цементов и жидкостей их затворения состоит в том, что на всей территории Российской Федерации расположено множество мощных месторождений магнезиального сырья. Но даже при его наличии широкого распространения магнезиальные цементы не получили из-за низкой водостойкости. Как показывают предшествующие исследования, использование раствора БКМ в качестве жидкости затворения не только обеспечивает значение коэффициента разрыхления в пределах 0,8 – 1,0, но и выше единицы, что означает, что цементный камень только набирает прочность при контакте с влажным воздухом или водой непосредственно. Это вместе с вышперечисленными

характеристиками магнезиального цементного камня делает его лучшим кандидатом на роль материала для гидротехнических сооружений.

Однако данных о том, как оптимально получать раствор БКМ в целях затворения магнезиального вяжущего, нет. В этом и заключается цель данного исследования – определить оптимальные параметры получения раствора БКМ как жидкости затворения магнезиального вяжущего.

В рамках поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

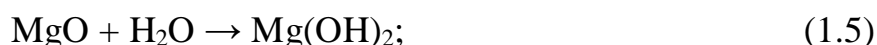
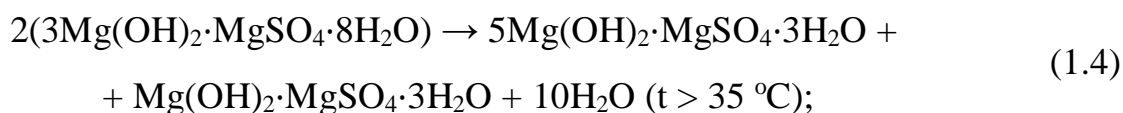
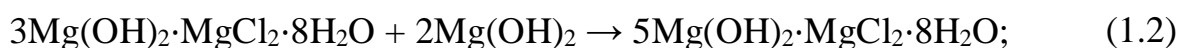
- Определить основные параметры, влияющие на синтез БКМ;
- Составить матрицу планирования эксперимента и выполнить его;
- Исследовать влияние используемых растворов БКМ на конечные свойства магнезиального камня;
- Обработать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Объектом данного исследования является технология получения раствора бикарбоната магния в качестве использования как жидкость затворения.

## 1. Жидкость затворения магниального вяжущего

Практически для любого вяжущего вещества характерно понятие жидкости затворения. Жидкость затворения – это жидкость, при добавлении которой к порошкообразному цементу, последний твердеет и набирает прочность. В роли таких жидкостей могут выступать некоторые органические жидкости для некоторых органических вяжущих веществ, вода для портландцемента, гипса или извести, а также водные растворы солей для некоторых специфичных вяжущих веществ.

Для затворения магниальных вяжущих веществ на основе оксида магния (т.е. вяжущих на основе каустического магнезита или каустического брусита) используются водные растворы солей магния, такие как сульфат магния, хлорид магния, бикарбонат магния и прочие. Хотя реакция с образованием цементного камня протекает и с водой, скорость такой реакции мала за счёт низкой растворимости оксида магния и гидроксида магния в воде. Поэтому вода как самостоятельная жидкость затворения рассмотрена не будет. Химизм процесса затворения магниального вяжущего на основе оксида магния водными растворами солей магния представлен в выражениях 1.1 - 1.6 (1.1 и 1.2 для реакций затворения водным раствором хлорида магния, 1.3 и 1.4 для реакций затворения водным раствором сульфата магния, 1.5 и 1.6 для реакций затворения водным раствором бикарбоната магния) [1, 2].



Однако разные жидкости дают цементные камни с различными свойствами. Так, например, хлорид магния обеспечивает высокую прочность и

низкую водостойкость, сульфат магния имеет высокую водостойкость при пониженной в сравнении с хлоридом магния прочностью, бикарбонат магния обеспечивает абсолютную водостойкость (некоторые составы магнезиального вяжущего образуют цементные камни, набирающие прочность при твердении в воде с повышенной скоростью) [3].

Таким образом, жидкость затворения используется вместе с магнезиальным вяжущим веществом для запуска процессов схватывания, твердения последнего и превращения его в магнезиальный цементный камень. В роли жидкости затворения для магнезиального вяжущего выступают водные растворы солей магния: хлориды, сульфаты и бикарбонаты. Использование той или иной соли прямо влияет на свойства цементного камня.

Так как жидкости затворения неразрывно связаны с вяжущими веществами, то в следующем разделе будет рассмотрено понятие магнезиального вяжущего вещества в целях рассмотрения его особенностей, свойств и характеристик и того, как жидкости затворения на них влияют.

### 1.1. Магнезиальное вяжущее. Характеристика, применение

Вяжущие вещества – порошкообразные материалы, при смешивании с водой и наполнителем образующие пластичную массу, которая впоследствии превращается в искусственный камень [4].

Магнезиальное вяжущее – это вяжущее вещество на основе оксида магния и затворяемое водными растворами солей магния. Такое вяжущее вещество предложено С. Сорелем в 1866 году, поэтому часто встречается название магнезиального вяжущего как цемент Сореля. Такое вяжущее вещество получается в результате обжига магнезита, брусита или доломита или их смесей с последующим помолом продукта обжига.

Обжиг магнезита представляет собой разложение магнезита (карбоната магния) под действием температуры во вращающихся или шахтных печах. Реакция начинается с температуры 400 °С, но протекает с достаточной

скоростью только при (600 - 650) °С. Однако на практике для ускорения и интенсификации процесса температура обжига составляет (800 - 850) °С. При обжиге магнезита при температуре свыше 1000 °С происходит активное спекание гранул окиси магния, ослабевание вяжущих свойств и уменьшение химической активности продукта, поэтому для получения магнезиальных вяжущих веществ такой обжиг крайне не рекомендуется (однако спекшиеся мёртвообожжённые гранулы также обладают вяжущими свойствами, которые проявляются при достижении температуры (60 - 80) °С). Реакция разложения магнезита является обратимой, поэтому для получения именно целевого продукта из печного пространства тягой удаляют излишки углекислого газа для смещения равновесия в сторону продуктов реакции [5].

Для обжига крупнокускового магнезита используются шахтные печи. Они обладают высокой производительностью, низким расходом топлива и низкой металлоёмкостью, однако в них сложно контролировать качество выходного продукта (пережёт или недожёт в таких печах распространены). Поэтому в современной промышленности чаще находят применения вращающиеся печи, которые требуют более мелкого дробления сырьевого материала перед обжигом. При увеличенном расходе топлива на 30 % в сравнении с шахтными печами вращающиеся печи обеспечивают однородный и качественный продукт при его выходе до 120 т/ч. Независимо от используемой печи продукт обжига дробится при необходимости и измельчается в шаровых мельницах [5].

Термическое разложение брусита (гидроксида магния) происходит в том же оборудовании, что и разложение магнезита. При обжиге брусита большое влияние на свойства полученного вяжущего вещества влияет температура обжига. Разложение брусита начинается с (400 – 500) °С, однако максимальной гидравлической активностью обладает продукт обжига при (550 – 600) °С [6]. При повышении температуры обжига свыше 1000 °С частицы оксида магния начинают спекаться, способствуя понижению удельной поверхности и снижению гидравлической активности [6].



Получение магнезиального вяжущего вещества из доломита является нетривиальной задачей, так как при термическом разложении доломитовых пород выделяются не только оксиды магния, но и оксиды кальция, которые также обладают гидравлической активностью. Негашёная известь обладает иной гидравлической активностью и при затворении водой известковое вяжущее вещество и магнезиальное твердеет и изменяется в объёме с разной скоростью, что приводит к образованию непрочной структуры с трещинами. Содержание окиси кальция по массе более 2 % резко ухудшает свойства полученного вяжущего вещества [7]. Поэтому при обжиге доломита выбирают такой режим обжига и размер гранул, чтобы реакции разложения доломита на смесь карбонатов и разложения карбоната магния успели пройти в полной мере, а разложение карбоната кальция – нет. Примером такого режима может служить обжиг частиц размером (1- 2) мм при температуре (750 – 800) °С в муфельной печи [8].

Одной из основных характеристик любого вяжущего вещества является прочность. В зависимости от марки и жидкости затворения у разных составов наблюдается различная прочность. Однако для всех магнезиальных цементов характерна высокая скорость набора прочности – (30 - 50) % от марочной через сутки и (60 - 90) % через семь суток от момента затворения [9]. Магнезиальные вяжущие вещества обладают высокой адгезией к различным материалам и поверхностям, что позволяет использовать их вместе с любыми заполнителями. Магнезиальный цементный камень устойчив к истиранию, легко полируется, прозрачен в тонких слоях при соблюдении определённых условий затворения и твердения, высокопрочен на изгиб и стоек к ударным нагрузкам, к действию солей, масла и воздуха, пожаробезопасен, обладает низкой электрической проводимостью и не электризуется. Так же магнезиальный цементный камень препятствует образованию на нём грибков и бактерий, биологически инертен, что делает его экологически безопасным материалом. Однако магнезиальные вяжущие вещества при всех своих преимуществах обладают тремя значительными недостатками, которые ограничивают их повсеместное

применение: высокой стоимостью, высокой агрессивностью по отношению к стальной арматуре и низкой водостойкостью. Последнее относится исключительно к составам, которые затворяются водными растворами сульфата магния или хлорида магния.

В современном мире распространение получили магнезиальные вяжущие вещества, затворяемые хлоридом и сульфатом магния, как более изученные. Поэтому текущая сфера применения магнезиального вяжущего вещества ограничена его высокой нестойкостью к воде. Чаще всего магнезиальный цемент находит применение в создании монолитных полов и литых элементов декора, в производстве стекломагнезиальных листов. Бесшовные полы на основе магнезиальных цементов обладают рядом преимуществ: они беспыльны, высокой адгезией к поверхностям, устойчивы к образованию трещин и сколов, к истиранию, пожаробезопасны и долговечны. На основе магнезиальных цементов выпускаются самовыравнивающиеся полы. Необходимая водостойкость таких покрытий достигается за счёт добавления в состав смеси гидрофобных полимеров [10]. Использование материала в отделке обуславливается его хорошей способностью к полировке. Стекломагнезиальные листы представляют собой листовый строительный материал на основе каустического магнезита, хлорида магния, вспученного перлита и стекловолокна или иного армирующего материала [11].

Таким образом, магнезиальное вяжущее вещество представляет собой оксид магния в активной неспёкшейся и плохозакристаллизованной форме (т.е. обладающие высокой гидравлической активностью). Получают такое вяжущее при обжиге с последующим помолом магнезита, брусита или доломита или их смесей. Цементный камень из такого вяжущего вещества обладает высокой скоростью набора прочности, отличной адгезией ко многим поверхностям и материалам, пожаробезопасностью и пр. Однако невозможность использования его вместе с арматурной сталью, высокая цена и проблема водостойкости ограничили применение такого вяжущего. Сейчас магнезиальное вяжущее

вещество применяется в заливке бесшовных самовыравнивающихся полов и в производстве стекломагнезиальных листов.

Наиболее остро для применения такого вяжущего стоит проблема водостойкости. Для раскрытия этой проблемы и понимания путей её разрешения этот вопрос будет рассмотрен отдельно.

### 1.1.1. Водостойкость

При планировании работы материала в воде или даже во влажной среде воздушной среде необходимо учитывать то, как материал взаимодействует с избыточной влагой. Это характеризует такой параметр как водостойкость.

Водостойкость – это способность материала сохранять свою проектную прочность при насыщении водой. Количественно выражается через коэффициент размягчения  $k_p$ , который определяется по формуле 1.7, где  $R_v$  – прочность влажного материала,  $R_c$  – прочность сухого материала.

$$k_p = R_v/R_c \quad (1.7)$$

Как следует из формулы, коэффициент размягчения принимает положительные значения от нуля. Для большинства материалов коэффициент не превышает значение единицы, так как подавляющее большинство материалов под действием влаги размягчаются и разрушаются. Однако для некоторых материалов за счёт химического взаимодействия с водой и образования более прочных структур наблюдается коэффициент больший единицы. Материалы, у которых  $k_p$  превышает 0,8 считаются водостойкими.

Водостойкость магнезиальных вяжущих веществ различна в зависимости от условий затворения. Классическое магнезиальное вяжущее затворяется хлоридами и сульфатами магния, образуя после твердения структуру, состоящую из тригидроксихлоридов и тригидросульфатов магния соответственно, которые в свою очередь растворимы в воде. Наличие таких неводостойких соединений в конечной структуре магнезиального цементного камня обуславливают низкий коэффициент водостойкости последнего на уровне

0,1 – 0,3 [12]. Однако использование иных жидкостей затворения, например бикарбоната магния, приводит к образованию других кристаллических фаз в результате твердения с меньшей растворимостью, что приводит к большей водостойкости.

Также существует иные способы увеличения водостойкости. Один из них – изменение состава вяжущего вещества. Увеличение водостойкости достигается за счёт введения специальных гидрофобных добавок либо же особой подготовкой вяжущего. Например, добавление брусита в состав магнезиального вяжущего увеличивает коэффициент размягчения до 0,8 – 0,9 [13], что переводит магнезиальный цемент в класс гидравлических вяжущих. Также для повышения водостойкости можно добиться добавкой термически активированного метакаолинита при (500 - 1000) °С фракции менее 10 мкм в количестве от 2 % до 50 % от активного оксида магния, что повышает коэффициент разрыхления до 0,9 – 1,1 [14]. Также повышают водостойкость следующие закономерности и операции [15]:

- Степень обжига и количество пережога (при пережоге возрастает доля закристаллизованного оксида магния – периклаза и количество оксида кальция вследствие разложения сопутствующих карбонатов кальция );
- Оптимизация состава цементной смеси (введение добавок извести, портландцемента или ангидрита, изменение количества оксида магния);
- Использование активных заполнителей (микрокремнезём, диопсид, серпентиниты и тальк участвуют в структурообразовании и способствуют образованию более водостойких кристаллических структур);
- Введение органических добавок (поливинилацетат, карбоксиметилцеллюлозы натриевая соль, щавелевая кислота, гидрофобные полимеры).

Таким образом, водостойкость – это способность материала сохранять свою прочность при насыщении водой. Количественно определяется коэффициентом размягчения; материалы, значение коэффициента которых превышает 0,8, считаются водостойкими. Классическое магнезиальное вяжущее

вещество, затворяемое водными растворами хлорида и сульфата магния, водостойкостью не обладает. Однако особая подготовка цементного состава в виде добавления добавок брусита или гидрофобных органических полимеров способна заметно повысить водостойкость магнезиального вяжущего, переведя его из категории воздушных в гидравлические вяжущие вещества. Так же на водостойкость влияет выбор жидкости затворения, как определяющий фактор состава конечных кристаллических фаз после твердения. Однако изменение жидкости затворения напрямую меняет и другие конечные свойства цементного камня, что отражается на допустимых пределах его эксплуатации, что будет рассмотрено в дальнейшем.

## 1.2. Влияние жидкости затворения на свойства магнезиального цементного камня

Для затворения магнезиальных вяжущих веществ используются водные растворы солей магния. Но различные соли образуют различные кристаллические соединения в составе цементного камня с различными свойствами. Таким образом, выбор жидкости затворения сильно влияет на свойства конечного продукта и на области его применения. Рассмотрим влияние основных используемых жидкостей затворения на свойства магнезиального вяжущего.

К классическим жидкостям затворения относят растворы хлорида магния и сульфата магния. Вяжущие вещества с такими жидкостями затворения производятся в промышленных масштабах для создания полов и стекломагниевых листов. Для применения таких жидкостей затворения ГОСТ 1216-87 регламентирует следующие общие требования: время начала схватывания не ранее 20 минут, время конца схватывания не более 6 часов, предел прочности при растяжении не менее 1,5 МПа.

Магнезиальные вяжущие вещества могут затворяться раствором хлорида магния. Применение такой жидкости затворения наиболее распространено.

После схватывания и твердения в структуре магнезиального камня образуются тригидроксихлориды магния, которые обеспечивают повышенную прочность, низкую водостойкость (0,1 – 0,3) и высокую гигроскопичность (до 8 %). Использование раствора хлорида магния позволяет получить цементный камень с прочностью на сжатие до 50 МПа [16], до 20 МПа и выше с прочностью на растяжение и на изгиб [8]. На практике применение хлорида магния может быть реализовано в двух формах: в виде сухой добавки к цементному порошку (тогда смесь затворяется водой) и в виде раствора соли. В первом случае содержание хлорида магния, как правило, составляет 0.5 частей от активного оксида магния. Во втором случае применяется раствор с содержанием соли 30 % по массе [16]. Применение хлорида магния обеспечивает достаточно высокое качество магнезиальных тампонажных растворов в скважинах по добыче нефти и газа [17]. Реакции образования цементного камня приведены в выражениях 1.8.



Магнезиальные вяжущие вещества могут затворяться раствором сульфата магния. Использование сульфата магния обеспечивает примерно на 10 % меньшую прочность, чем применение хлорида магния [18]; повышенную водостойкость и пониженную гигроскопичность (1 %). Сульфат магния также как и хлорид вводится либо в виде сухого порошка в цемент, и тогда смесь затворяется водой, либо в виде раствора соли с плотностью (1,1 – 1,3) кг/дм<sup>3</sup> или (10 – 26) мас. %. Часто применяется вместе с хлоридом магния для обеспечения и необходимой прочности, и водостойкости. Структура представлена кристаллами тригидроксисульфата магния, получаемыми по выражению 1.9.



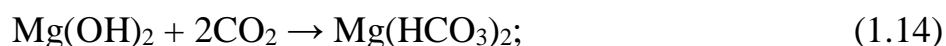
Существуют исследования по применению неклассических жидкостей затворения. К таким веществам относятся раствор трилона Б, фторангидрит, раствор БКМ и прочие.

Магнезиальные вяжущие вещества могут затворяться раствором трилона Б или водой, если в состав сухой цементной смеси предварительно введён трилон Б в количестве (5 – 10) %. Оптимальное водотвёрдое отношение такого цемента – 0,5. После твердения цементного камня образуется структура, преимущественно состоящая из гидроксида и карбоната магния. Такой цементный камень после 28 суток твердения на воздухе обладает прочностью на сжатие до 36 МПа. Однако камень способен набирать прочность и в воде, достигая 49 МПа к тому же времени, что обуславливает большой коэффициент водостойкости [19]. Механизм процесса заключается в следующем: гидравлически активный оксид магния реагирует с водой с образованием рыхлого гидроксида магния, который вступает во взаимодействие с трилоном Б с образованием растворимой соли; эта соль адсорбируется на поверхности непрореагировавших карбоната и гидроксида магния и препятствует росту и объединению кристаллов гидроксида и гидрокарбоната магния; после чего адсорбционный слой разрушается, вода испаряется, и после перекристаллизации формируется кристаллическая фаза цементного камня. Представленные выше процессы отражены в реакциях 1.10 и 1.11.



Также есть исследования по применению в качестве добавки фторангидрита производства ООО «Галоген» (г. Пермь). В таком случае жидкостью затворения также будет вода при водотвёрдом отношении 0,42; однако конечные свойства цементного камня будут уже иные. Фторангидрит представляет собой рыхлый порошок из смеси инертного флюорита и нерастворимого ангидрита. По мере увеличения содержания фторангидрита с 20 % до 50 % уменьшаются срока схватывания, увеличивается прочность (более чем в 2 раза превосходит прочность цементного камня на основе тригидрохлорида магния для состава 50 % фторангидрита) и уменьшается гигроскопичность. Структура такого камня представляет собой смесь кристаллов гидроокисульфатов магния и двуводного сульфата кальция [20].

Также для использования в роли жидкости затворения стали применять раствор бикарбоната магния. Применение раствора данной соли обеспечивает высокую прочность (до 64 МПа) и отличную водостойкость. Так же, как и в случае применения трилона Б, твердеющие в воде цементные камни набирают большую прочность чем на воздухе. Следовательно, для цементных камней на основе БКМ также свойственен коэффициент водостойкости большой единицы (до 1,4). Применение БКМ также позволяет использовать старые магниезиальные каустические порошки, частично впитавшие из воздуха воду и углекислый газ, с той же эффективностью, что и обычное вяжущее за счёт механизма протекаемых реакций. Механизм образования цементного камня заключается в следующем: сначала оксид магния гидратируется до гидроксида магния, после чего последний реагирует с БКМ и водой с образованием нерастворимой в воде кристаллической фазы с выделением углекислого газа. Этот углекислый газ реагирует с гидроксидом магния, и образуется вторичный бикарбонат магния. В старых порошках образуется гидроксид магния, который расходуется в реакции, и карбонат магния, которых после соединения с углекислым газом и водой также образует вторичный бикарбонат магния. Вышеописанные процессы отражены в выражениях 1.12 – 1.15 [21].



Однако применение БКМ возможно только в его растворе, так как соль не существует в кристаллическом виде [21].

### 1.3. Водный раствор бикарбоната магния

Бикарбонат магния (гидрокарбонат магния) – это кислая соль магния и угольной кислоты. Данная соль не находит широкого применения в



промышленности, поэтому единой общепринятой технологии её получения нет; сейчас она может быть получена различными способами [22]:

- Реакцией растворимой соли магния и раствора карбоната аммония;
- Реакции ацетата магния и гидрокарбоната натрия;
- Карбонизация синтетического диппенгита при давлении (0,5 – 5) атм.;
- Карбонизацией каустической магнезиальной суспензии.

Бикарбонат магния существует в определённых условиях. Соль существует в водных растворах в концентрациях, ниже определённых (как минимум 38 г/л по методу выпаривания [22]). При концентрировании раствора соль отщепляет молекулу воды и углекислого газа с образованием карбоната магния. При выделении вещества в кристаллическом виде на воздухе также разлагается. Разлагается и при нагреве свыше (50-55) °С [23].

Сфера применения раствора БКМ ограничена. Применяется в качестве перорального средства для ликвидации заболеваний и травм желудочно-кишечного тракта [22]. Также соли применяются в качестве пищевой добавки E504, которая является стабилизатором и уплотнителем растительных тканей, препятствует слёживанию и агрегированию, регулирует кислотность продуктов питания. Однако растворы БКМ могут найти своё применение в вяжущей промышленности в качестве жидкости затворения.

Применение раствора бикарбоната магния в качестве жидкости затворения магнезиальных вяжущих веществ обеспечивает высокую прочность и водостойкость полученного цементного камня, способного служить даже в высокоминерализованной воде. При применении раствора бикарбоната магния у выдержанных в воде составов наблюдается увеличение прочности на сжатие, что делает использование цемента в гидротехнических сооружениях целесообразным.

#### 1.4. Предпосылки исследований

В современном мире усиливается интерес к магнезиальным цементам за счёт их уникальных свойств. Магнезиальные цементы обладают хорошей адгезией ко многим материалам и поверхностям, устойчивы к изгибу, истиранию и ударным нагрузкам, электро- и пожаробезопасны. Также магнезиальный цемент стоек к разрушающему действию растений, грибов и микроорганизмов, масла и солей, что делает его применение в некоторых областях более целесообразным, чем применение портландцемента.

Кроме того, на всей территории Российской Федерации расположено множество месторождений минерального сырья для производства магнезиального вяжущего. Некоторые крупные месторождения представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Месторождения сырья для производства магнезиальных цементов

Сырьё	Месторождение	Расположение	Примечания
Брусит	Кульдурское	Еврейская автономная область	Второе крупнейшее месторождение в мире
Доломит	Данковское	Липецкая область	-
	Темиртау	Кемеровская область	-
Магнезит	Савинское	Иркутская область	Крупнейшее в мире
	Саткинское	Южный Урал	Группа месторождений
	Халиловское	Оренбургская область	-

Также для производства магнезиального вяжущего вещества нужно затратить меньшее количество энергии, так как его обжиг происходит при меньших температурах. При всех плюсах и доступности сырья магнезиальные цементы не нашли широкого распространения за счёт своей низкой

водостойкости. Эту проблему решает применение иной жидкости затворения магнезиальных цементов – раствора бикарбоната магния.

Раствор БКМ может производиться из того же сырья, из которого производят сам магнезиальный цемент, т.е. предприятиям производителям будет удобно производить оба компонента цемента в одном месте. В процессе карбонизации магнезиальной суспензии происходит расходование углекислого газа, который активно выделяется при обжиге магнезита, доломита или при производстве портландцемента. Таким образом, существует способ организовать производство магнезиального цемента и раствора БКМ так, чтобы эмиссия углекислого газа полностью отсутствовала, а в случае применения брусита производилась бы утилизация лишнего углекислого газа.

Однако сейчас не существует общепринятой технологии получения оптимального раствора БКМ как жидкости затворения. Поэтому целью данной работы ставится разработка технологии получения раствора БКМ как жидкости затворения магнезиального вяжущего. Исходным сырьём для получения раствора БКМ выбран брусит как наиболее чистое сырьё с экологическими перспективами по утилизации углекислого газа. В рамках этой цели поставлены следующие задачи:

1. Определить основные варьируемые параметры получения раствора БКМ;
2. Разработать план проведения эксперимента на основе вариации параметров;
3. Синтезировать растворы БКМ согласно плану эксперимента;
4. Оценить затворяющую способность растворов БКМ, исходя из их концентрации и параметров синтеза.

## 2. Материалы и методы исследования

В ходе выполнения данной работы использовались различные расходные и вспомогательные материалы, с которыми производили различные операции. В данном разделе будут описаны все материалы и используемые методы исследований для обеспечения достоверности и воспроизводимости результата.

### 2.1. Материалы

Основные расходуемые материалы (за исключением воды) в процессе синтеза раствора БКМ и затворения этим раствором магнезиального цемента: каустический брусит, каустический магнезит, углекислый газ.

#### 2.1.1. Каустический брусит

Каустический брусит представляет собой обожжённый и измельчённый природный брусит. Брусит добыт с единственного на территории Российской Федерации месторождения, Кульдурского (Хабаровский край), и переработан предприятием ООО «Сибирские порошки» (г. Иркутск) при температуре обжига 800 °С. Данный брусит поставляется под маркировкой ПМК-75, что согласно требованиям ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия» означает, что в веществе содержание активного оксида магния не менее 75 %, содержание оксида кальция не превышает 4,5 %, а оксида кремния – 3,5 %; потери при прокаливании не более 18 %.

Магнезиальной порошок марки ПМК-75 производится в качестве вяжущего вещества, однако в данной работе он используется в качестве сырья для получения бикарбоната магния. При температурах до 55 °С и повышенном давлении брусит реагирует с водой и с углекислым газом с образованием БКМ, устойчиво существующим только в виде раствора.

Используемый каустический брусит состоит практически из одной фазы оксида магния, что подтверждается данными о химическом составе бруситовой породы и каустического брусита, представленными в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав брусита и каустического брусита

Материал	Содержание оксидов, мас. %						
	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δm <sub>пр.</sub>	Сумма
Исходный брусит	63,91	1,90	2,00	1,06	0,19	30,94	100,00
Каустический брусит	92,54	2,75	2,90	1,53	0,28	-	100,00

### 2.1.2. Каустический магнезит

Каустический магнезит представляет собой обожжённый и измельчённый природный магнезит. Магнезит добыт с Савинского месторождения (Иркутская область), и переработан предприятием ООО «Сибирские порошки» (г. Иркутск) при температуре обжига 800 °С. Данный магнезит также поставляется под маркировкой ПМК-75, что согласно требованиям ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия» означает, что в веществе содержание активного оксида магния не менее 75 %, содержание оксида кальция не превышает 4,5 %, а оксида кремния – 3,5 %; потери при прокаливании не более 18 %.

Магнезиальный порошок марки ПМК-75 производится в качестве вяжущего вещества, именно в этих целях и он и используется. Согласно описанной ниже методике приготовления цементного теста каустический магнезит смешивается с раствором бикарбоната магния в определённой пропорции, после чего цементное тесто схватывается, твердеет, и получившийся цементный камень подвергается испытаниям.

Используемый каустический магнезит состоит из двух фаз – фазы оксида магния и фазы неразложившегося высокодефектного карбоната магния, что

подтверждается данными о химическом составе магнезитовой породы и каустического магнезита, представленными в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав магнезита и каустического магнезита

Материал	Содержание оксидов, мас. %							
	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Δm <sub>пр.</sub>	Сумма
Исходный магнезит	46,29	1,58	0,58	0,84	0,79	0,29	49,63	100,00
Каустический магнезит	75,64	3,18	-	4,24	-	-	16,94	100,00

### 2.1.3. Углекислый газ

Углекислый газ представляет собой газообразное состояние диоксида углерода с химической формулой CO<sub>2</sub>. Газ не имеет ни цвета, ни запаха, не поддерживает дыхание и горение большинства веществ и имеет плотность в полтора раза большую плотности воздуха. Это обуславливает особые требования безопасности по работе с веществом – в случае утечки газ будет стелиться по низу, в том числе по подвальным помещениям, что предьявляет необходимость контроля уровня газа и наличие достаточной вентиляции.

В промышленности углекислый газ получают как побочный продукт в результате реакции разложения известняка или доломита на цементных производствах, очисткой дымовых газов или газообразных продуктов спиртового брожения. После чего газ сжимается и компрессором подаётся в стальные баллоны.

Углекислый газ поставляется в баллонах черного цвета с жёлтой надписью высокого давления объёмом 40 литров и содержащим 24 кг углекислоты в сжиженном состоянии. Под воздействием теплоты окружающей среды углекислота испаряется и над уровнем жидкости поддерживается давление в 40 атмосфер при полной заправке баллона, что регистрируется

газовым манометром, присоединённым к газовому редуктору. Поэтому полная заправка баллона не допускается.

При открытии баллона углекислый газ под действием разности давлений устремляется наружу. Пока давление снаружи баллона или в реакционной камере, куда этот газ направляется, меньше внутреннего процесс будет идти самопроизвольно и газовый насос не требуется.

Согласно ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности» баллоны с углекислым газом должны храниться в вертикальном положении без доступа прямых солнечных лучей и осадков на расстоянии не менее 1 метра от отопительных систем и иных источников тепла. Баллоны устанавливаются в специальные гнёзда и фиксируются барьером от падения (например, цепью). Заправка баллонов разрешена только в баллоны, прошедшие техническое освидетельствование, обязательное каждые пять лет.

## 2.2. Методы исследования

В данном подразделе будут описаны основные методы, используемые в данной работе: приготовление раствора бикарбоната магния, определение водородного показателя, определение концентрации карбонат-ионов и гидрокарбонат-ионов, определение прочности при сжатии, рентгенофазовый анализ и термический анализ.

### 2.2.1. Методика приготовления раствора БКМ

Приготовление раствора бикарбоната магния является разработкой данной работы и состоит из следующих этапов:

1. Подготовка навесок и аликвот сырьевых компонентов;
2. Загрузка необходимого сырья в химический реактор и подготовка его к работе;

3. Химическая реакция;
4. Выгрузка продукта химической реакции и непрореагировавшего сырья из химического реактора.

Данные стадии протекают последовательно и циклично при использовании химических реакторов периодического действия или одновременно при использовании реакторов непрерывного действия.

В дальнейшем происходят процессы определения концентрации полученного вещества, отделение осадка и концентрирование при необходимости.

#### 2.2.2. Определение концентрации карбонат-ионов и гидрокарбонат-ионов

Определение концентрации карбонат-ионов и гидрокарбонат-ионов производится в целях установления выходы продукта и его качества – для качественного продукта характерно низкое содержание карбонат-ионов и высокое содержание гидрокарбонат-ионов (за исключением случаев, когда полученный бикарбонат используется в качестве жидкости затворения).

Определение проводится по ГОСТ 23268.3–78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонат-ионов». Для анализа взяты пробы объёмом 2 литра. Согласно межгосударственному стандарту, метод определения концентрации гидрокарбонат-ионов представляет собой титрование пробы минеральной воды раствором серной кислоты в присутствии индикатора – метилового оранжевого.

Для проведения анализа использовались следующие материалы, реактивы и аппаратура: колбы мерные лабораторные, ёмкостью 100 и 1000 см<sup>3</sup>; колбы конические стеклянные лабораторные, ёмкостью 250 см<sup>3</sup>; приборы мерные (пипетки 10, 25, 50 см<sup>3</sup> и бюретки 25 см<sup>3</sup>); капельницы; холодильник стеклянный лабораторный; вода дистиллированная; кислота соляная; метиловый оранжевый; весы технические типа ВЛТ-200.



Процедуры приготовления к анализу включают в себя приготовление раствора соляной кислоты из фиксаля, приготовление 0,1 % раствора метилового оранжевого и подготовку бюретки. Подготовка бюретки заключается в последовательном выполнении следующих этапов: промывки бюретки дистиллированной водой, промывки бюретки титрантом (соляной кислотой), удаления остатков воздуха из бюретки.

При проведении анализа аликвоты 25 см<sup>3</sup> исследуемого раствора помещаются в конические колбы, ёмкостью 250 см<sup>3</sup>. К аликвотам добавляются 2-3 капли индикатора метилового оранжевого. Согласно методике, требуется добавить дистиллированной воды до метки 100 см<sup>3</sup>. После чего по каплям из бюретки добавляется раствор соляной кислоты с постоянным перемешиванием содержимого колбы до переходы окраски из жёлтой в розовую. Так как раствор бикарбонат-иона концентрированный (более 300 мг/дм<sup>3</sup>), то после получения розовой окраски пробу кипятят 5-7 минут с подключённым обратным холодильником. В случае изменения окраски пробу дотитровывают.

Титрование идёт до получения двух результатов, отличающихся друг от друга не более чем на 3,0 %. Среднее арифметическое значение объёма соляной кислоты подставляется в формулу 2.1, где X – массовая концентрация гидрокарбонат-иона, мг/дм<sup>3</sup>; V – объём раствора израсходованной на титрование соляной кислоты, см<sup>3</sup>; n – нормальность раствора соляной кислоты, моль экв./дм<sup>3</sup> (0,1); 61 – грамм-эквивалент гидрокарбонат-иона.

$$X = \frac{V \cdot n \cdot 61 \cdot 1000}{V_1} = 244 \cdot V \quad (2.1)$$

Определение содержания карбонат-иона также проводится титриметрическим методом с использованием соляной кислоты в присутствии фенолфталеина с фиксацией точки эквивалентности на значении водородного показателя 8,0 – 8,2; однако добавление фенолфталеина в любой из титруемых растворов не вызвало появления фиолетовой окраски. Значит содержание карбонат-иона предельно мало, и титрование не требуется.

### 2.2.3. Методика изготовления образцов магнезиального цементного камня

Главным критерием качества получаемой жидкости затворения является прочность цементного камня, получаемого в результате затворения и твердения магнезиального вяжущего ПМК-75. В данном подразделе приведена методика его получения.

Для приготовления цементного теста требуется отметить навеску цемента и аликвоту жидкости затворения. Согласно ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема» и проведенным ранее исследованиям было установлено оптимальное водотвёрдое отношение для получения удобоукладываемого теста – 0,46. Навеска цемента высыпается в полукруглую чашу, к ней вливается аликвота жидкости затворения, после чего смесь перемешивается механически или вручную закруглённым шпателем перетирающими движениями до однородного состояния.

Далее цементное тесто помещается в формы. Применяются формы силиконовые, полимерные и металлические. Рекомендуется смазывать формы, если они не являются разборными, так как магнезиальный цемент обладает высокой адгезией ко многим веществам и поверхностям. В данной работе использовались кубические формы с длиной ребра куба 3 см. Затем цементное тесто штыкуется по периметру формы и в центре для обеспечения равномерного и полного заполнения тестом формы.

Далее для удаления газообразной фазы в целях уменьшения пористости и повышения прочности формы помещают на вибростол или обеспечивают необходимое вибрационное воздействие вручную. Далее происходит схватывание образцов, которое длится не более 6 часов.

После схватывания образца расформовывают и оставляют для твердения на 28 суток для набора марочной прочности в воздушной и водной средах. После твердения образцы сушат при температуре, не превышающей 70 °С для

сохранения существующих кристаллических фаз и отправляют на дальнейшие испытания.

Таким образом методика состоит в смешении порошкообразного вяжущего вещества и жидкости затворения в оптимальном соотношении, формовке образцов кубической формы, их схватывания, твердения и сушке.

#### 2.2.4. Определение прочности при сжатии

Прочность является одним из важнейших свойств любого конструкционного или строительного материала. Существуют различные виды прочности и различные методики их определения, но в рамках данной выпускной квалификационной работы будет рассмотрена методика определения предела прочности при сжатии как главной прочностной характеристики магнезиального цементного камня.

Определение прочности при сжатии производится согласно ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» и ГОСТ Р 58527-2019 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе».

Для определения предельной прочности при сжатии, согласно вышеприведённым нормативным документам, требуются следующие приборы и материалы: испытательная машина (гидравлический пресс), штангенциркуль, линейка металлическая, весы технические, угольник поверочный, щупы измерительные с точностью до 0,01 мм, сито с сеткой 1 мм, шкаф сушильный, гладкая металлическая плита, подкладки (картонные).

Методика проведения испытаний относится к методам разрушающего контроля, т.е. в результате испытаний нарушается пригодность образца к дальнейшему использованию. Для анализа берутся 3 образца кубической формы с размером грани 3 см, полученные в результате твердения в течение 28 суток с последующей сушкой при 70 °С.

Перед испытаниями на определение предельной прочности при сжатии образцы необходимо подготовить. При подготовке необходимо образцы при необходимости довести до кубической формы наждачной бумагой или абразивным кругом, измерить среднюю площадь сечения штангенциркулем в направлении, перпендикулярном прикладываемому давлению, взвесить образцы на технических весах. Испытаниям подвергаются образцы без заметных трещин и больших сколов.

После этого образцы помещаются в рабочее пространство прессы на металлическую пластину. Между головкой прессы и пластиной не должно быть посторонних предметов, осколков или пыли. На плоскости контакта образца с пластиной и подвижной головкой прессы сверху и снизу кладутся две одноразовые картонные прокладки. Направление прикладываемого давления должно быть перпендикулярно направлению кристаллизации цементных образцов (т.е. кубические образцы лежат на боку). Затем подвижная головка прессы приводится в положение контакта с верхней гранью образца, и пресс включается. Фиксируется максимальное значение прилагаемого давления.

Обработка результатов проводится вычислением предела прочности при сжатии для каждого образца-кубика по формуле 2.2 и нахождением среднего арифметического значения предела прочности при сжатии для материала из трёх полученных результатов, где  $\sigma$  – предел прочности при сжатии, кгс/см<sup>2</sup>;  $U$  – показание прессы, мВ;  $k$  – коэффициент перевода, кг/мВ;  $S$  – площадь поперечного сечения (определяется как произведение длин боковых граней), см<sup>2</sup>.

$$\sigma = \frac{U \cdot k}{S} \quad (2.2)$$

При необходимости полученный результат переводится в МПа, производится оценка прочности и предполагаемой марки исследуемого состава.

Следует заметить, что предел прочности при сжатии зависит от формы, в которой образцы схватывались, от их размера, формы разрушаемых образцов, конструкции и состояния прессы, скорости приложения нагрузки и пр. Это

обуславливает большой коэффициент вариации полученных значений при небольшой выборке [23].

#### 2.2.5. Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ является методом качественного и количественного анализа вещества, основанный на явлении интерференции рентгеновских лучей. При облучении вещества рентгеновским лучом, проходящим различное расстояние внутри кристалла, наблюдается интерференционная картина с пиком, характерным для конкретного вещества.

Рефрактометр представляет собой прецизионное оборудование с высокой точностью регистрации сигналов. Конструктивно состоит из источника рентгеновского излучения – рентгеновской трубки, бюретки с исследуемым образцом и датчика, регистрирующего интерференционную картину. Источник излучения способен двигаться по окружности вокруг бюретки, тем самым изменяя угол падения лучей на образец. Результат такого движения – рентгенограмма, на которой на фоне горизонтальной базовой линии (отсутствие интерференции) наблюдаются интерференционные пики определённой интенсивности при определённых углах падения рентгеновских лучей, индивидуальные для каждого вещества.

Для определения состава смеси рентгенограмма расшифровывается. Для этого все пики нумеруются, у каждой вершины определяется интенсивность (ордината) и двойной угол (абсцисса). Относительно самого высокого пика определяется относительная интенсивность в процентах, по формуле 2.3 рассчитывается межплоскостное расстояние, где  $d$  – межплоскостное расстояние, нм;  $n$  – порядок отражения;  $\lambda$  – длина волны, нм;  $\theta$  – угол скольжения.

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \sin \theta} \quad (2.3)$$

Дальнейшая расшифровка рентгенограмм заключается в соотнесении полученных значений относительной интенсивности и межплоскостного расстояния полученных пиков со справочными значениями. При нахождении у некоторого вещества трёх и более совпадений можно справедливо утверждать, что оно в исследуемой смеси содержится.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г7А	Чернышову Андрею Олеговичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 200 тыс. руб., штат не более 5 человек</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценена перспективность и потенциал проекта с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Сформирован бюджет проекта в 189 тыс. руб.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	28.01.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина В.А.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г7А	Чернышов Андрей Олегович		

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

##### Введение

В современном мире вопросы экологии и сбережения ресурсов становятся всё более актуальными. В целях решения этих проблем улучшаются существующие технологии и разрабатываются новые. Одна такая разработка рассматривается в данной выпускной квалификационной работе – технология получения раствора бикарбоната магния как жидкости затворения для магнезиального вяжущего.

Классическое магнезиальное вяжущее, затворяемое растворами хлорида и сульфата магния, является достаточно прочным, обладает отличной адгезией к различным поверхностям и высокой износостойкостью, однако абсолютно лишено водостойкости. Использование другой соли магния, бикарбоната, позволяет получить цементный камень, не только не разрушающийся под воздействием влажного воздуха или воды, но и набирающий прочность при твердении в воде. Целесообразность применения такого вещества перед портландцементом заключается в том, что магнезиальный камень устойчив перед минеральными водами и упрочняется в них, что делает его использование в гидротехнических сооружениях удобным и безопасным.

Данная работа представляет собой проект научного исследования по получению раствора БКМ как жидкости затворения магнезиального цемента ПМК-75. Цель данного раздела – оценить целесообразность данного проекта. В рамках этой цели поставлены следующие задачи: оценить коммерческий потенциал разработки, произвести планирование научно-исследовательских работ.



#### 4.1 Оценка коммерческого потенциала разработки

Для оценки коммерческого потенциала разработки, прежде всего, необходимо понять будет ли она конкурентоспособна среди аналогов – вяжущих смесей на основе хлоридов магния и сульфатов магния. Для анализа конкурентоспособности необходимо определить целевые области рынка и выделить сегменты на этом рынке для сравнения проекта с аналоговыми в соответствующих условиях.

Целевой рынок – это часть рынка, предназначенная для сбыта продукции. Определённая группа потребителей, заинтересованная в приобретении данного продукта, называется сегментом. Сегментирование рынка (т.е. разделение его на разные группы потребителей) может происходить по различным критериям, зависящим от специфики предприятия и поставленных целей сегментирования. В данном случае эти критерии – размер потребителя и род его деятельности. Сегментирование рынка представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования

Размер компании	Род деятельности	
	Строительство	Розничная продажа
Малый		
Средний		
Большой		

Из рассмотрения карты сегментирования следует, что потенциальными потребителями могут быть строительные компании любых размеров и частные покупатели или магазины розничной продажи строительных материалов малого и среднего размера. Конкурентный анализ и выход на рынок будет планироваться для работы и сотрудничества с компаниями-потребителями среднего размера, однако возможно расширение производства до крупнотоннажного.

Следующим этапом в оценке потенциала разработки является анализ конкурентных технических решений. Сравнение нашей разработки (индекс 1) будет производиться с магнезиальным цементом производства ООО «Стромэкс» МАГцемент [25] (индекс 2) и с цементом выпуска ООО «ТД «Галит» [26] (индекс 3), выпущенных по ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия». Анализ проводится по технологическим и экономическим критериям по пятибалльной шкале, где величина балла прямопропорционально отражает соответствие критерию. Каждому критерию присвоен вес, определяемый степенью значимости его в анализе экспертно. Результат оценки представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений и разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>
Технические критерии оценки				
Прочность	0,2	4	5	4
Водостойкость	0,2	5	1	1
Простота эксплуатации	0,1	3	5	5
Надёжность	0,1	5	3	2
Экономические критерии оценки				
Цена	0,2	3	3	2
Наличие сертификации разработки	0,1	5	4	4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	3
Итого	1,0	29	24	21

Далее необходимо подсчитать конкурентоспособность разработки или компании по формуле 4.1 где  $K$  – конкурентоспособность,  $B$  – вес критерия,  $B_i$  – балл критерия,  $i$  – критерий.

$$K = \sum B_i B_i \quad (4.1)$$

Согласно приведённой выше формуле конкурентоспособности нашей разработки, ООО «Стромэкс» и ООО «ТД «Галит» соответственно равны 4,1, 3,3 и 2,8. На основании этих данных рассчитывается коэффициент конкурентоспособности, где  $K_k$  – коэффициент конкурентоспособности,  $K_\phi$  – конкурентоспособность оцениваемой фирмы,  $K_{cp}$  – средняя арифметическая конкурентоспособность компаний-конкурентов.

$$K = \frac{K_\phi}{K_{cp}} = \frac{K_1}{0,5(K_2 + K_3)} = \frac{4,1}{0,5(3,3 + 2,8)} = 1,34 \quad (4.2)$$

Исходя из того, что коэффициент конкурентоспособности больше единицы, можно справедливо утверждать, что анализируемая разработка конкурентоспособна на рынке в данных условиях. Основное преимущество разработки перед конкурентами заключается в качестве готового продукта – цементного камня. В отличие от аналоговых продуктов цементный камень на основе раствора БКМ обладает превосходной водостойкостью и не подвержен разрушению в воде или во влажном воздухе. В этом же и заключается главный недостаток конкурентных продуктов – при попытке увеличить водостойкость за счёт добавок и модификаторов увеличивается цена их продукта.

Последним этапом в оценке коммерческого потенциала разработки будет комплексный анализ сильных и слабых сторон проекта, возможностей и угроз, т.е. SWOT-анализ. Анализ состоит из трёх этапов:

1. На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, его возможности (т.е. предполагаемые желаемые ситуации в настоящие или будущем) и угрозы (не желаемые возможности), стоящие перед ним;
2. На втором этапе строится интерактивная матрица соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды (т.е. возможностям и угрозам);

3. На третьем этапе составляется итоговая SWOT-матрица проекта на основании данных предыдущих этапов.

Результаты анализа представлены в таблицах 4.3, 4.4 и 4.5.

Таблица 4.3 – Сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
С1: экологическая чистота производства	Сл1: неосведомлённость рынка о продукте	В1: государственная поддержка и субсидирование	У1: рост цен на нефть и удорожание логистики
С2: простота производства	Сл2: излишние логистические траты	В2: научный прогресс в области	У2: перебои с поставками
С3: высокое качество цементного камня	Сл3: отсутствие нормативной документации	В3: увеличение объёмов строительства	У3: появление новых компаний-конкурентов
С4: дешевизна производства	Сл4: сложность реализации неперiodического производства	В4: возрастание интереса общества к экологичным технологиям	У4: появление аналоговых водостойких разработок
С5: безотходность производства	Сл5: большая зависимость от поставок извне	В5: открытие новых месторождений	У5: инфляция и сокращение объёмов строительства

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица соответствия

Возможности и угрозы	Стороны проекта									
	С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
В1	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
В2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-
В3	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-
В4	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-
В5	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
У1	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
У2	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+
У3	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-

Продолжение таблицы 4.4

Возможности и угрозы	Стороны проекта									
	C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
У4	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
У5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 4.5 – SWOT-анализ

Стороны проекта	Возможности	Угрозы
Сильные	<ol style="list-style-type: none"> <li>Использовать и стимулировать научные изыскания в области водостойких магнезиальных цементов;</li> <li>Стимулировать строительный рынок и спрос за счёт саморекламы, субсидий и привлечения экологических движений.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Заключение договоров о поставках с несколькими поставщиками для увеличения стабильности поставок;</li> <li>Закупка или аренда транспортных средств на электроприводе.</li> </ol>
Слабые	<ol style="list-style-type: none"> <li>Добиться государственной поддержки за счёт высокого качества, экологичности и надёжности;</li> <li>Решить логистические проблемы георазведкой новых месторождений, переносом основных производственных комплексов ближе к последним.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Патентование разработок;</li> <li>Демпинг цен и агрессивная ценовая конкурентная политика;</li> <li>Объединения и слияния с другими компаниями.</li> </ol>

Таким образом, разработка жидкости затворения магнезиального вяжущего на основе раствора БКМ является коммерчески перспективной разработкой. Целевыми сегментами являются строительные компании любого размера и магазины розничной продажи строительных материалов и смесей. На этих сегментах в сравнении с конкурентами разработка обладает лучшим качеством при меньших затратах. Результаты анализа сильных и слабых сторон

проекта, его возможностей и угроз будут использованы далее в разработке структуры работ по развитию проекта.

#### 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

В рамках данного раздела будут выделена структура необходимых работ, определены участники этих работ, установлена их продолжительность и определён общий бюджет исследования.

Для выполнения научно-исследовательского проекта формируется рабочая группа, в которую входят основной исполнитель работ (И), эксперт-куратор работ (К), оператор рентгенофазового анализатора (О) и лаборант (Л). Далее составляется список необходимых к выполнению работ (таблица 4.6)

Таблица 4.6 – План работ

Этап работы	Содержание работ	Исполнитель
Организация исследования	Составление и утверждение технического задания	К
	Календарное планирование работ	К
Методическая и теоретическая подготовка	Обзор научной литературы, патентный поиск	К, И
	Планирование исследования	К, И
Экспериментальных исследований и их обработка	Получение экспериментальных данных	И, Л
	Обработка экспериментальных данных	И, О
	Анализ и оценка полученных данных	И, К
Оформление отчёта по НИР	Составление пояснительной записки о проделанных исследованиях	И

На основании этого плана экспертным путём определяется трудоёмкость каждой работы в человеко-днях. Так как точная продолжительность зависит от множества сложноучитываемых факторов, то при определении используется вероятностный подход, т.е. используется среднее ожидаемое значение

длительности каждой работы, которое находится согласно выражению 4.3, где  $t_{ож}$  – ожидаемая длительность работы, человеко-дни,  $t_{мин}$  – минимальная длительность работы, человеко-дни,  $t_{макс}$  – максимальная длительность работы, человеко-дни.

$$t_{ож} = \frac{3t_{мин} + 2t_{макс}}{5} \quad (4.3)$$

Отталкиваясь от длительности каждой работы, можно определить продолжительность работы в днях для каждого исполнителя параллельно выполняемых работ по выражению 4.4, где  $T_p$  – продолжительность одной работы, человеко-дни,  $Ч$  – количество исполнителей.

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} \quad (4.4)$$

Для учёта выходных и праздничных дней найденные рабочие дни необходимо перевести в календарные дни. Перевод производится умножением величины длительности работы на календарный коэффициент  $k_k$ , который вычисляется согласно выражению 4.5, где  $T_k$  – общее количество календарных дней в году,  $T_v$  – общее количество выходных дней в году,  $T_{п}$  – общее количество праздничных дней в году.

$$k_k = \frac{T_k}{T_k - T_{п} - T_v} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

Результаты вычисления ожидаемой средней продолжительности, время выполнения работ для каждого исполнителя в рабочих и календарных часах представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Время работ

Название работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ	
	$t_{мин}$	$t_{макс}$	$t_{ож}$	$T_p$ , рабочие дни	$T_k$ , календарные дни
1. Составление и утверждение технического задания	2	5	3,2	3,2	5
2. Календарное планирование работ	2	4	2,8	2,8	5

Продолжение таблицы 4.7

Название работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ	
	$t_{\text{мин}}$	$t_{\text{макс}}$	$t_{\text{ож}}$	$T_{\text{р}}$ , рабочие дни	$T_{\text{к}}$ , календарные дни
3. Обзор научной литературы, патентный поиск	4	9	6	3	5
4. Планирование исследования	3	6	4,2	2,1	4
5. Получение экспериментальных данных	7	40	20,2	10,1	15
6. Обработка экспериментальных данных	5	10	7	3,5	6
7. Анализ и оценка полученных данных	2	5	3,2	1,6	3
8. Составление пояснительной записки о проделанных исследованиях	7	14	9,8	9,8	15

На основании полученных длительностей выполняемых работ в календарных днях строится диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта – это календарный план, горизонтальный столбчатый график, отражающий плана, графика и длительности работ. Диаграмма Ганта по работам данного исследовательского проекта представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Диаграмма Ганта

Номер работ	Исполнитель	$T_{\text{к}}$ , кал. дни	Продолжительность выполнения работ				
			Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	К	5					
2	К	5					



Продолжение таблицы 4.8

Номер работ	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал. дни	Продолжительность выполнения работ				
			Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
3	К	5					
	И	5					
4	К	4					
	И	4					
5	И	15					
	Л	15					
6	И	6					
	О	6					
7	И	3					
	К	3					
8	И	15					

Следующим этапом планирования научно-исследовательских работ будет определение бюджета исследования. Бюджет исследования может включать в себя материальные затраты, затраты на специальное оборудование, основную и дополнительную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды, командировочные, контрагентные и накладные расходы. В данном проекте бюджет не включает в себя командировочные и контрагентные расходы.

Материальные затраты – это затраты на все расходуемые основные и вспомогательные материалы, необходимые для достижения конечного результата. Материальные затраты проекта рассчитываются по выражению 4.6, где  $k_T$  – коэффициент транспортно-заготовительных расходов (0,2),  $m$  – количество видов используемых ресурсов,  $C$  – цена приобретения единицы ресурса, руб.,  $N$  – необходимое количество ресурса,  $Z_M$  – общие материальные затраты, руб., и представлены в таблице 4.9. Возвратные отходы отсутствуют.

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i N_i \quad (4.6)$$

Таблица 4.9 – Материальные затраты проекта

Наименование расхода	Единица измерения	Количество	Цена за единицу измерения	Затраты на материал
Каустический брусит	кг	1	20	20
Каустический магнезит	кг	4	15	60
Углекислый газ	кг	24	23	552
Дистиллированная вода	л	34	5	170
Карбонат натрия (ЧДА)	кг	1	200	200
Итого:				1202,4

Затраты на специальное оборудование включают в себя затраты на приобретение этого оборудования, его монтаж и амортизацию согласно действующим прейскурантам. Однако всё используемое оборудование было ранее приобретено организацией-площадкой проведения исследований, поэтому данная статья расходов включает только амортизацию. Амортизация – это процесс постепенного переноса стоимости основных средств производства в себестоимость произведённой продукции. Примем линейный метод начисления амортизации, тогда амортизируемая стоимость находится согласно выражениям 4.7 и 4.8, где  $A$  – сумма амортизации, руб.,  $N_A$  – норма амортизации,  $n$  – срок полезного использования, лет,  $I$  – итоговая стоимость, руб.,  $m$  – время использования, мес.

$$N_A = \frac{1}{n} \quad (4.7)$$

$$A = \frac{N_A I}{12} m \quad (4.8)$$

Тогда согласно приведённым выше выражениям и используемому в процессе работ оборудованию затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ приводятся в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Затраты на специальное оборудование

Вид оборудования	Кол-во	Срок службы, лет	Время использования, мес.	Цена приобретения оборудования, руб.	Амортизация, руб.
Автоклав	1	5	0,5	10000	84
Пресс гидравлический лабораторный ПГМ-50МГ4	1	20	0,1	336000	140
Весы лабораторные М-ER 122	1	12	0,4	11000	31
Штангенциркуль ЧИЗ ШЦ-1 28543	1	5	0,1	1800	3
Дозатор шприцевой Deltalab W-110	1	3	0,1	2000	6
Вакуумный насос VSV-4_220	1	6	0,1	12000	17
Лабораторный сушильный шкаф DION SIBLAB 350	1	10	0,1	78000	65
Баллон углекислотный ГОСТ 949-73	1	20	0,5	8800	19
Итого:					365

Фонд заработной платы состоит суммы основной и дополнительной заработной платы рабочей группы: куратора, исполнителя, лаборанта и

оператора. Зарботная плата начисляется согласно выражениям 4.9 – 4.13, где  $Z_{зп}$  – зарботная плата одного работника, руб.;  $Z_{осн}$  – основная зарботная плата, руб.;  $Z_{доп}$  – дополнительная зарботная плата, руб.;  $Z_{дн}$  – среднедневная зарботная плата, руб.;  $Z_m$  – месячная зарботная плата, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года (11,2 для пятидневной рабочей недели и 10,4 для шестидневной);  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, рабочих дней;  $Z_{тс}$  – зарботная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$ ,  $k_d$ ,  $k_p$ ,  $k_{доп}$  – коэффициенты премиальный (0,3), доплат и надбавок (0,2), районный (1,3), дополнительной зарботной платы (0,12) соответственно.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.9)$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} T_p \quad (4.10)$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m M}{F_d} \quad (4.11)$$

$$Z_m = Z_{тс} (1 + k_{пр} + k_d) k_p \quad (4.12)$$

$$Z_{доп} = Z_{осн} k_{доп} \quad (4.13)$$

Действительный годовой фонд рабочего времени высчитывается как разность рабочего времени и времени на отпуск и болезни, т.е. при отпуске в 28 дней и запланированном времени болезни 10 дней для куратора и исполнителя, работающих по шестидневной рабочей недели,  $F_d = 365 - 67 - 28 - 10 = 260$  дней, а для лаборанта и оператора на пятидневной рабочей недели  $F_d = 365 - 118 - 28 - 10 = 209$  дней. Расчёт зарботной платы штату научно-исследовательской группы представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Зарботная плата персонала

Исполнитель	$Z_{тс}$ , руб.	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зп}$ , руб.
И	25500	49725	1989,0	61659	7400	69059
К	25000	48750	1950,0	25350	3042	28392
Л	15000	29200	1564,8	17213	2066	19279
О	15000	29250	1564,8	6260	752	7012
Итого:						123742

В зависимости от размера фонда заработной платы работодатель обязан выплачивать обязательные отчисления (страховые взносы) органам государственного социального страхования, пенсионному фонду, фонду обязательного медицинского страхования. Итоговый размер отчислений составляет 30,2 % от начисляемой заработной платы, т.е. 20855,8 руб. для исполнителя работ; 8574,4 руб. для куратора; 5822,3 руб. для лаборанта; 2117,6 руб. для оператора РФА и 37370,1 руб. всего.

Также необходимо запланировать бюджет на накладные расходы: на оплату услуг связи, на оплату коммунальных услуг, услуг печати, почтовые расходы и прочие. Накладные расходы формируются из суммы всех приведённых выше статей, однако упрощённо их можно принять как 16 % от суммы всех рассчитанных ранее расходов, т.е.  $0,16(1202,4+365+123742+37370,1) = 26028,7$  рублей.

Окончательный расчёт бюджета НИР представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Бюджет исследования

Статья расходов	Сумма, руб.
Материальные затраты	1202,4
Затраты на специальное оборудование	365,0
Затраты по заработной плате основной группы	123742,0
Отчисления во внебюджетные фонды	37370,1
Накладные расходы	26028,7
Бюджет НИР	188708,2

Таким образом, в данном подразделе был рассчитан бюджет научно-исследовательского проекта по разработке технологии оптимального получения раствора БКМ как жидкости затворения магниезиального вяжущего, был составлен план работ и календарный план работ, выделены основные исполнители. Бюджет составил 188708,2, что является приемлемой суммой с учётом используемого оборудования и размера рабочей группы.

## Выводы

В ходе анализа научно-исследовательского проекта по разработке оптимальной технологии получения раствора бикарбоната магния как жидкости затворения магнезиального цемента были сделаны выводы о конкурентоспособности проекта. Данный проект направлен на сегмент строительных компаний и на магазины розничной продажи строительных материалов, в этом сегменте разработка показывает себя лучше конкурентных решений как с технической стороны, так и в цене.

Для проведения исследования была сформирована рабочая группа из куратора работ, инженера-исполнителя, лаборанта и оператора РФА-установки. В течение 100 дней исследования были проделаны все запланированные работы без серьёзных нарушений диаграммы Ганта. Итоговый бюджет исследования составил 188708,2 рублей.

Аналоговых исследований не производилось и найдено не было, расчёт эффективности нецелесообразен.

На основании этого и анализа матрицы сильных и слабых сторон проекта справедливо утверждать, что проект целесообразен, требует дальнейшей проработки и развития, коммерциализации и выведения на рынок.