

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

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка способа получения оксида магния из доломитовой породы</b>

УДК 661.84:622.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ93	Хабибуллаев Оятулло Хамидулло угли	<i>Хабибуллаев</i>	10.06.2021

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н., доцент	<i>Митина</i>	10.06.2021

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н.	<i>Кашук</i>	

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.	-	<i>Скачкова</i>	01.06.21

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	Д.т.н., профессор	<i>Казьмина</i>	10.06.2021



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Казьмина О.В.  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ93	Хабибуллаев Оятулло Хамидулло угли

Тема работы:

**Разработка способа получения оксида магния из доломитовой породы**

Утверждена приказом директора (дата, номер) № 50-30/с от 19.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы: 07.06.2021

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

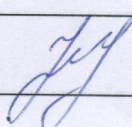
<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является доломитовой породы Якутского и Таензинского месторождения, а в качестве добавки используются порошка трилона Б и в процессы карбонизации используются углекислый газ, провести литературный обзор по тематике выпускной квалификационной работы. В экспериментальной части описать использованное материалы и оборудование, предоставить методики проведения экспериментов, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение, литературный обзор, методика проведения экспериментов, результаты исследования, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение. Задачи: Измельчение образцы доломитовой



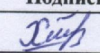
	породы и прокаливание при температуре 650 °С для подготовки к экспериментам по карбонизацию, карбонизировать с помощью автоклава 15 и 30 мин, при повышенном давлении 0,3 и 0,7 МПа CO <sub>2</sub> , осаждение гидрокарбонаты магния, карбонаты магния или другие соединения магния из полученного раствора бикарбоната магния Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> различными методами и анализировать эффективности методов осаждения.
<b>Перечень графического материала</b>	Результаты экспериментов, рентгенофазовый и комплексно термический анализ материалов.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1. Литературный обзор. 2. Методы исследования. 3. Экспериментальная часть.	Митина Наталия Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Характеристика материалов и методы исследования	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	24.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н., доцент		24.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ93	Хабибуллаев Оятулло Хамидулло угли		24.02.2020



Министерство науки и высшего образования и Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа ИШНПТ  
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера  
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

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

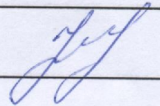
**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: 07.06.2021

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.06.2021	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

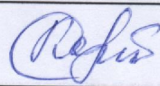
**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталия Александровна	к.т.н., доцент		24.02.20

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	д.т.н, профессор		24.02.20



**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП «ХИМИЧЕСКАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действия
УК(У)-2	способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	готовность к разработке учебно-методическую документацию для реализации образовательных программ



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит \_\_\_ страницу, \_\_\_ рисунков, \_\_\_ таблицы и \_\_\_ источника.

**Ключевые слова:** доломитовой породы, доломит, магнезит, бикарбонат магния, трилон Б, обжиг, карбонизации, ПМК, нитрата магния,  $\text{CO}_2$  и оксида магния.

**Актуальность работы** является в качестве противослеживающего материала в технологии минеральных удобрений.

**Объектом исследования** является доломитовой породы Якутского и Таензинского месторождения, чтобы проводит карбонизации использовали углекислый газ.

**Цель работы** – является получить бикарбонатным методом активного оксида магния из доломитов.

В связи с этой целью необходимо решить следующие задачи:

- измельчить образец доломита и прокалить при температуре  $650\text{ }^\circ\text{C}$  для подготовки к экспериментам по карбонизацию;
- карбонизировать с помощью автоклава при повышенном давлении  $0,3\text{ МПа}$  и  $0,7\text{ МПа}$   $\text{CO}_2$ , в 15 и 30 минутах;
- осаждают гидрокарбонаты магния, карбонаты магния или другие соединения магния из полученного раствора бикарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  различными методами и анализировать эффективности методов осаждения.

**Аппаратура** – дифференциальный-термический анализатор STA 449F3; шаровая мельница; дифрактометр Дрон-3М.

**Степень внедрения:** лабораторные испытания.

**Область применения:** производство минеральная удобрения.

**В будущем планируется:** получение  $\text{MgO}$  для производства минеральных удобрений, в качестве противослеживающей добавки.

Работа представлена введение, пяти раздел и заключение, приведен список использованных источников и приложения.



В первой главе были рассмотрены сырье для получения оксида магния и способы ее получения, а также описаны характеристика и свойства доломитовой породы и другие магниевых веществ.

Во второй главе описаны основные физико-химические свойства материалов и их исследования.

В третьей главе исследовательской работы представлены результаты экспериментальных испытаний получение оксида магния модифицированным обжигом доломитовой породы и получение чистого оксида магния бикарбонатным способом.

В четвертой главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» приводится анализ перспективности проведения проектных исследований, планирование комплекса научных работ и определение их экономической и финансовой эффективности.

В пятой главе «Социальная ответственность» содержится анализ рабочего места на предмет выявления основных техноферных опасностей.

В заключении приведены основные выводы по проделанной работе.

В приложении представлена характеристика материалов и методы исследования на английском языке.



## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

**Доломит** – карбонатная горная порода, состоящие в основном из карбоната кальция и карбоната магния.

**Обжиг** – высокотемпературного термическая обработка материалов или изделий с целью изменения их фазового и химического состава, повышения прочности, кажущейся плотности и снижение и снижение прочности.

**БКМ** – бикарбонат магния;

**ПМК** – порошок магнезиальной каустический.

**РФА** – рентгенофазовый анализ.

**ДТА** – дифференциально-термический анализ.

**ТГ** – термогравиметрия.

**Нормативные ссылки используются в работе:**

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).

2. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

3. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

5. Федеральный закон Российской Федерации от 23 декабря 2009 № 347. «О безопасности низковольтного оборудования».

6. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

7. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

8. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности к первичным средствам



пожаротушения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL:  
http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/).

9. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	14
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	16
1.1. Физико-химические свойства оксидов магния.....	16
1.1.1. Применение оксидов магния.....	17
1.1.2. Противослеживающая добавка в производстве минеральных удобрений.....	18
1.2. Сырье для производства оксида магния .....	19
1.2.1. Характеристика магнезитовой породы .....	19
1.2.2. Характеристика брусита .....	20
1.2.3. Характеристика карналлита .....	20
1.2.4. Характеристика бишофита.....	21
1.2.5. Характеристика серпентинита .....	22
1.3. Характеристика доломитовой породы .....	22
1.3.1. Применение доломитовой породы .....	25
1.4. Способы получения оксида магния MgO на основе доломита.....	27
1.4.1. Термическая обработка доломита .....	27
1.4.2. Аммиачные способы получения оксида магния.....	31
1.4.3. Известковый способ получения оксида магния.....	32
1.4.4. Бикарбонатный способ получения оксида магния .....	32
1.4.4.1. Термическим методом осаждения бикарбоната магния .....	34
1.4.4.2. Химическим методом осаждения бикарбоната магния .....	35
ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	37
ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	38
2.1. Характеристика исходных материалов.....	38
2.1.1. Каустический доломит Якутского месторождения.....	38
2.1.2. Каустический доломит Таензинского месторождения .....	39
2.1.3. Трилон Б.....	40
2.2. Методы исследования.....	41

2.2.1	Метод карбонизации.....	41
2.2.2	Определение концентрации ионов $CO_3^{2-}$ и $HCO_3^-$ .....	43
2.2.3.	Определение концентрации ионов $Mg^{2+}$ и $Ca^{2+}$ .....	44
2.2.4.	Измерение pH раствор бикарбоната магния .....	45
2.2.5.	Термические методы анализа .....	45
2.2.6.	Рентгенофазовый анализ .....	48
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....		49
3.1	Получение оксида магния модифицированным обжигом доломитовой породы .....	49
3.2	Получение чистого оксида магния бикарбонатным способом.....	52
3.2.1	Исследования по получению водного раствора бикарбоната магний.....	53
3.2.2	Термическое осаждение соединений магния из раствора бикарбоната магния .....	55
3.2.3	Химические методы осаждения из раствора бикарбоната магния ..	58
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....		64
ВВЕДЕНИЕ.....		64
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ..	64
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	64
4.1.2	SWOT-анализ.....	66
4.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	67
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	67
4.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	68
4.3	Бюджет научно-технического исследования .....	71
4.3.1.	Расчет материальных затрат НИИ .....	71
4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования .....	73
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	74



4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды .....	75
4.3.5 Накладные расходы.....	75
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	75
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	76
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	82
ВВЕДЕНИЕ.....	82
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения.....	83
безопасности.....	83
5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	83
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	84
5.2. Профессиональная социальная безопасность.....	87
5.3. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	88
5.3.1. Микроклимат в рабочей зоне.....	88
5.3.2. Освещение в рабочей зоне .....	89
5.3.3. Работа с движущимися машинами и механизмами.....	90
5.4. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	91
5.4.1. Электробезопасность.....	91
5.4.2. Пожаробезопасность.....	92
5.5. Экологическая безопасность.....	93
5.5.1. Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду.....	93
5.5.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	94
5.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94
5.6.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории	

при проведении исследований.....	94
5.6.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС..	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	103



## ВВЕДЕНИЕ

Доломитом называется осадочная карбонатная горная порода, который состоит в основном из минерала доломита.

Группа карбонатных пород, отличающихся повышенным содержанием доломитовой составляющей, – доломитов, доломитизированных или доломитовых известняков, – объединяют иногда под общим названием – доломитовые породы. Минерал доломит был открыт французским минералогом Доломье в конце XVIII века, по имени которого он и назван. Доломиты имеют широкое применение как в необработанном исходном виде, так после предварительной термической обработки.

После термической обработки находит применение, обожженный при 800-900 °С, каустический доломит, в составе которого в зависимости от содержания  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в высокоактивной форме. Очень часто для получения качественных изделий необходимо наличие или преобладание того или другого активного оксида. Так, для получения качественного магнезиального и доломитового вяжущего и изделий на их основе преимущественно содержание оксида магния с отсутствием или минимальным количеством оксида кальция.

Также для использования обожженного доломита в качестве противослеживающей добавки в производстве минеральных удобрений, необходимо преимущественное содержание оксида магния как эффективного поглотителя влаги.

Получение оксида магния без примеси оксида кальция из доломита возможно при строгом соблюдении температурного интервала обжига, который составляет от 30 до 70 °С, что очень сложно в производственных условиях. Поэтому возникает необходимость в разработке способов разделения температурного интервала обжига доломита, к числу которых относится применение различных добавок, способствующих снижению температуры декарбонизации  $\text{MgCO}_3$ . Активного оксида магния  $\text{MgO}$

широко используется в разных отраслях промышленности, в том числе в технологии минеральных удобрений в качестве противослеживающего материала.

Целью работы является получить бикарбонатным методом активного оксида магния из доломитов.

В связи с этой целью необходимо решить следующие задачи:

➤ измельчить образец доломита и прокалить при температуре 650 °С для подготовки к экспериментам по карбонизацию;

➤ карбонизировать с помощью автоклава при повышенном давлении 0,3 МПа и 0,7 МПа CO<sub>2</sub>, в 15 и 30 минутах;

➤ осаждают гидрокарбонаты магния, карбонаты магния или другие соединения магния из полученного раствора бикарбоната магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> различными методами и анализировать эффективности методов осаждения.

Для написания работы использовался специальная литература, а также патенты, интернет – источники, некоторые нормативные документы.



# ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Физико-химические свойства оксидов магния

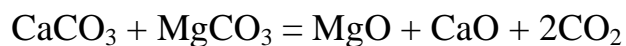
Оксид магния является наиболее распространенным кристаллом с кубической кристаллической решеткой. Оксид магния легкий порошок от бесцветного до серовато белого цвета, легко впитывает воду. Удельный вес оксида магния составляет  $3,58 \text{ г/см}^3$ , удельный вес в рентгеновских лучах  $3,581 \text{ г/см}^3$ . Температура плавления равна  $2820 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура кипения равна  $3600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Твердость по минералогической шкале MgO колеблется в пределах 5 – 6. Удельная теплоемкость MgO при температурах 500 и  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  соответственно равна на 1,09 и 1,22 кДж/(г·°C). Энтальпия образования оксида магния  $613 \text{ кДж/моль}$  [1].

Оксид магния имеет очень высокую электроизоляционную способность. Это делает ее великолепным высокотемпературным изоляционным материалом.

Оксид магния известно под тривиальным названием «периклаз». При температурах выше  $1800 \text{ }^\circ\text{C}$  оксида магния в углеродном среде восстанавливается до металлического магния. Оксид магния по химическим свойствам вступает в реакцию в качестве основным оксидом и имеет основного характера высокой устойчивостью в контакте с веществами. С неорганическими кислотами оксида магния MgO взаимодействует хорошо, при комнатных условиях с образованием соответствующих солей, а с органической кислотой оксида магния MgO взаимодействует плохо. В мелкодисперсном состоянии оксида магния легко реагирует с водой с образованием гидроксида магния. Когда оксид магния MgO гидратируется в воздухе, процесс карбонизации происходит одновременно с образованием карбоната магния. При обжиге высоких температурах снижают способность взаимодействия оксида магния с водой. Однако водяным паром при повышенной температуре оксида магния легко гидратируется [2].

Оксид магния в промышленности получают обжигом доломита,

брусита и минерал магнезита.



### 1.1.1. Применение оксидов магния

Оксида магния используются во многих отраслях промышленности и является основным сырьем для производства огнеупорных материалов, из всего производимого оксида магния, который при производстве стали составляет 65 %, а в цементной промышленности 15 %, в производстве огнеупоров для других целей составляет около 7 %, и кроме того, оксид магния используются рядом других отраслей промышленности [3,4].

Основными потребителями оксида магния являются строительные, металлургические и термоизоляционные материалы. В дополнение оксида магния потребляются в других областях [3,4].

- строительная промышленность, включая напольные покрытия и изоляцию;
- производство огнеупорных материалов для цементной, стекольной и металлургической промышленности;
- производство трансформаторной стали, в том числе для кондиционирования шлака;
- производства резины и синтетических каучуков в качестве наполнителя, придающего твердость резиновым изделиям, и в качестве ускорителя процесса вулканизации;
- сельскохозяйственное производство, в качестве удобрения;
- в бумажной промышленности в сульфитном процессе получения целлюлозы, химических и фармацевтических препаратов, огнеупорных материалов и композиций;

Белая или легкая оксида магния, а также жженая магнезия применяются в качестве фармацевтического препарата. Белая магнезия используется также в производстве изоляции, резины, в качестве

катализатора, как составная часть красок и лаков и для других целей.

### **1.1.2. Противослеживающая добавка в производстве минеральных удобрений**

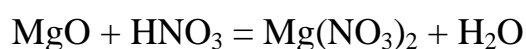
Кристаллическая аммиачная селитра отличается значительной гигроскопичностью, что является одной из причин ее слеживаемости. При оставлении ее на воздухе она быстро становится влажной за счет поглощения водяных паров из воздуха и потеряет своих сыпучих свойств, превращая в твердый, как бы окаменевший продукт [5].

Наиболее радикальным способом снижения гигроскопичности и слеживаемости аммиачной селитры является добавление растворимых неорганических солей [5].

В химической промышленности доломит является одним из источников каустический магнезит – ПМК, состоящего в основном из оксида магния MgO.

Наиболее эффективной растворимой неорганической солью является добавление  $Mg(NO_3)_2$  [6].

В течение многих лет в качестве сырья, чтобы приготовить раствора нитрата магния использовался ПМК с содержанием более 80 % MgO. Чтобы приготовить раствора нитрата магния, каустический магнезит растворяется в азотной кислоте.



При введении в аммиачную селитру нитрата магния скорость поглощения влаги увеличивается по сравнению с чистой солью. Это связано с понижением гигроскопической точки аммиачной селитры при добавлении к ней нитрата магния. Прочность гранул аммиачной селитры увеличивается с 0,7 до 1,0 кг/гранулу, содержание MgO в готовом продукте при этом составляет 0,3 – 0,45 % [6].



## **1.2. Сырье для производства оксида магния**

В качестве исходного сырья используют различные соединения магния. Одним из известных источников сырья являются для получения оксида магния следующие минералы: магнезит, брусит и доломит. Кроме того, распространен различные методы получения оксида магния из природного сырья, например, карналлит, бишофит и серпентинит.

### **1.2.1. Характеристика магнезитовой породы**

Основным природным сырьем для производства оксида магния является карбонатная порода, состоящая в основном из магнезита. В чистом виде магнезита содержится: 47,8 % MgO и 52,2 % CO<sub>2</sub>. Выделяется две природные разновидности магнезита: кристаллическая и криптокристаллическая. Магнезит кристаллизуется в гексагональной системе и имеет совершенной спайностью по ромбоэдру. Кристаллический магнезит по своей структуре напоминает крупнозернистый мрамор или крупный доломит, поэтому их отложения часто связаны друг с другом. Цвет магнезита разнообразный: белый с сероватым или желтоватым оттенком, иногда встречается снежно-белый магнезит, блеск – стеклянный, твердость по минералогической шкале имеет 4,5 – 5. Удельный вес магнезита колеблется в пределах 2,9 – 3,1 г/см<sup>3</sup>.

В дополнение к карбонату магния, природный магнезит всегда содержит карбонаты кальция, железа, а иногда и марганца, глинозем, кремнезем и т.д. Содержание таких примесей, как пирит меди и железа, невелико и обычно не превышает нескольких десятых долей процента. Наряду с глиноземом встречается кремнезем в виде кварцита или сланца, в виде талька, в виде тонких прожилок кварца. Карбонат кальция встречается в основном в виде доломитов, реже – арагонита и почти никогда – в виде кальцита.

Оксид магния на основе магнезита получают путем его обжига в

специальных печах. В зависимости от условий обжига можно получить три основных коммерческих типа оксида магния:

- мертвый обожженный оксид магния;
- обожженного каустического оксида магния;
- плавленный оксид магния (периклаз).

Получен оксид магния, который при обжиге магнезита содержит от 55 мас. % до 98 мас. %. Химическая реакция разложения магнезита:

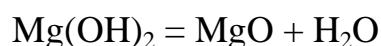


Основными примесями полученного оксида магния являются: кварц  $\text{SiO}_2$ , оксид кальция, оксид железа, и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### **1.2.2. Характеристика брусита**

Брусит это гидроксид магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , которые содержат изоморфные примеси железа и марганца. Гидроксид магния является распространенным для применения соединением магния. В чистом виде брусита содержатся 69,1 % оксида магния. Брусит встречается в виде таблитчатые и игольчатые кристаллы. Цвет брусита разнообразный: белый с зелеными, желтыми и коричневыми оттенками; иногда встречается перламутровый блеск. Температура плавления гидроксида магния -  $350^\circ\text{C}$ . Удельный вес брусита при температуре  $20^\circ\text{C}$  соответствует  $2,36 \text{ г/см}^3$ , растворимость в воде при  $20^\circ\text{C}$  соответствует  $0,0012 \text{ г/100 см}^3$ . Твердость по минералогической шкале – 2,5 [1].

Известно, что минерал брусит при термической обработке до  $400 - 550^\circ\text{C}$  разлагается с образованием оксида магния по уравнению.



### **1.2.3. Характеристика карналлита**

Для получения высокочистого активного оксида магния в качестве сырья также используют минерал карналлит.

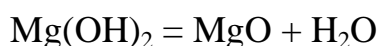
Карналлит – природный двойной хлорид магния и калия

$\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . В чистом виде карналлит содержит 8,7% Mg. Цвет карналлита обычно белого цвета, но окрашен присутствующими в нем примесями в розовый, желтый или серый цвет. Минерал сильно гигроскопичен. Твердость карналлита по минералогической шкале 1,5 - 2,5, удельный вес равен 1,6 г/см<sup>3</sup>.

Для получения оксид магния из карналлита осуществляется осаждения хлорида магния в виде гидроксида магния. Чтобы осадить его добавляют сильной щелочи, при этом щелочи взаимодействует с хлорида магния.



Затем, полученный осадок гидроксида магния промывают от хлоридов и отфильтровывают. Полученной гидроксида магния после сушки прокаливают до температуры 400 – 550 °С и разлагается с образованием оксида магния.



#### **1.2.4. Характеристика бишофита**

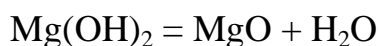
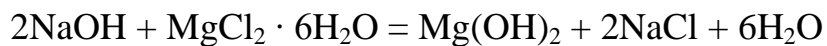
Гексагидрат хлорида магния (бишофит) является наиболее важным соединением магния промышленного назначения, которое применяется в производстве оксида магния, в строительной, химической, пищевой, фармацевтической, нефтегазовой и других отраслях промышленности. Бишофит имеет бесцветные кристаллы, но может иметь белый, розовый и коричневый цвет, в зависимости от примесей. Температура плавления бишофита составляет – 713°С, температура кипения – 1412°С. Удельный вес при температуре 20°С соответствует 2,316 г/см<sup>3</sup>, растворимость в воде при температуре 20°С соответствует 35,3 мас. %. Твердость по минералогической шкале – 1,5 [1].

Оксида магния можно получить из бишофита путем его осаждения, взаимодействия сильной щелочи с растворами хлорида магния (бишофита). Образующийся осадок гидроксида магния промывают от хлоридов и отфильтровывают. Полученной гидроксида магния после сушки



прокаливают при температуре 500 – 600 °С с получением чистого оксида магния.

Химизм этого способа получения описывается двумя химическими реакциями, которые представлены ниже:



Получаемым этим способом оксида магния характеризуется высокой чистотой и отличными потребительскими свойствами.

### **1.2.5. Характеристика серпентинита**

Еще один сырьевой минерал – силикатные породы: серпентинит общим составом  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В чистом виде серпентинита содержатся 43,0% MgO, 44,1% SiO<sub>2</sub> и 12,9% H<sub>2</sub>O. В серпентините встречаются примеси, а именно: оксиды железа и кальция. Серпентин обычно представлен волокнистыми или листоватыми агрегатами от желтого до темно-зеленого цвета. Твердость по минералогической шкале 2,5 - 3,5, удельной вес 2,5 г/см<sup>3</sup>.

Чтобы получить оксида магния из породы серпентинита, сначала обрабатывают серной кислотой, в результате чего оксид кремния переводят в нерастворимый остаток. Далее раствор обрабатывают содой, осадок карбоната магния отделяют, промывают, сушат и прокаливают. Основные месторождения серпентинитов находятся на Кавказе, на Урале и в Казахстане [7,8].

### **1.3. Характеристика доломитовой породы**

Доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  — двойная углекислая соль кальция и магния. По техническим свойствам доломит незначительно отличается от известняков. В чистом виде доломита содержится: CaCO<sub>3</sub> – 54,2%; MgCO<sub>3</sub> – 45,8%. В пересчете на окислы доломит содержит: CaO – 30,41%; MgO – 21,86%; CO<sub>2</sub> – 47,73%. Известняк, содержащий до 10 % MgCO<sub>3</sub>, условно называют магнезиальным; известняк с более высоким содержанием MgCO<sub>3</sub>

(до 19 %) – доломитизированным [9].

Доломит встречается в виде крупнозернистой или мелкозернистой компактной формы. Кристаллическая структура доломита гексагонально-ромбоэдрическая. Цвет доломита разнообразный: белый, серый, светло-желтый, мутны, почти непрозрачны, буроватый – в зависимости от примесей, железистых соединений. Иногда встречается черный доломит, цвет которого зависит от наличия в нем битуминозных или углистых примесей. В технике различают: зернистый доломит, или доломитовый мрамар, образованный из зерен минерала доломита; плотный доломит, подобный плотному известняку; плитняковый доломит, оолитовый, или ячеистый доломит [9].

В доломите  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  встречаются примеси, а именно: магнезит, кварц  $\text{SiO}_2$ , сидерит, минеральные группы глин,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  и другие органические вещества. Удельный вес доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  колеблется в пределах 2,85 – 2,95. Твердость по минералогической шкале 3,5–4,0; предел прочности при сжатии – от 400 до 1300 кг/см<sup>2</sup>, теплоемкость – 0,217 кал/г/град. [ 9,10,11].

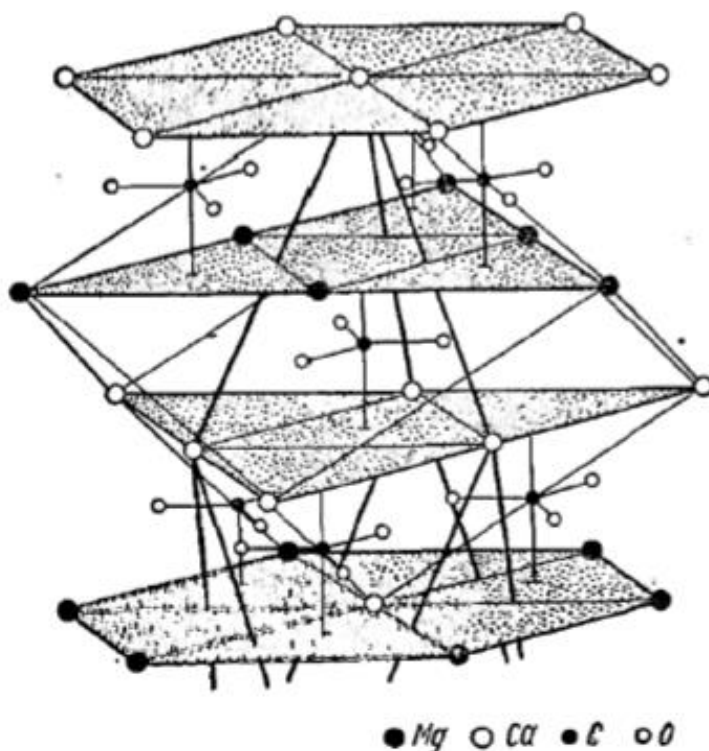


Рисунок 1.1 – Кристаллическая решетка доломита [12]

Растворимость доломита в воде меньше, чем растворимость кальцита  $\text{CaCO}_3$ . Но в воде, насыщенной углекислым газом, растворимость доломита сильно увеличивается, вследствие образования бикарбонатов кальция и магния [9].

Растворимость в минеральных кислотах доломит занимает промежуточное место, между кальцитом и магнезитом. В холодной соляной кислоте  $\text{HCl}$  растворение доломита происходит медленно. Если нагревать порошкообразного доломита в разбавленной соляной кислоте растворяется полностью, за исключением нерастворимых примесей [9].

По происхождению доломиты  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  подразделяются на две главные генетические группы:

- экзогенные;
- эндогенные.

Главная масса доломитов образовалась экзогенным путем в морских условиях и несоизмеримо меньшее количество – в континентальных. Эндогенное доломитообразование было незначительным по своему масштабу [13].

Кроме этих двух основных групп, выделяют метаморфогенные доломитовые породы, образовавшиеся в результате вторичных изменений экзогенных осадочных доломитов.

Первоисточником кальция и магния в морских осадках являются магматические и осадочные горные породы, слагавшие континенты. При выветривании этих пород возникли растворимые карбонатные соединения обоих элементов, которые сносилось поверхностными водами в морские бассейны. Сюда же в процессе денудации транспортировался и обломочный материал разной крупности.

Морское доломитообразование осуществлялось путем химического осаждения, сингенетического и эпигенетического; в результате химического осаждения и метасоматоза в стадию диагенеза; за счет обломочного доломитового материала; вследствие жизнедеятельности организмов [14].



Хемагенные доломиты с кристаллической структурой образовались в результате непосредственного выпадения доломитового вещества из морской воды. Осаждение доломита происходило в условиях аридного климата в осолоненных преимущественно мелководных бассейнах [14].

Диагенетические доломиты образовались в результате метасоматического взаимодействия в период диагенеза свежес выпавшего известкового ила и растворенных в воде магниезальных солей.



Обломочные доломиты образовались в условиях мелкого моря или у побережий в результате разрушения и переотложения полностью или не полностью литифицированного доломитового осадка либо разрушения берегов и дна у побережий, сложенных доломитами.

Образование биогенных доломитов связано с жизнедеятельностью организмов в морских условиях [14].

Доломиты широко распространены в горных породах. Основные месторождения доломита на территории РФ находятся на Урале, в Якутии, в Крыму, в Бурятии, на Кавказе, на Дальнем Востоке и в Сибири [16,17].

Основными странами месторождения доломита являются: Китай, Америка, Канада, Мексика, Италия и Швейцария. А также находятся в Средней Азии, на Украине, в Средиземноморье и т.д. [16,17].

### **1.3.1. Применение доломитовой породы**

Доломиты используются во многих отраслях народного хозяйства в естественном и обожженном состоянии как руда и технологическое сырье. Главными потребителями доломитов являются металлургия, промышленность вяжущих и термоизоляционных материалов, строительство. Кроме того, доломиты используются рядом других отраслей промышленности и в сельском хозяйстве [14].

В металлургии доломиты используются в качестве огнеупорного материала, флюса и руды на магний.

Термо – и звукоизоляционные материалы изготавливаются на основе каустического доломита и магнезиального цемента. Кроме того, доломит используется в производстве совелита и минеральной ваты.

В промышленном, жилищном и дорожном строительстве доломиты применяются в виде естественного строительного материала: штучного камня, необработанного и обработанного – бутового, облицовочного, щебня для бетона обычного, и других целей; песка, муки для изготовления различных строительных материалов и изделий на основе вяжущих [14].

Многие отрасли промышленности используют измельченный доломит, доломитовую муку и обожженный доломит в качестве абразивного материала.

В химической промышленности доломит является одним из источников окиси магния и других его соединений. Белая или легкая магнезия, а также жженая магнезия применяются в качестве фармацевтического препарата. Белая магнезия используется также в производстве изоляции, резины, в качестве катализатора, как составная часть красок и лаков и для других целей. Доломиты служат сырьем для получения технической углекислоты, серноокислого и хлористого магния. В производстве хромо - натриевых солей доломиты используются в качестве составного компонента шихты. Доломитовую известь с добавкой соды применяют как наполнитель при выделке меловой бумаги.

В кожевенной промышленности доломитовую известь применяют для удаления волосяного покрова с некоторых специальных сортов кожи, размягчения и сглаживания кожи, при изготовлении дубителей. В лакокрасочном производстве доломит является наполнителем для белил, некоторых красок и лаков. В керамической промышленности доломит используется при изготовлении глазурей для фарфора. В электротехнике доломитовые мраморы и мраморовидные доломиты применяются для изготовления распределительных щитов. Доломит в сыром и обожженном виде используется для нейтрализации серноокислых сточных вод.

Доломитовая известь может быть применена также для подщелачивания воды в целях ее очистки. В сельском хозяйстве доломита и доломитовая известь употребляются для известкования кислых почв и в качестве антисептика [14].

Доломит является основной сырьё для получения металлического магния [18].

#### **1.4. Способы получения оксида магния MgO на основе доломита**

Существует много способов получения оксида магния на основе доломита. Существуют тяжелые и легкие формы оксида магния. Тяжелые формы могут быть получены путем обжига доломита. Оксид магния с различной степенью активности может быть получен путем осаждения гидроксида магния и основных карбонатов магния из растворов и их дальнейшем термической обработкой доломита. Если тяжелые формы оксида магния при дальнейшей химической обработки можно получать из них легкие формы оксида магния. Существует много способов химической обработки, чтобы получить легкие формы оксида магния [19].

##### **1.4.1. Термическая обработка доломита**

Основными продуктами терморазложения доломита являются преимущественно MgO и CaO, в зависимости от области использования называется по-разному:

- «периклаз» применяется в технологии огнеупоров,
- «магнезия активная – МА» применяется в технологии катализаторов,
- «магнезиальное вяжущее – МВ» применяется в технологии строительных материалов.



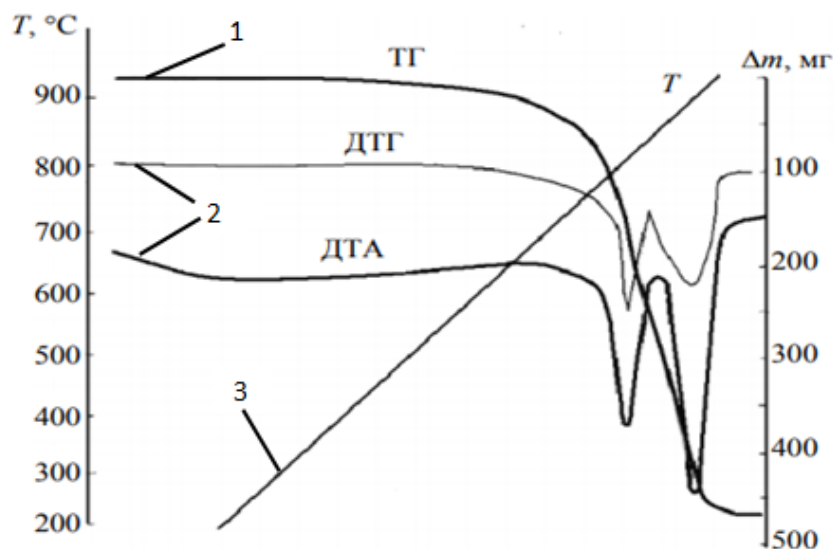


Рисунок 1.3 – Термограмма разложения  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  при нагревании [20]: 1 – кривая газовыделения; 2 – дифференциальная кривая; 3 – кривая нагревания.

Доломит разлагается в два периода: сначала при температуре 700 °С доломит распадается на  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , а затем  $\text{MgCO}_3$  распадается на  $\text{MgO}$  и  $\text{CO}_2$ ;



при 900 °С происходит разложение  $\text{CaCO}_3$ .

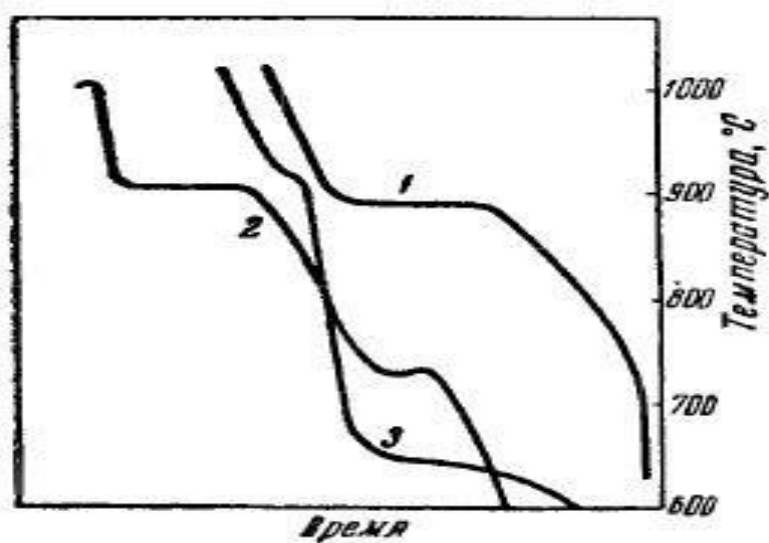
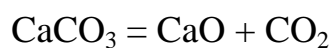


Рисунок 1.4 – Термограммы разложения карбонатов кальция и магния [19]: 1 – кальцит; 2 – доломит; 3 – магнезит.

Состав и свойства обожженного доломита в большей или меньшей степени зависят от применяемой температуры обжига:

- каустический доломит представляет собой вязущее вещество, состоящее в основном из MgO и CaCO<sub>3</sub> и получается путем прокаливания доломита CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> при температуре 700 – 750 °С с последующим измельчением;

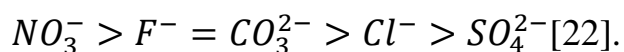
- доломитовый цемент представляет собой вещество, состоящее из MgO, CaO и CaCO<sub>3</sub> и получаемое путем прокаливания доломита CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> при температуре 800 – 850 °С с последующим измельчением в мелкий порошок;

- доломитовую известь представляет собой вещество, состоящее в основном из оксидов магния и кальция и получаемое при температуре 900 – 1000 °С.

- металлургический доломит – вещество, образующее при сжигании доломита CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> при температуре 1400 – 1500 °С, используемое в огнеупорной промышленности [21].

При обжиге доломита между имеющимися температурными интервалами резкой границы нет. Использование добавок-интенсификаторов обжига при получении MgO из доломитов CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> является наиболее эффективным способом снижения температуры разложения MgCO<sub>3</sub> не оказывая влияния на разложению CaCO<sub>3</sub>, т.к. это химическими процессами, происходящими в шихте при нагреве. Наиболее эффективного интенсификатора-добавок обжига доломитовой породы следующие: фосфаты, шестиводный хлорид магния, ацетат цинка, гидрокарбонат натрия и трилона Б.

Главным образом, при снижении температуры декарбонизации MgCO<sub>3</sub> влияют анионы солей. По своей активности анионы расположена в следующем порядке:



На скорость разложения доломита положительно влияет фосфаты. Введение в шихту фосфатов перед термическим разложением приводит к увеличению количества активных центров. При этом добавлении фосфаты увеличивает скорость разложения карбоната магния  $MgCO_3$ . При введении интенсификаторы фосфатов магния и алюминия в состав доломита положительно влияет на скорость разложения.

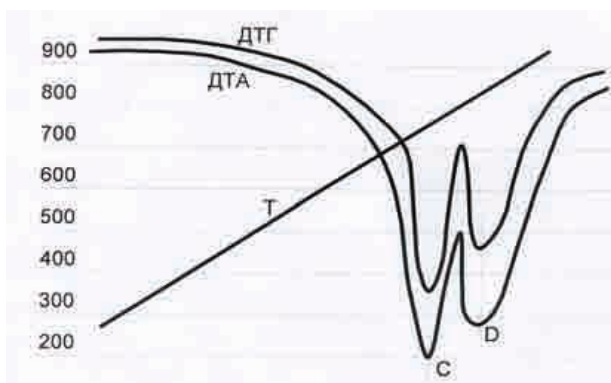


Рисунок 1.6 – Термограмма доломита с добавками фосфатов алюминия и магния [23].

Добавок фтористого и хлористого натрия в шихту до обжига вводят и интенсивно влияет на скорость разложения доломитов. Ионы фтора и хлора разрушают кристаллические решетки исходного сырья и образуют при обжиге жидкую фазу. Появление жидкой фазы приводит к снижению температуры разложения  $MgCO_3$  примерно на  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  [24].

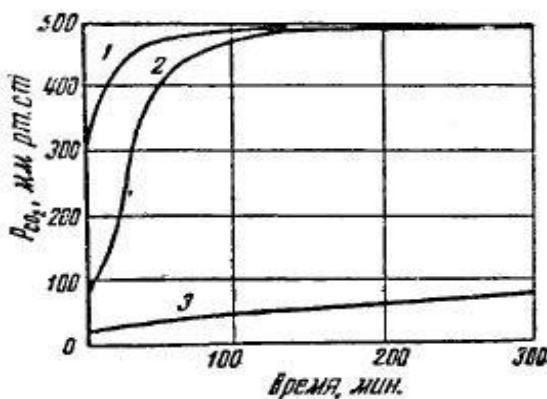


Рисунок 1.7 – Влияния добавок фтористого и хлористого натрия на скорость разложения доломита при  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$  [15]: 1 – добавка фтористого натрия; 2 – добавка хлористого натрия; 3 – доломит без добавки.



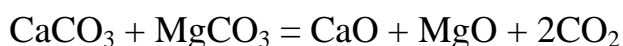
Карналлит является наиболее эффективный, образуются жидкую фазу при низкой температуре. Существования длительное время жидкой фазы позволяют снизить максимум температуру разложению  $MgCO_3$ .

Гидрокарбонат натрия и шестиводного хлорида магния при нагревании способный диссоциировать на ионы. При этом приводит к дестабилизации кристаллической решетки доломита при нагреве и снижает температуру разложения магнезита [24].

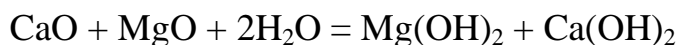
Введение добавки содовый плав и кальцинированную соду сильно влияют на температуру декарбонизации карбоната магния и снижают ее температуру разложения на  $100 - 120$  °C [25,26].

#### **1.4.2. Аммиачные способы получения оксида магния**

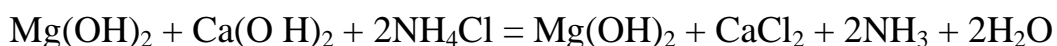
Термическая обработка доломита, связанных с разрушением карбонатов и протекает с образованием оксидов кальция и магния:



При обжиге диссоциация доломита протекает в две стадии. Разложение  $MgCO_3$  доломита происходит при  $730$  °C с образованием  $MgO$  и  $CaCO_3$ . Повышением температуры до  $910$  °C достигаются дальнейшая диссоциация  $CaCO_3$  на оксид кальция. Смесь оксида магния и кальция, полученную при обжиге доломита, размалывают и гасят водой. Затем образуется суспензия гидроокисей магния и кальция:



При достаточном количестве полученной суспензии гидроксида магния и кальция, обеспечивающим эквивалентное соотношение между  $CaO$  и  $NH_4Cl$ , гидроксид магния не вступает в реакцию, остается неизменной, а  $Ca(OH)_2$  вступает в реакцию с образованием  $CaCl_2$ :



После отгонки  $NH_3$  суспензия  $Mg(OH)_2$  в растворе  $CaCl_2$  уплотняется, гидроксид магния отфильтровывают, промывают и сушат. Затем прокаливают для получения оксида магния.

По другому варианту суспензия гидроокисей магния и кальция, подвергается карбонизации, Здесь уже участвует в реакцию гидроксида магния  $Mg(OH)_2$  с образованием  $MgCl_2$ , а гидроксид кальция взаимодействует с углекислым газом, в результате которой осаждается  $CaCO_3$ :



Затем полученный раствор хлористого магния перерабатывают на оксида магния .

#### **1.4.3. Известковый способ получения оксида магния**

Этот способ заключается в осаждении гидроксида магния из растворов хлористого магния суспензию гидроокисей магния и кальция, который полученный при гашении оксида магния и кальция.



Вследствие того, что растворимость  $Mg(OH)_2$  значительно меньше, чем  $Ca(OH)_2$ , реакция идет в сторону образования  $Mg(OH)_2$ . Гидроокись магния отфильтровывают и промывают водой. Отфильтрованный и промытый осадок  $Mg(OH)_2$  прокаливанием при не высоких температурах превращается в оксида магния.

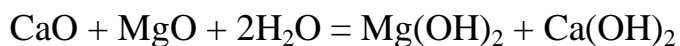
Недостатком известкового способа получения оксида магния является загрязнение продукта значительным количеством окиси кальция.

#### **1.4.4. Бикарбонатный способ получения оксида магния**

Одним из основных методов химической обработки является перевод тяжелой формы оксида магния в раствор бикарбоната магния с дальнейшим процессам осаждают из него легкой формы оксида магния.

Доломит обжигают и получают смесь оксида магния и кальция, затем размалывается и гасится водой.

При гашении водой полностью обожженного доломита образуется гидроксида магния и кальция в виде суспензии:



Образующуюся суспензию с последующим проводят карбонизацию

углекислым газом с помощью автоклава. Реакция карбонизация проходит при давлении 3 – 7 атмосферах. При этом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  переходит в  $\text{CaCO}_3$ , а  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  переходит в раствор бикарбоната магния.

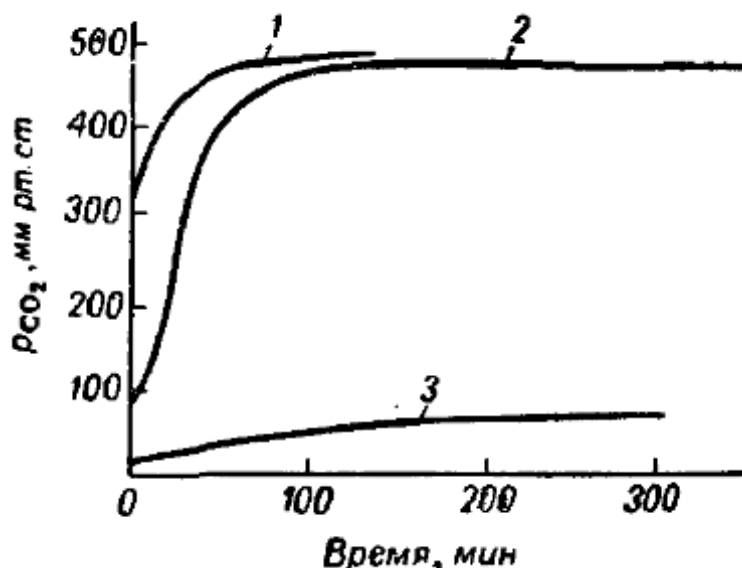
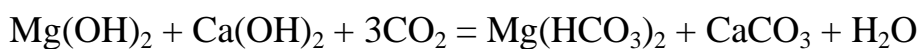


Рисунок 1 – Скорость диссоциации доломита при 620 °С.

1 – с добавкой  $\text{NaF}$ ; 2 – с добавкой  $\text{NaCl}$ ; 3 – без добавки.

В интервале 40 – 60 °С карбонизация гидроксидов магния и кальция идет с максимальной скоростью. Растворимость оксида магния  $\text{MgO}$  в воде, насыщенной углекислым газом, представлена на рисунке 2.

Во избежание выделения в осадок карбоната магния при получении бикарбоната магния температуру не поднимают выше 26 °С. Бикарбонатный раствор отфильтровывают от твердых примесей ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и др) и разлагают. Методы осаждения предполагают перевод катионов  $\text{Mg}^{2+}$  в труднорастворимые соединения, выпадающие в осадок с последующим удалением (фильтрацией или центрифугированием). Это достигается либо нагреванием бикарбоната магния, либо введением в бикарбонат магния соответствующих химических реагентов.

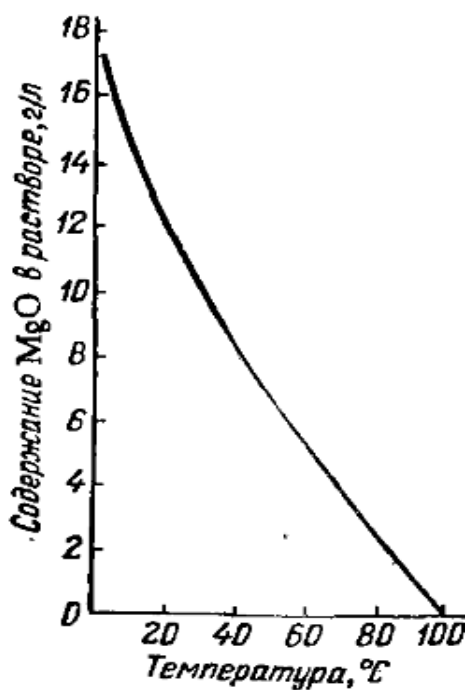


Рисунок 2 – Растворимость чистого оксида магния в воде, насыщенной с углекислым газом.

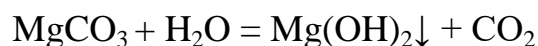
Скорость растворения  $Mg(OH)_2$  при карбонизации водной суспензии определяется скоростью растворения и гидратации углекислого газа. Практически скорость карбонизации гидроксида магния зависит от интенсивности перемешивания суспензии и от парциального давления  $CO_2$  в газе. Оптимальное давление углекислого газа составляет 2,5 – 3 атмосферы  $CO_2$ , при этом 80 – 90 % оксида магния  $MgO$  растворяется и образуется перенасыщенный раствор бикарбоната магния, содержащий 25 – 30 г/л  $MgO$ . Средняя скорость растворения гидроксида магния и концентрация полученного перенасыщенного раствора  $Mg(HCO_3)_2$  увеличиваются с повышением концентрации оксида магния  $MgO$  в суспензии до 30 г/л, а затем уменьшаются.

#### 1.4.4.1. Термическим методом осаждения бикарбоната магния

Термический метод осуществляется путем нагрева до температуры 90 – 100 °C при перемешивании карбоната магния. Бикарбонат магния превращается в карбонат при нагревании. Но карбонат магния обладает заметной растворимостью, поэтому подвергается гидролизу в виде соли,



образованной слабой кислотой со слабым основанием.



Полученный осадок карбоната и гидроксида магния отфильтровывают и после сушки прокаливают при температуре 900 – 1100 °С с получением чистого оксида магния.

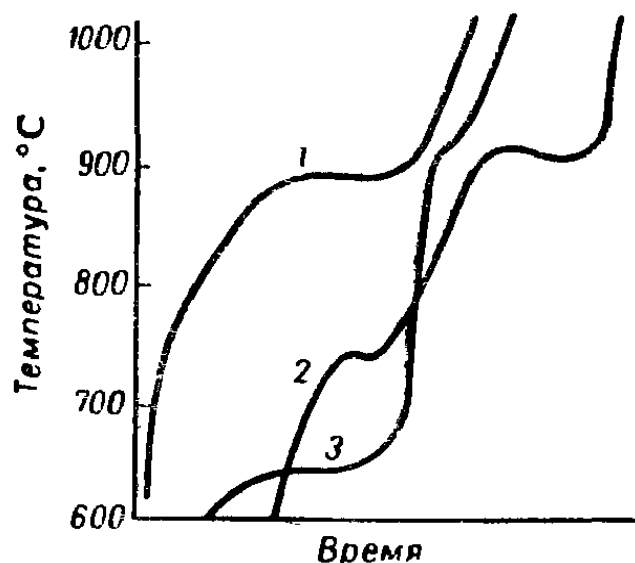
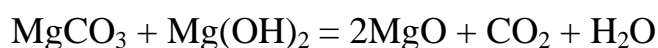


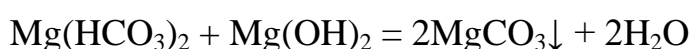
Рисунок 3 – Термограммы диссоциации карбонатов кальция и магния в атмосфере  $\text{CO}_2$  при нормальном давлении:

1 – известняк; 2 – доломит; 3 – магнезит.

#### 1.4.4.2. Химическим методом осаждения бикарбоната магния

Эти методы осаждения бикарбоната магния основаны на использовании химических реакций. Они вызывают образование нерастворимых в воде соединений магния, которые после осаждения удаляют путем фильтрации или другими методами. Ниже приведены несколько вещества, которые способны удалять ионы  $\text{Mg}^{2+}$  из раствора.

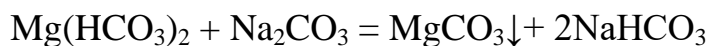
- добавление гидроксида магния:



Дальнейшее введение гидроксида магния в раствор бикарбоната приводит к гидролизу и образованию плохо растворимого гидроксида

магния, который выпадает в осадок при  $\text{pH} \geq 10,2 \dots 10,3$ :

- добавлением соды:



После добавления бикарбонатных реагентов в раствор мгновенно образуются коллоидные соединения  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , однако их переход от коллоидного состояния в крупнодисперсное, т.е. в состояние, в котором они выпадают в осадок, занимает длительное время. Поэтому для того, чтобы процесс осаждения происходил с помощью карбоната натрия, его проводят при нагревании.

- добавление щелочи:

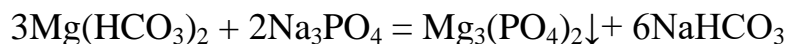
то есть осаждение бикарбоната магния щелочью ( $\text{NaOH}$ ).

Гидрокарбонат магния в реакции со щелочью образуют плохо растворимые соединения магния, соду, воду и углекислый газ:



- добавление фосфатов:

Химизм процесса осаждения фосфата натрия описывается следующими уравнениями реакций:



Как видно из приведенных выше уравнений реакций, суть метода заключается в образовании магниевых солей фосфорной кислоты, которые имеют низкую растворимость в воде и поэтому полностью выпадают в осадок. Осаждение фосфатов обычно осуществляется при нагревании.

## ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенного анализа научных литературных источников можно сделать следующие выводы:

Доломиты используются для производства различных видов магниевых вяжущих веществ, строительных материалов, в том числе мелкодисперсного активного оксида магния.

В химической промышленности доломит является одним из источников каустического магнезита, который является противослеживающей добавкой в производстве минеральных удобрений. Основной проблемой получения каустического магнезита из доломитов заключается в том, что выделение  $\text{CO}_2$  из  $\text{MgCO}_3$  неизбежно сопровождается частичным разложением  $\text{CaCO}_3$ . Так как с образованием  $\text{CaO}$  резко снижается качество каустического магнезита. При термической обработке доломита нельзя получить чистый оксид магния, поэтому при дальнейшей химической обработке получают из них чистый оксид магния. В этом разделе рассмотрены несколько методов получения чистого оксида магния из доломитов.

Целью работы является получить бикарбонатным методом активного оксида магния из доломитов.

В связи с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- измельчить образец доломита и прокалить при температуре  $650\text{ }^\circ\text{C}$  для подготовки к экспериментам по карбонизацию;
- карбонизировать с помощью автоклава при повышенном давлении  $0,3\text{ МПа}$  и  $0,7\text{ МПа}$   $\text{CO}_2$ , в 15 и 30 минутах;
- осаждают в разном методом гидрокарбонаты магния, карбонаты магния или другие соединения магния из полученного раствора бикарбоната магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  и анализировать эффективности методов осаждения.

# ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 2.1. Характеристика исходных материалов

В данной работе для получения бикарбонатным методом активного оксида магния использовались следующие компоненты: Доломит Таензинский, Доломит Якутия, Трилон Б и углекислый газ для приготовления водный раствор бикарбоната магния.

### 2.1.1. Каустический доломит Якутского месторождения

Химический состав доломитовой породы, который используемый в данной исследовательской работе приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав доломитовой породы якутского месторождения

Материал	Химический состав, мас.%							
	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Δm <sub>пр</sub>	Σ
Доломитовая порода	16,87	35,58	6,03	2,6	1,61	1,77	35,54	100,00

Потери при прокаливании составляют 35,54 %, что говорит о карбонатной природе породы. Данный об основных кристаллических фазах доломита представлен на рентгенограмме (рисунок 2.1).

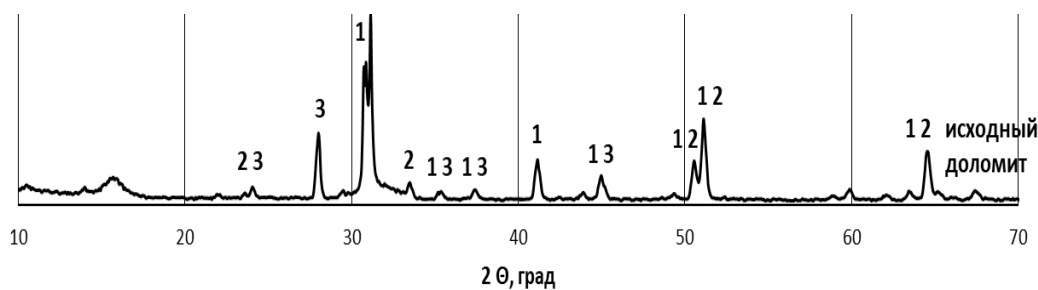


Рисунок 2.1 – Рентгенограмма исходного якутского доломита:

- 1 – Доломит  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{CO}_2$ ;
- 2 – Анкерит  $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ ;
- 3 – Альбит  $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$ ;
- 4 – Кварц  $\text{SiO}_2$ .

Термограмма исходного доломита представлена на рисунке 2.2



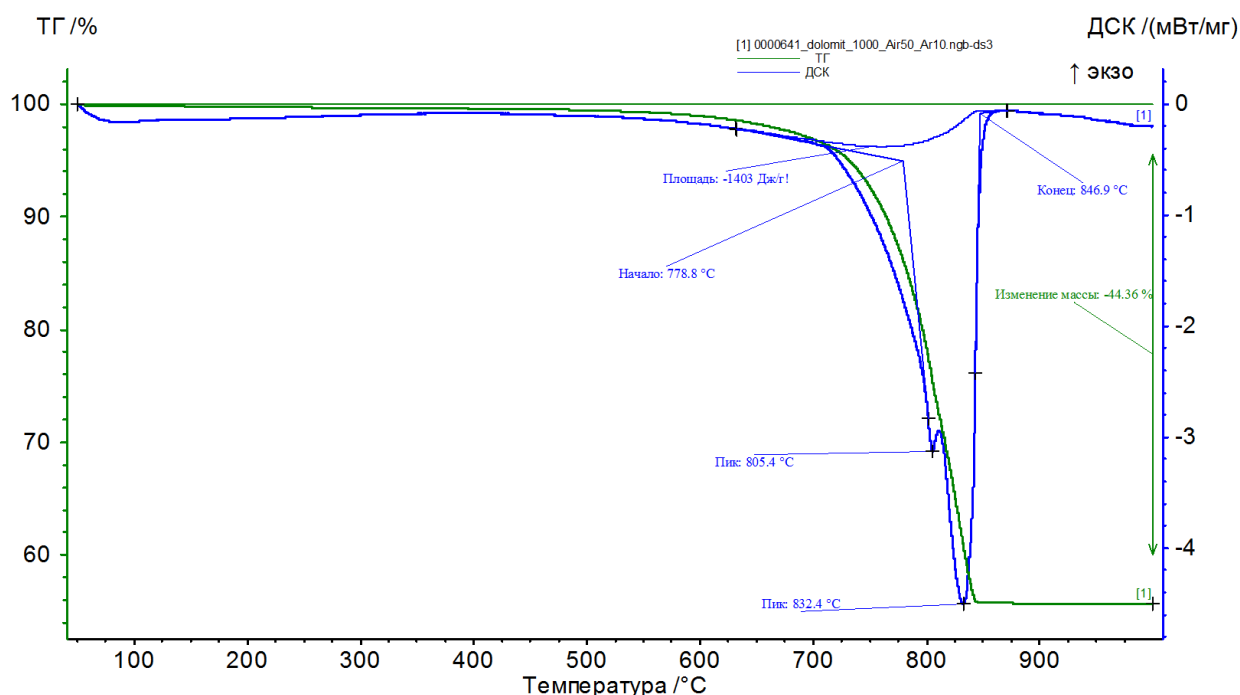


Рисунок 2.2 – Термограмма исходного доломита якутского месторождения

На термограмме отмечается два пика, которые соответствуют декарбонизации  $MgCO_3$  – 805,4 °С и  $CaCO_3$  – 832,4 °С, с очень маленьким интервалом – 30 °С.

### 2.1.2. Каустический доломит Таензинского месторождения

Химический состав доломитовой породы Таензинского месторождения, который используемый в данной исследовательской работе приведен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав доломитовой породы Таензинского месторождения

Материал	Химический состав, мас.%							
	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Δm <sub>пр</sub>	Σ
Доломитовая порода	21,16	45,08	0,38	0,54	-	-	32,84	100,00

Потери при прокаливании составляют 32,84 %, что говорит о карбонатной природе породы. По результатам РФА состоит из минералов доломита, кальцит, арагонит с примесями каолинита и силлиманита.

Рентгенограмма исходного Таензинского доломита представлена на рисунке 2.3.

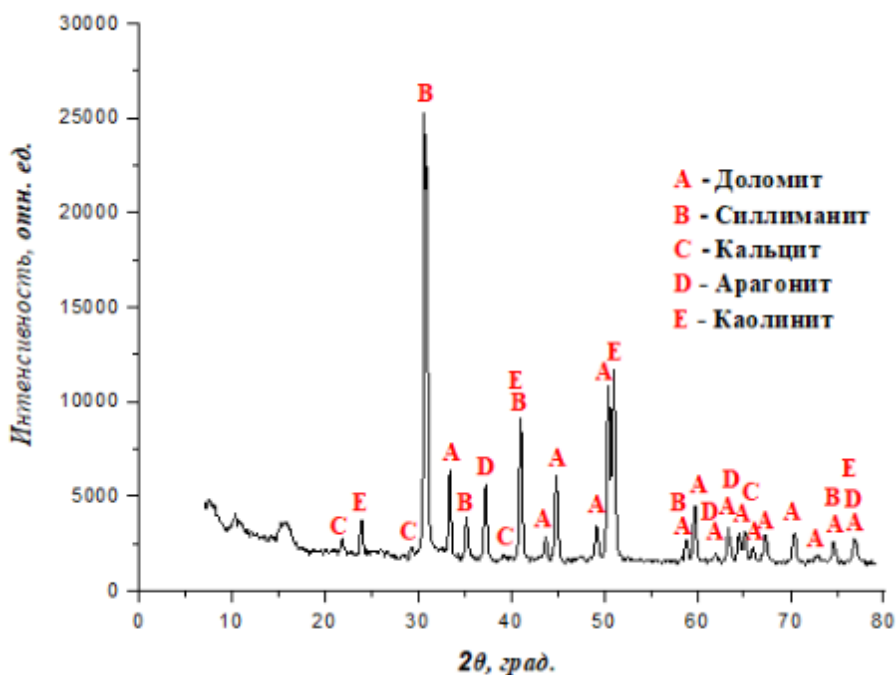


Рисунок 2.3 – Рентгенограмма исходного Таензинского доломита

### 2.1.3. Трилон Б

В данной работе использовали трилон Б в качестве добавки – интенсификатора декарбонизации магниевой составляющей доломита при обжиге. Молекулярная масса трилон Б – 372,23 г/моль, температура плавления 110 °С.

Трилон Б – динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (рис. 2.4)  $C_{10}H_{18}N_2Na_2O_{10}$  белый кристаллический порошок, хорошо растворяются в воде и щелочах, образует устойчивые комплексные соединения с большинством катионов.

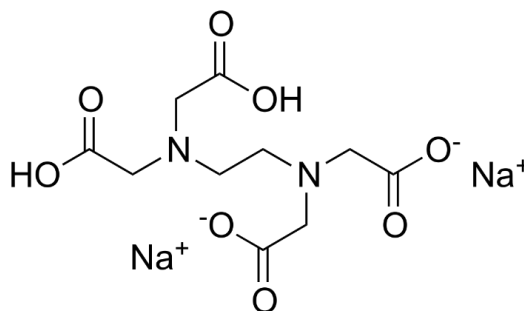


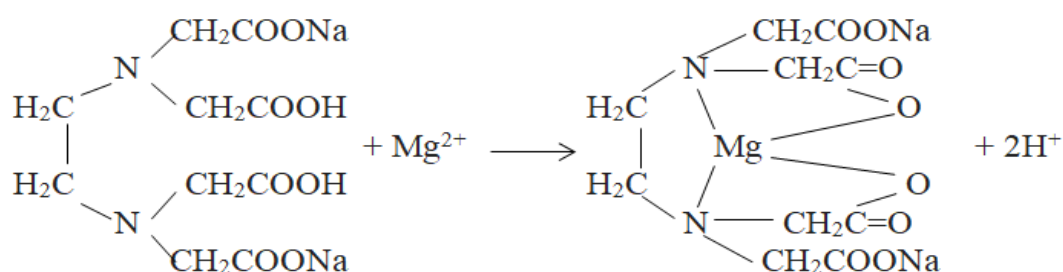
Рисунок 2.4 – Структурная химическая формула трилона Б

Трилон Б содержит может содержать примеси, состав приведен в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Состав трилон Б.

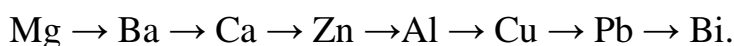
Материал	Содержание, масс. %					
	Осн. Вещества, н/м	Cl, н/б	Fe, н/б	SO <sub>4</sub> , н/б	Тяжелые металлы, н/б	Вещества нерастворимые в воде, н/б
Трилон Б	99,00	0,005	0,005	0,1	0,005	0,02

В структуре трилона Б имеет группы карбоксильные и 2 атома азота с неподвижной парой атомов. Ионы металлов образуют соли, замещая атомы водорода карбоксильных групп и одновременно связываясь координационно с атомами азота.



Прочность комплексов характеризуется величиной константы нестойкости, которая указывает на способность комплекса к диссоциации. Чем больше значения константы нестойкости, тем менее прочен комплекс, тем больше он диссоциирует с образованием исходных катиона и аниона.

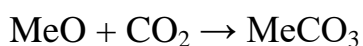
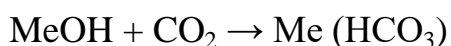
Прочность комплекса Me – Трилон Б возрастает в ряду:



## 2.2. Методы исследования

### 2.2.1 Метод карбонизации

Карбонизация это химическая реакция, которые оксиды и гидроксиды металлов реагируют с углекислым газом и образуют бикарбонаты и карбонаты:



Для проведения карбонизации под давлением используются

специальный аппарат называемый автоклав, который представлено на рисунке 2.5.

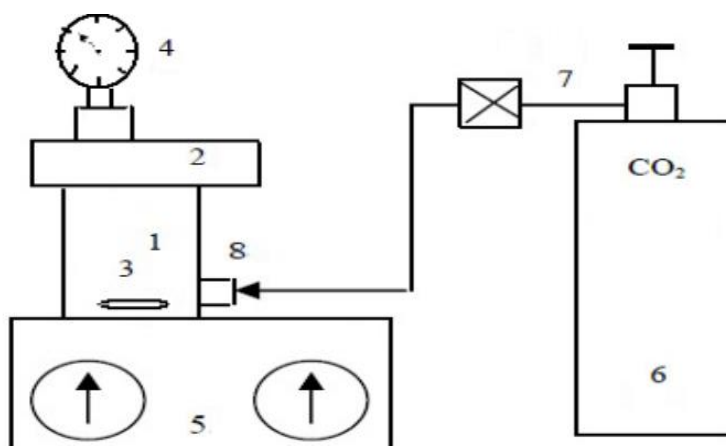


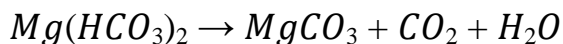
Рисунок 2.5 – Принципиальная схема аппарата для карбонизации:

- 1) Емкость из нержавеющей стали, 2) Крышка, 3) Магнитный толкатель,
- 4) Манометр реактора, 5) Магнитная мешалка, 6) Газ  $\text{CO}_2$  баллон, 7) клапан давления газа  $\text{CO}_2$ , 8) регулятор подачи газа  $\text{CO}_2$ .

Процесс карбонизации протекает при температуре до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . В автоклав периодического действия, который емкостью 5 литров, снабженный перемешивающим устройством мешалкой. Чтобы начать карбонизации, сначала загрузить воду с температурой  $20\text{ }^\circ\text{C}$  и прокаленный порошок, при температуре  $650\text{ }^\circ\text{C}$  с модифицирующей добавкой, который в соотношении 10 г порошка на 1 л воды. Автоклав должен герметично закрыть, затем подключить перемешивающее устройство называемый магнитной мешалка для перевода твердых частиц во взвешенное состояние. При этом частицы прокаленного доломита начинают взаимодействовать с водой. После перешивания суспензии в течение 30 сек, в автоклав из баллона подать углекислый газ под давлением  $0,2 - 0,7\text{ МПа}$ . Процесс карбонизации проводят в течение 60 мин при непрерывном перемешивании. После завершения процесса карбонизации прекратить подачу газа  $\text{CO}_2$  и открывать автоклав, затем водный раствор бикарбоната переливать в приемные емкости.

Бикарбонат магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  – неорганическое соединение, магниевая соль уксусной кислоты. Существует только в водных растворах,

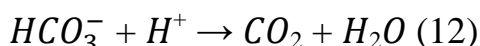
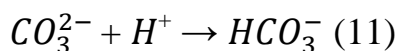
т.к. легко разлагается:



Раствор бикарбоната магния (БКМ), полученный с помощью искусственной карбонизации каустического доломита, обожженного при температуре 650°C с модифицирующей добавкой, далее подвергали испытаниям по определению концентрации ионов  $CO_3^{2-}$  и  $HCO_3^-$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ . Затем из раствора бикарбоната магния получали чистые соединения магния методами термического и химического осаждения.

### 2.2.2 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, который израсходованной при титровании раствора по фенолфталеину.

Для определения гидрокарбонат-аниона используют тот же раствор, оставшийся после титрования  $CO_3^{2-}$ . Сначала добавляют в раствор 1-2 капли метилового оранжевого и титруют с раствором соляной кислотой HCl до изменения цвет 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:

$$C(CO_3^{2-}) = \frac{V_K \cdot C_H(HCl) \cdot 60 \cdot 1000}{V_a}, \quad (13)$$

$$C(HCO_3^-) = \frac{V_{ГК} \cdot C_H(HCl) \cdot 61 \cdot 1000}{V_a}, \quad (14) \text{ где}$$

$C_H(HCl)$  – 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.

### 2.2.3. Определение концентрации ионов $Mg^{2+}$ и $Ca^{2+}$

Определение концентрации  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$  происходит титриметрическим способом.

Для титрования используют раствор Трилона Б с известной концентрацией. Сначала проводят определение общих-ионов в присутствии эриохрома черного Т, а затем определяют кальций-ионов – в присутствии мурексида и магний-ионов определяют по расчетам. Отбирают пипеткой 25 мл исследуемого раствора и переносят в колбу для титрования. Добавляют в колбу 5 мл буферного раствора и эриохромный черный Т индикатор, а затем титруют раствором трилона Б до тех пор, пока цвет не станет синим от вишнево-красного. Титрование повторяется, фиксируют объем раствор трилона Б, который израсходованной при титровании, за результат берется среднее значение объема трилона Б.

Для определения кальций-иона в коническую колбу отмеривают цилиндром 25 мл исследуемого раствора и добавляют 2 мл 8 %-ного раствора гидроксида натрия, 0,2 – 0,3 г индикатора мурексида и титруют раствором

трилона Б до перехода в красно-фиолетовую из розовой. Титрование повторяют до 3-х воспроизводимых результатов.

Концентрации ионов (мг/л) рассчитываются по уравнениям:

$$X_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{тр}} \cdot C_{\text{н}}(\text{трилон Б}) \cdot 1000}{V_{\text{а}}}, \text{ ммоль/дм}^3 \quad (13)$$

$$X_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{20,04 \cdot V_{\text{тр}} \cdot C_{\text{н}}(\text{трилона Б}) \cdot 1000}{V_{\text{а}}}, \text{ мг/дм}^3 \quad (14)$$

$$X_{\text{Mg}^{2+}} = 12,15 \cdot \left( X_{\text{общ}} - \frac{X_{\text{Ca}^{2+}}}{20,04} \right), \text{ мг/дм}^3$$

где  $C_{\text{н}}(\text{трилон Б})$  – концентрация трилона Б, моль/л;  $V_{\text{а}}$  – объем отобранной аликвоты или пробы раствора, мл;  $V_{\text{тр}}$  – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование пробы, мл; 20,04 – масса моля КВЭ кальция, г/моль; 12,15 – масса миллимоля КВЭ магния, мг/ммоль; 1000 – коэффициент пересчета в мг.

#### **2.2.4. Измерение pH раствор бикарбоната магния**

Для определения pH раствор бикарбоната магния использовали pH-метр S80 SevenMulti фирмы Mettler Toledo с комплексным электродом. Последовательность работы с pH-метром:

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

#### **2.2.5. Термические методы анализа**

Этот метод основан на нагревании или охлаждении образца с определенной скоростью. Регистрируется временная зависимость, разность температур между испытуемым образцом и эталонным образцом, которая не претерпевает никаких изменений в выбранном диапазоне температур. В качестве эталонного образца было выбрано вещество с теплоемкостью и теплопроводностью, близкими к исследуемому материалу и не

претерпевающее каких-либо структурных и фазовых изменений в выбранном диапазоне температур. Таким образом, возникающая разница температур при одновременном нагреве или охлаждении двух образцов объясняется тем, что в исследуемом образце происходят эндо - или экзотермические реакции.

Термический анализ подразделяется на следующие методы:

- Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК);
- Дифференциальный термический анализ (ДТА);
- Термогравиметрический анализ (ТГА).

Дифференциальный термический анализ принимается за стандарт, основанный на сравнении результатов анализа тепловых свойств исследуемого вещества и термически инертного вещества. Регистрируемым параметром является разность температур между образцом и эталоном, которая изменяется при нагревании или охлаждении образца с постоянной скоростью.

Дифференциальное сканирование отличается от дифференциального термического анализа. В этом методе образец и образец нагреваются с одинаковой скоростью. Экспериментальные кривые представляют зависимость теплового потока от температуры. По внешнему виду кривая ДСК очень похожа на кривую ДТА, за исключением мер ординат. Как и в случае метода ДТА, площадь пика, ограниченная кривой ДСК, прямо пропорциональна изменению энтальпии.

При испытании образцов ДТА проявляют характерные эндотермические эффекты, возникающие в результате обезвоживания и разрушения кристаллической структуры, а также экзотермические эффекты, обусловленные образованием новых фаз при более высоких температурах.

Результаты ДСК представлены в виде непрерывной кривой, которая регистрирует тепловые реакции, протекающие при соответствующих температурах. Предполагается, что в эндотермических реакциях дифференциальная кривая резко отклоняется от нулевой линии вниз, а в экзотермических реакциях-вверх.

Термогравиметрический анализ (ТГА) - это метод термического анализа, позволяющий получать данные об изменении и скорости изменения массы образца при равномерном нагреве или охлаждении исследуемого материала. Кривая ТГА представляет собой график изменения веса образца с температурой или временем.

Термогравиметрический анализ широко используется в исследованиях и разработках, оптимизации процессов и контроле качества в различных областях, таких как пластмассы, резина, покрытия, фармацевтика, катализаторы, неорганические материалы, металлические материалы и композитные материалы.

Термогравиметрический анализ включает в себя непосредственное определение потери массы в процентах путем постоянного нагрева испытуемого вещества с постоянной скоростью. Данные термического анализа позволяют определить термостабильность и состав образца, особенно содержание воды на разных этапах процесса нагрева.

Принципиальная схема ТГА представлена на рисунке 2.6.

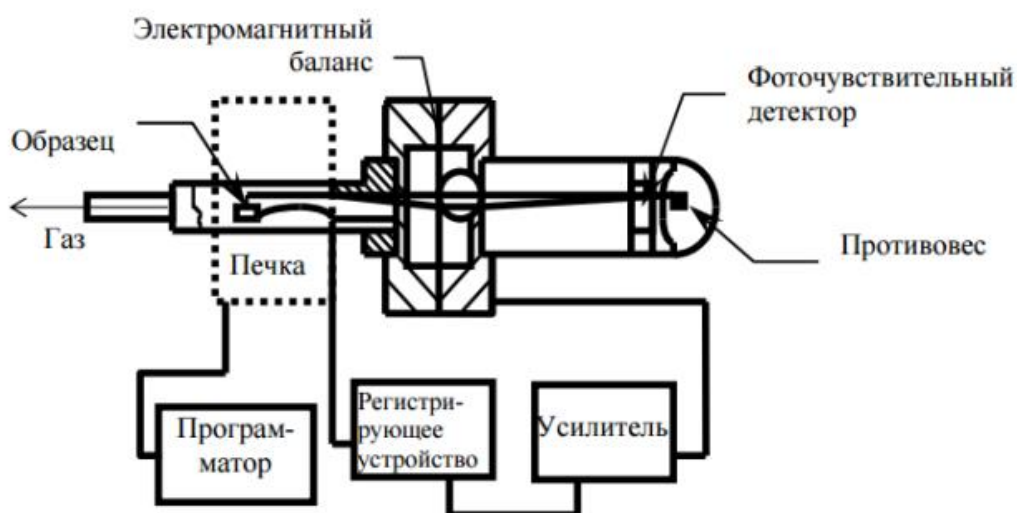


Рисунок 2.6 – Принципиальная схема термогравиметрического анализатора.

Для проведения данного эксперимента использовались дифференциально-термический анализатор STA 449 F3 Jupiter фирмы «NETZSCH» (ФРГ), представляющий собой сопряженный ДСК – ТГ прибор. Эксперимент проводился в интервале температур  $20 \div 1000$  °С, и скорость

нагрева составляла 10°C/мин. Масса загружаемой навески равна 50 мг.

### 2.2.6. Рентгенофазовый анализ

Данный метод позволяет идентифицировать различные фазы в смеси. Луч падает на измельченную порошкообразную смесь и отражается с определенной интенсивностью. Каждая интенсивность записывается на рентгенограмме.

Физический смысл РФА заключается в рассеянии рентгеновских лучей при прохождении через кристаллическую решетку вещества. Обязательным условием дифракции рентгеновский лучей является выполнение уравнения Вульфа-Бреггов, которое имеет вид:

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

Где  $\lambda$  – длина волны рентгеновского луча, нм;  $n$  – порядок отражения (1,2,3);  $d$  – межплоскостной интервал, нм;  $\theta$  – угол падения рентгеновского луча, град.

После расчета каждого межплоскостного расстояния берут эталонные таблицы и сравнивают значение  $d$  с эталонным значением выбранного вещества. Так и подбирают состав фаз, образец которого участвовал в РФА.

В данной научно-исследовательской работе РФА проводили на приборе под названием ДРОН – 3М, где применяется рентгеновская трубка БСВ – 29 с  $\text{Cu}_{\text{Ka}}$  – излучением, точность съемки – 1000,2000, скорость вращения гониомерта – 4 град/мин, напряжение анод – катод 35кВ, а анодный ток 25мА. Расчет рентгенограммы производился с помощью программы Crystallographic Search – Match, которая включает в себя базу 100 тысяч эталонных рентгенографических параметров. Обработка полученных результатов происходит по средства сравнения экспериментального спектра образца с огромным числом цифровых массивов, характеризующих спектры возможных веществ.



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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ГМ93	Хабибуллаев Оятулло Хамидулло угли

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение Школа</b>	<b>НОЦ им. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	18.04.01. Химическая технология

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 % (НК РФ)</i>

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

<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Анализ и оценка конкурентоспособности НИ. SWOT-анализ</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.</i>
<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Определение: интегрального финансового показателя; интегрального показателя ресурсоэффективности; интегрального показателя эффективности.</i>

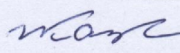
**Перечень графического материала**

Оценка конкурентоспособности ИР  
Матрица SWOT  
Диаграмма Ганта  
Бюджет НИ  
Основные показатели эффективности НИ


<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2021
---	------------



**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		08.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ93	Хабибуллаев Оятулло Хамидулло угли		08.02.21

# **ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является разработка технологии получения активного оксида магния на основе доломитового порода методом бикарбоната.

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

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

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

Оценочная карта конкурентных товаров и разработок представлена в таблице 4.1.

1. Активного оксида магния на основе доломитового порода (Б<sub>ф</sub>) – НИ ТПУ г. Томск.

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки:

2. Оксид магния синтетический (Б<sub>к1</sub>) - АО «КАУСТИК» г. Волгоград.

3. Магния оксид (Б<sub>к2</sub>) – АО ТД «ХИМЭК» г. Москва.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,20	5	3	4	1	0,6	0,8
3. Механическая прочность	0,25	5	4	4	1,25	1	1
4. Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
5. Простота изготовления	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
6. Структура поверхности	0,10	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Безопасность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена сырья	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>4,55</b>	<b>4,1</b>	<b>4,2</b>

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

## 4.1.2 SWOT-анализ

Таблица 4.2 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Экологическая технологии</p> <p>С2. Научная новизна</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Научное исследование носит региональный характер производства;</p> <p>Сл2. Отсутствие запатентованных современных технологий;</p> <p>Сл3. Не достаточная конкурентоспособность на международном рынке.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Более полное использование сырья и отходов производства, создание энергосберегающих технологий</p> <p>В3. Долгосрочная стратегия развития отрасли на государственном уровне</p>	<p>В связи с уникальными свойствами материала (высокие активность и селективность, развитая удельная поверхность, низкая стоимость) у данной научной разработки есть шансы выйти на российский рынок. Есть необходимость заинтересовать инвесторов, чтобы данная разработка нашла применение в строительной отрасли.</p>	<p>Несмотря на достоинства разработки и на наличие возможностей её реализации, она не развита на рынке из-за отсутствия промышленных установок на территории России. Соответственно, из-за незаинтересованности потенциальных потребителей отсутствует финансирование и необходимое оборудование для дальнейшего развития</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Высокая стоимость и дефицит солей магния</p> <p>У2. Пониженная водостойкость и воздухоустойкость полученных материалов</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>Производство MgO осложняется из-за недостаточного объем производства каустического магнезита и каустического доломита, высокая стоимость и дефицитность солей магния, растворы которых применяются в качестве затворителей, а также пониженная водостойкость и воздухоустойкость материалов и изделий на основе магнезиальных вяжущих веществ.</p> <p>Для решения проблем дефицита солей магния и дороговизны, применяемых затворителей необходимо найти поставщиков сырья отвечающих всем требованиям производства магнезиального вяжущего вещества.</p>	<p>Отсутствие финансирования и незаинтересованность потенциальных потребителей в научной разработке является проблемой для дальнейшего ее развития.</p>

## **В результате SWOT-анализа сделаем выводы:**

1. В связи с уникальными свойствами материала (высокие активность и селективность, развитая удельная поверхность, низкая стоимость) у данной научной разработки есть шансы выйти на российский рынок. Есть необходимость заинтересовать инвесторов, чтобы данная разработка нашла применение в строительной отрасли.

2. Производство MgO осложняется из-за недостаточного объема производства каустического магнезита и каустического доломита, высокая стоимость и дефицитность солей магния, растворы которых применяются в качестве затворителей, а также пониженная водостойкость и воздухоустойкость материалов и изделий на основе магнезиальных вяжущих веществ.

3. Для решения проблем дефицита солей магния и дороговизны, применяемых затворителей необходимо найти поставщиков сырья отвечающих всем требованиям производства магнезиального вяжущего вещества.

## **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

При выполнении научных исследований в состав рабочей группы входят: научный руководитель и инженер.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные	6	Проведение лабораторных исследований	Инженер
	7	Расчет данных эксперимента	Инженер,

исследования			научный руководитель
	8	Графическое представление экспериментальных данных	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ и сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер, научный руководитель
	10	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель

#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):



$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работ	Трудоемкость работ			Исполнитель и	T <sub>pi</sub> , раб.дн.	T <sub>ki</sub> , кал.дн.
	t <sub>min</sub> , чел- дни	t <sub>max</sub> , чел- дни	t <sub>ож</sub> , чел- дни			
Составление и утверждение технического задания	2,5	5	3,5	Р	3,5	4,5
Подбор и изучение материалов по теме	20	25	22	И	22	27
Проведение патентных исследований	10	15	12	И	12	15
Выбор направления исследований	2,5	5	3,5	Р	3,5	4,5
Календарное планирование работ по теме	2,5	5	3,5	Р	3,5	4,5
Проведение лабораторных исследований	10	15	12	И	12	15
Расчет данных эксперимента	2,5	5	3,5	Р	3,5	4,5
	2,5	5	3,5	И	3,5	4,5
Графическое представление экспериментальных данных	2,5	5	3,5	И	3,5	4,5
Анализ и сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	1,5	2	1,4	Р	1,4	2
	1,5	2	1,4	И	1,4	2
Оценка эффективности полученных результатов	2,5	5	3,5	Р	3,5	4,5
Итого				Р	18,9	24,5
				И	54,4	68

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
			февраль			Март			Апрель			Май			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	4.5	■												
Подбор и изучение материалов по	Инженер	27	▨	▨	▨										
Проведение патентных исследований	Инженер	15				▨	▨								
Выбор направления исследований	Научный руководитель	4.5						■							
Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	4.5						■							
Проведение лабораторных исследований	Инженер	15								▨	▨				
Расчет данных эксперимента	Инженер, научный руководитель	4.5 4.5										■	▨		
Графическое представление экспериментальных данных	Инженер	4.5											▨		
Анализ и сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер, научный руководитель	2 2												■	▨
Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель	4,5												■	

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 4.3.1. Расчет материальных затрат НИИ

Таблица 4.6 – Материальные затраты на реактивы

Наименование	Масса, кг	Стоимость с НДС, руб/кг	Сумма, руб
Доломит	3	150	450
Трилон Б	0,3	200	60
CO <sub>2</sub>	5	200	1000
Итого:			1510

Таблица 4.7 – Материальные затраты на лабораторную посуду

Наименование	Количество, шт	Стоимость с НДС, руб/шт	Сумма, руб
Стакан мерный, 250 мл	2	50	100
Стакан мерный, 25 мл	3	50	150
Ступка фарфоровая с пестиком	2	360	720
Бюретка	1	850	850
Итого:			1820

Таблица 4.8 – Материальные затраты на средства защиты

Наименование	Количество, шт	Стоимость с НДС, руб/шт	Сумма, руб
Халат	1	1 500	1 500
Перчатки	1	150	150
Итого:			1550

Таблица 4.9 – Затраты на получение оксида магния из доломитовой породы

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок трилона Б	Кг	0,3	200	60
Вода холодная водопроводная	м <sup>3</sup>	3	35	105
Углекислый газ в баллоне	Л	5	200	1000
Доломит	Кг	3	150	450
Раствор трилона Б	м <sup>3</sup>	0,3	500	150
Раствор HCl	м <sup>3</sup>	0,3	800	240
Перчатки резиновые, технические	Пар	1	150	150
<b>Итого:</b>				2155

Таблица 4.10 – Общие материальные затраты на научно-технические исследования

Вид затрат	Сумма, руб
Материальные затраты на реактивы	1510
Материальные затраты на лабораторную посуду	1820
Материальные затраты на средства защиты	1550
Затраты на получение оксида магния из доломитовой породы	2155
<b>Итого:</b>	7035

### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	использования, лет	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Весы аналитические	1	10	0,15	10	44 600	55,75	
2	Термоанализатор ДТА/ТГ	1	15	2	7	870000	10150	
3	Дифрактометр Дрон-3М	1	15	0,12	7	545000	381,5	
4	Автоклав	1	20	1	5	40000	166,7	
<b>Итого:</b>		10753,95 руб.						

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	18,9	40584
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	54,4	94824,6
Итого:								135408,6

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии



проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 4.15 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнители	З <sub>осн</sub> , руб.	З <sub>доп</sub> , руб.	З <sub>зп</sub> , руб.
Руководитель	40584	6087,6	46671,6
Инженер	94824,6	14223,7	109048,3

#### 4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается последующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (7)$$

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	40584	6087,6
Инженер	94824,6	109048,3
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	0,271
Итого: 67897,5		

#### 4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, размножение материалов и т.д.

$$Z_{\text{накл}} = (7035 + 10753,95 + 135408,6 + 20311,3 + 67897,5) \cdot 0,16 = 38625$$

#### 4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2	
1. Материальные затраты НТИ	7035	7035	7035	Табл. 10

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	10753,95	10700	10700	Табл. 12
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	135408,6	135800	136100	Табл. 14
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20311,3	20500	20600	Табл. 15
5. Отчисления во внебюджетные фонды	67897,5	68000	68000	Табл. 16
6. Накладные расходы	38625	38725	38790	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	280031	280760	281225	суммы ст. 1-6

Как видно из таблицы 17 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей темы.

В вариантах исполнения (аналог 1, аналог 2) происходит увеличение затрат на электроэнергию, за счет увеличения расхода сырья.

#### **4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Тогда для трех вариантов интегральный финансовый показатель разработки составляет:

$$I_{финр.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{280031}{281225} = 0,996, \quad (2)$$

$$I_{финр.2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{max}} = \frac{280760}{2811225} = 0,998, \quad (3)$$

$$I_{финр.3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{max}} = \frac{2811225}{2811225} = 1, \quad (4)$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5)$$

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 18).

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования/ Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	4
3. Энергосбережение	0,20	5	4	3
4. Надежность	0,15	5	5	5
5. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	28	25	22

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,6$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,15$$

$$I_{p-исп3} = 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,7$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,6}{0,996} = 4,62, \quad (9)$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,15}{0,998} = 4,16, \quad (10)$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{3,7}{1,00} = 3,7, \quad (11)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (12)$$

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разработка	Аналог1	Аналог2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,996	0,998	1,00
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,15	3,7
Интегральный показатель эффективности	4,62	4,16	3,7
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	1,11	1,25

По полученным значениям интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что существующий вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности из всех предложенных вариантов наша разработка является наиболее приемлемым.

## Выводы по разделу

По мере достижения заданной цели данного проекта были пройдены следующие этапы:

1. В ходе проведения анализа конкурентных технических решений были определены те, на которые следует обратить внимание: на сильные конкурентные характеристики, такие как долговечность и безопасность, а с экономической точки зрения – цену продукта (а соответственно, доступность).

2. SWOT-анализ помог выявить корреляции слабых, сильных сторон и возможностей, угроз проекта, например стоит обратить внимание на то, что отсутствующий спрос на новые технологии может перекрыться доказанной эффективностью использования стройматериалов по данной разработке, а при повышении стоимости сырья (а соответственно – повышении стоимости получаемого продукта) потребитель может предпочесть менее долговечные, но более дешевые материалы.

3. Был разработан календарный план в форме диаграммы Ганта для распределения рабочего времени всех исполнителей проекта, непосредственно инженер будет занят на проекте 68 календарных дней.

4. Рассчитанный бюджет проведения НИОКР составил 280031 рублей.

5. Оценка эффективности показала, что значение интегрального финансового показателя составило 0,996, что показывает финансовую выгоду проекта, более экономичную по сравнению с аналогичными разработками. Значение интегрального показателя ресурсоэффективности равно 4,6, по сравнению с 4,15 и 3,7, что превосходит аналоги. Значение интегрального показателя эффективности 4,62, по сравнению с 4,16 и 3,7 – показывает превосходящий аналогов результат.