

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка составов магнезиальных тампонажных цементов

УДК: 666.941.2.014-047.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Боженко Анастасия Евгеньевна		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отд. общетехнических дисциплин	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва Инна Борисовна	к.т.н., доцент		

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
И.Б. Ревва
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерская диссертация
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Боженок Анастасия Евгеньевна

Тема работы:

Разработка составов магниезиальных тампонажных цементов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018г. №643/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.05.19 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>Объектами исследования являются составы, технология и свойства тампонажного материала на основе водостойкого магниезиального вяжущего.</p> <p>Сырьевые материалы: Каустический магнезит ПМК-75 (ООО «Сибирские порошки», Иркутская область), раствор бикарбоната магния.</p> <p>Способ формования – вибролитьевой.</p> <p>Цель – получить образцы тампонажных материалов на основе магниезиального вяжущего с высокими значениями водостойкости и прочности. Исследованию подлежат свойства: плотность, водотвердое отношение, прочностные характеристики, консистенция при пониженных и повышенных температурах, водостойкость и коррозионностойкость.</p>
---------------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Структура скважины и организация добычи углеводородного сырья. <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Основы проектирования и возведения. 1.2. Крепление скважины 1.3. Материалы для крепления скважины. 2. Тампонажные материалы. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Тампонажные материалы на основе портландцемента. 2.2. Магнезиальные тампонажные материалы. <ol style="list-style-type: none"> 2.2.1. Технология магнезиального цемента. 2.2.2. Получение водостойкого гидрокарбонатного магнезиального вяжущего. 2.3. Коррозия тампонажного цементного камня: источники, причины, последствия, методы борьбы. 2.4. Основные особенности качественного тампонажного материала. 3. Материалы и методы исследований. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Материалы, используемые в работе <ol style="list-style-type: none"> 3.1.1. Характеристика каустического магнезиального порошка. 3.1.2. Тампонажный цемент с добавками 3.1.3. Затворитель (раствор бикарбоната магния) 3.2. Методы исследования. 4. Водостойкий и коррозионностойкий магнезиальный тампонажный материал. 4.5. Выводы по главе. <ol style="list-style-type: none"> 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
--	--

<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация из ____ слайдов</p>
---	------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Трубченко Т.Г.
Социальная ответственность.	Романова С.В.

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

Тампонажные материалы на французском языке. Ростовцева В.М.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Боженко Анастасия Евгеньевна		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Химическая технология
 Уровень образования магистрант
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 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:	06.05.19 г.
--	-------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

Консультант (при наличии)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва И.Б.	к.т.н. Доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.04.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно–научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов.	Требования ФГОС (ПК–2, 10, 12), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач.	Требования ФГОС (ПК–2, 4–7, ОК–4), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1, 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК–2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	Разрабатывать химико–технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке.	Требования ФГОС (ПК–1, 17), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий.	Требования ФГОС (ПК–14–16, ОК–2–6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК–1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК–3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранном языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать	Требования ФГОС (ПК–7, ОК–3) Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	результаты инновационной инженерной деятельности.	<i>ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС (ПК–9, ОК–4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС (ПК–5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4, 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК–11, ОК–1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> , ПС рег. 853 от 19.09.2016.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ с., _____ рис., _____ табл., _____ источников, 2 прил.

Ключевые слова: Магнезиальные тампонажные вяжущие, тампонажный материал, водостойкий гидрокарбонат магнезиального вяжущего, жидкость затворения, раствор бикарбоната магния, гидравлические магнезиальные вяжущие.

Объектом исследования является магнезиальные тампонажные материалы с высокой водо- и коррозионной стойкостью для применения в условиях присутствия карбонатных и солевых пластовых растворов.

Цель работы – исследование состава и основных свойств гидрокарбонатных магнезиальных вяжущих с целью применения в качестве тампонажных материалов для обустройства скважин.

В процессе исследования проводились: исследования процессов структурообразования в процессе гидратации магнезиальных вяжущих затворяемых водным раствором бикарбоната магния.

В результате исследования: был определен характер и состав новообразований, образующихся в процессе структурообразования при гидратации магнезиальных вяжущих веществ и их влияние на свойства готового материала.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: предел прочности при сжатии и изгибе, истинная плотность, фазовый состав продуктов гидратации и твердения, коэффициент водостойкости.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: крепление обсадных колонн.

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

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

Цель диссертационной работы – заключается в исследовании процесса структурообразования и определении новообразований, образующихся при гидратации и твердении магнезиального вяжущего и влияния данных продуктов гидратации на свойства готового материала.

Актуальность

Магнезиальный вяжущие обладает многими полезными и уникальными свойствами, такими как повышенная прочность на изгиб, высокая прочность на сжатие, малая усадка или ее отсутствие, высокая эластичность, быстрое твердение, хорошая износостойкость и другие. Но также и имеют отрицательные стороны в первую очередь, их незначительная водостойкость, которая значительно ограничивает сферу их применения. И поэтому актуальностью данной работы является повышение водостойкости магнезиальных вяжущих за счет подбора новой жидкости затворения, при использовании которой образуются водонерастворимые соединения, обладают хорошими адгезионными свойствами.

Научная новизна

1. Установлена возможность магнезиального гидравлического вяжущего, вследствие замены традиционных затворителей (раствора хлоридов и сульфатов магния) водным раствором бикарбоната магния, который обеспечивает получение водонерастворимых продуктов гидратации и твердения магнезиальных композиций.
2. Установлены закономерности структурообразования водостойкого магнезиального камня при использовании в качестве жидкости затворения раствора бикарбоната магния.
3. Установлено, что при затворении каустических магнезиальных порошков раствором бикарбоната магния образуются гидрокарбонаты магния и гидратгидрокарбонат магния, нерастворимые в воде,

способствующие твердению магниевых композиций как в воздушно-влажных условиях, так и в воде.

4. Установлен состав и характер новообразований, образующихся в процессе структурообразования при гидратации и твердении магниевых вяжущих веществ.

Практическое применение

1. Получен хороший материал для сцепления обсадных колонн, который обладает герметичными и прочностными характеристиками.

Нормативные ссылки:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации, №197-ФЗ от 30.12.2001 г.;
2. ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»;
3. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»;
4. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
5. ГОСТ 12.1.029-80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация»
6. ГОСТ 12.2.003 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;
7. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;
8. ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»;
9. ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования»;
- 10.ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»;
- 11.ГОСТ 12.4.041 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования»;
- 12.ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».
- 13.ГОСТ 12.4.023-84 «ССБТ. Щитки защитные лицевые. Общие технические требования и методы контроля». 1
- 14.ГОСТ 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний»;
- 15.ГОСТ 12.4.128 «ССБТ. Каски защитные. Общие технические условия»;

- 16.ГОСТ 12.4.280-2014 «ССБТ. Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования»;
- 17.ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия».
- 18.ГОСТ 1581-96 ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ ТАМПОНАЖНЫЕ. Технические условия. – Москва, 1998.
- 19.ГОСТ 5382-91 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа»;
- 20.ГОСТ 28507-90 «Обувь специальная кожаная для защиты от механических воздействий. Общие технические условия»;
- 21.ГОСТ 22.0.05-97/ГОСТ Р 22.0.05-94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения»;
- 22.ГОСТ Р 12.4.297-2013 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия пламени. Технические требования и методы испытаний»;
- 23.ГОСТ Р 51769-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Документирование и регулирование деятельности по обращению с отходами производства и потребления. Основные положения»;
- 24.ГОСТ Р 54194-2010 «Ресурсосбережение производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности»;
- 25.Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ №722н от 15.10.2015 г. «Об утверждении Правил по охране труда при производстве цемента»;
- 26.Постановление Правительства РФ № 390 от 25.04.2012 г. «Правила противопожарного режима в РФ»;

27. СанПиН «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
28. СанПиН 2.2.1./2.1.1.-2361-08 «Изменения № 1 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200-03 (Новая редакция);
29. СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест»;
30. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки»;
31. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»;
32. СП 2.1.7.1386-03 «Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления»;
33. ФЗ «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.2002 г.;
34. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» №96-ФЗ от 04.05.1999 г.;
35. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», № 89-ФЗ от 24.06.98 г.;
36. ФЗ «Об основах охраны труда в Российской Федерации» № 181 -ФЗ от 17 июля 1999 г.;
37. ФЗ-№426 «О специальной оценке условий труда»;
38. ФЗ-№68 от 21 декабря 1994 г. «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»;

Определения

Магнезиальное вяжущие – тонкомолотые порошки, состоящие в основном из окиси магнезия, получаемые умеренным обжигом пород, содержащих карбонат магнезия. Твердеют при затворении водными растворами солей магнезия.

Раствор бикарбоната магнезия – жидкость-затворитель, используется для магнезиальных цементов с целью получения водонерастворимого вяжущего.

Тампонажный цементный материал – это твердеющая композиция на основе вяжущего вещества, которая при затворении с жидкостью образует раствор, переходящий в камневидное состояние.

Гидратация – процесс связывания частиц растворимого в воде вещества с молекулами воды.

Содержание

Введение	17
1. Структура скважины и организация добычи углеводородного сырья	19
1.1. Основы проектирования и возведения	19
1.2. Крепление скважины	24
1.3. Материалы для крепления скважины	30
2. Тампонажные материалы	36
2.1. Тампонажные материалы на основе портландцемента	39
2.2. Магнезиальные тампонажные материалы	42
2.2.1. Технология магнезиального цемента	43
2.2.2. Получение водостойкого гидрокарбонатного магнезиального вяжущего	46
2.3. Коррозия тампонажного цементного камня: источники, причины, последствия, методы борьбы	48
2.4. Основные особенности качественного тампонажного материала	55
2.5. Предпосылки исследований	57
3. Методы исследования	59
3.1. Определение плотности цементного теста	59
3.2. Определение водотвердого отношения	59
3.3. Определение прочностных характеристик	60
3.4. Определение растекаемости	62
3.5. Определение структуры цементного камня	63
4. Водостойкий и коррозионностойкий магнезиальный тампонажный материал	66
4.1. Определение плотности магнезиального тампонажного материала	67
4.2. Определение растекаемости магнезиального тампонажного материала	67
4.3. Определение водоотделения магнезиального тампонажного	

материала	68
4.4 Определение прочности магниального тампонажного материала	68
4.5. Определения времени загустевания	70
4.6. Определение пластической прочности	70
Выводы по главе 4	72
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	74
5.1. Предпроектный анализ	75
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	75
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений	76
5.2. Инициация проекта	78
5.2.1. Цели и результат проекта	78
5.2.2. Ограничения и допущения проекта	79
5.3. Планирование управления научно-техническим проектом	79
5.3.1. Структура работ в рамках проекта	79
5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	80
5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования	81
5.4. Определение бюджета научно-технического исследования	82
5.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования	84
5.4.2. Расчет основной заработной платы исполнителей темы	85
5.4.3. Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы	86
5.4.4. Расчет накладных расходов	87
5.4.5. Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	87
5.5. Организационная структура проекта	88
5.6. Матрица ответственности	88
5.7. Реестр рисков проекта	89

5.8. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	90
6. Социальная ответственность	99
Заключение	115
Список используемой литературы	118
Приложение А	124

Введение

Добыча нефти и газа – одно из основных звеньев производственной цепочки ПАО «Газпром». Абсолютное большинство углеводородных ресурсов сконцентрировано в географически и климатически сложно доступных территориях Сибири и Дальнего востока. Например, магистральный газопровод в Китай “Сила Сибири” берет свое начало с Чаяндынского месторождений на севере Якутии.

Для таких мест характерны вечная мерзлота, скалистость, которые накладывают свой отпечаток на специфику обустройства скважин. Одной из проблем, с которой сталкиваются при проектировании и возведении скважин для добычи нефти и газа, является качественное их цементирование и укрепление, которые обеспечиваются за счет тампонажных материалов.

Тампонажный материал – это твердеющая композиция на основе вяжущего, которая при взаимодействии с жидкостью затвердения образует раствор, постепенно переходящий в камень. Именно тампонажный материал используют для закрепления оборудования в скважине, он заполняет пространство между породой и трубой. В силу особенностей применения тампонажный материал должен отвечать определенным требованиям, которые регламентируются ГОСТ 1581-96.

В настоящее время используются преимущественно тампонажные материалы на основе портландцемента с различными модифицирующими добавками: портландцемент, портландцемент с облегчающими добавками, пластифицированный портландцемент (ПАВ), портландцемент с полимерными добавками. Они соответствуют требованиям ГОСТа, но не отвечают эксплуатационным требованиям по адгезионным свойствам, коррозионностойкости и экологичности.

Решение этой проблемы позволит повысить эффективность нефте- и газодобычи за счет проектирования и возведения скважин. Поэтому идея создания качественных тампонажных материалов легла в основу научных изысканий ученых Национального исследовательского Томского

политехнического университета, был разработан состав гидравлического водостойкого магнезиального вяжущего с высокой коррозионной и водостойкостью, который может быть использован в качестве тампонажного материала.

Основу высокой водостойкости гидрокарбонатного магнезиального цемента составляет взаимодействие каустического магнезита с водным раствором бикарбоната магния с образованием водонерастворимых кристаллических фаз, позволяющих твердеть и набирать прочность композиции не только на воздухе, но и в воде и солевых растворах.

Исследование свойств и технологии получения магнезиальных тампонажных материалов, а также возможностей его использования для обустройства скважин стали целью данного проекта.

Объект исследования – магнезиальные тампонажные материалы с высокой водо- и коррозионной стойкостью для применения в условиях присутствия карбонатных и солевых пластовых растворов.

Цель исследования – исследование состава и основных свойств гидрокарбонатных магнезиальных вяжущих с целью применения в качестве тампонажных материалов для обустройства скважин.

1. Структура скважины и организация добычи углеводородного сырья.

1.1. Основы проектирования и возведения.

На данный момент времени нефтегазовый комплекс играет важную роль в экономике нашей страны. По этой причине актуально строительство нефтяных скважин, что позволяет увеличивать добычу нефти. Добыча нефти и газа осуществляется при использовании скважин, сооружение которых производится путем бурения и крепления.

До начала бурения проводится проектирование нефтяных и газовых скважин, которое состоит из нескольких этапов:

- подготовка документов, содержащих технико-экономические показатели формирования проемов, описание территории, геологические изыскания и т.д.;
- организации строительных работ;
- разработка и проведение мероприятий по предотвращению отрицательного влияния бурильных работ на окружающую природу;
- перечень всех правил и мер безопасного ведения работ.

При грамотно разработанном проекте строительства создается обстановка, позволяющая избежать различные проблемы, связанные с дополнительными расходами, затягиванием сроков возведения скважины, низким объемом добычи, перебоями в подаче электроэнергии и т.д.

Проектирование нефтяных и газовых скважин имеет ряд особенностей в отличие от других проектных работ. Так, например, проект на бурение скважин разрабатывается не в том месте, где это выгоднее с экономической точки зрения, а в местах, где находятся открытые месторождения. Это могут быть шельфовые месторождения, себестоимость которых гораздо выше, чем расположенных на суше. Также это объясняет географическую удаленность объектов добычи нефти и газа, что ведет к резкому росту транспортной составляющей себестоимости добываемого продукта.

Другая особенность заключается в сложности определения на стадии проектирования мощности предприятия, так как в этом период сложно дать точный расчет запасов. Продукция, которую будут добывать, залегает на глубине нескольких километров и во время проектирования ее нельзя увидеть, приходится исходить из имеющихся косвенных данных, что не позволяет дать точное подтверждение запасов.

Для строительства таких объектов используются трубопроводы, нефтеперерабатывающие заводы, бурятся скважины, все это производится с использованием типовых проектов. Месторождения по типовым проектам не разрабатывают, так как каждое месторождение по-своему уникально, возможно лишь использование типовых методов разработки. Уникальность месторождений состоит в глубине залегания и качестве нефти, различии природно-климатических условий и др.

Разрабатывая проект, требуется строгое соблюдение закона о недрах, так как любое нарушение может привести к нанесению непоправимого вреда им. В сильной зависимости от недр находятся технико-экономические показатели и, как правило, во время реализации проекта они постоянно меняются.

Во время проектирования проектировщики должны учитывать, что все газовые и нефтяные месторождения проходят три стадии развития. Эта особенность должна быть обязательно отражена в проекте и проектировщиками должен быть определен ориентировочный срок каждой стадии у каждого месторождения.

Разработка месторождений представляет длительный процесс, проекты в данной области разрабатываются на продолжительные периоды, в таких случаях допускаются неточности проектных показателей на длительный период. По этой причине предусматривается составление дополнительных, уточненных и откорректированных проектов в ходе разработки месторождения.

Разработка проектов крупных месторождений должны проводится с учетом национальных интересов, так как нефть и газ представляют стратегические ресурсы страны.

Строительство нефтяных и газовых скважин состоит из нескольких этапов [40]:

- подготовительные работы;
- устройство вышки и остального оборудования;
- организация процесса бурения;
- процесс бурения;
- оснащение скважины трубами и укрепление скважины;
- вскрытие пласта и его проверка на поток нефти или газа.

Этап подготовительных работ состоит в выборе территории, прокладке дороги и подведении электричества, организации связи и водоснабжения. После завершения подготовительных работ проводится монтаж специального оборудования, во время которого необходимо соблюдать безопасность процесса, удобство, компактность и низкую себестоимость. Проведение пробного пуска установки и определение направления входит в этап организации бурения. В это время проводится проверка работоспособности всех элементов бурового механизма. Когда зафиксирована исправная работа установки, приступают к процессу бурения, это самая длительная и трудоемкая операция строительства скважин. Проведение работ по оборудованию проема трубами и укрепление ведется по определенной схеме. По завершению всех работ начинают освоение скважины, вызывают приток нефти или газа. С этой целью понижают давление буровой жидкости на забой.

Таким образом, строительство производств, занимающихся добычей нефти и газа занимает от двух дней до нескольких месяцев. Самым распространенным является строительство нефтяных и газовых скважин на суше, но в настоящее время около 30% нефти и еще большее количество газа добывается на морских шельфах. Эти производства применяют

самоподъемные, полупогружные платформы и платформы гравитационного типа. Платформы гравитационного типа наиболее прочные и устойчивые для работы в таких условиях.

Скважины по своему назначению делятся на несколько видов:

- структурно – поисковые, которые используются при изучении тектоники, литологии, изучении продуктивности горизонта и т.д.;
- эксплуатационная или добывающая скважина предназначена для добычи нефти и газа;
- разведочная скважина применяется при определении продуктивных районов, обозначения границ залегания нефтяных и газовых пластов, которые находятся в работе;
- нагнетательная скважина применяется для закачки воды в пласты, подачи пара или газа для поддержания давления в них;
- опережающая добывающая предназначена для добычи нефти и газа проводимой одновременно с уточнением строения продуктивного пласта;
- оценочная скважина оборудуется для различных исследований;
- скважина наблюдательная и контрольная предназначается для наблюдения за объектом разработки и фиксированием изменений в работе;
- опорная скважина используется при изучении геологического строения больших территорий, фиксирования общих тенденций движения флюидов пласта и изменений в нем.

Перед началом разработки и строительства проемов проводятся поисково-разведочные работы. Строительство, также как и ремонт, нефтяных и газовых скважин осуществляют специальные организации, которые владеют всем набором необходимых материалов и техники, транспортом и оборудованием, штат этих организаций укомплектован квалифицированным персоналом. При необходимости проведения капитального ремонта скважины первоначально проводится исследование неисправности специальной рабочей бригадой, которая выезжает на место. Устранение неисправностей может быть только после тщательного анализа и выявления

причин. Заключение о правильно выполненных работах можно сделать только после сопоставления результатов работы скважины до и после капитального ремонта.

Чем дольше работает предприятие и чем больше объем добытого продукта, тем чаще требуется проведение модернизации. В настоящее время ведется работа над разработкой новых технологий, которые позволят упростить ремонт нефтяных и газовых скважин. Над этим работают буровые организации. Техничко-экономические показатели состоят в разработке всех составляющих технологического процесса строительства скважин, подборе типов бурильных установок, выборе оптимального режима их работы, расчете производственных мощностей при бурении и определении потребностей расходных материалов.

Особенностями проектирования является:

- постоянный учет влияния, которое оказывают недра;
- изменения технологии вызывает изменения в процессе проектирования скважин и ведет к принятию новых решений, а, следовательно, имеющийся проект требует корректировки;
- комплексное решение всех вопросов, учитывая факторы, которые влияют не только на строительство скважин, но и на проект разведки и обустройства месторождений.

Процесс проектирования скважин достаточно сложный и в ходе работы возникают определенные проблемы, наиболее распространенные следующие:

- постоянное увеличение глубины бурения поисково-разведочных скважин и эксплуатационных;
- увеличений объемов бурения наклонных скважин;
- интенсивное внедрение в настоящее время скважин с горизонтальным окончанием ствола;
- освоение мало - и совсем неизученных горно-геологических территорий со сложным вскрытием пластов, содержащих сероводород и

углекислую среду при бурении пластов, имеющих аномальное давление, освоение северных районов с многолетними мерзлыми породами;

- отставание в развитии техники и методов бурения от новых условий разработки.

Недоработки, допущенные на стадии проектирования, связанные с несоблюдением требований, предъявляемых к основным стадиям строительства скважин, могут привести к негативным последствиям.

При проведении подготовительных работ к бурению возможно загрязнение окружающего мира и как следствие штрафы. Во время проводки ствола скважины может быть нарушена сетка разбуривания месторождения и будет нарушено внедрение проекта. Может произойти увеличение длины ствола скважины и это вызовет увеличение материальных затрат и времени строительства. Если данная скважина была горизонтальной, то может произойти непопадание в эффективную нефтенасыщенную часть ствола коллектора. Возможны трудности во время выполнения спускоподъемных работ, ухудшится качество цементирования, возрастает вероятность аварийных ситуаций из-за износа труб и т.д. При проведении работ по креплению скважин могут возникнуть заколонные перетоки, уменьшится возможность применения геофизических методов исследования и методов по увеличению нефтеотдачи. При вскрытии продуктивного слоя во время освоения скважин может быть снижена потенциальная добыча нефти, увеличится радиус ухудшения проницаемости пласта и т.д.

Все перечисленные недостатки вызывают удорожание себестоимости добываемого продукта.

1.2. Крепление скважины

По мере углубления ствола скважины проводятся работы по его креплению. Под термином крепление скважины понимаются работы, связанные со спуском обсадной колонны и ее цементированию. Обсадная колонна, которую спустили в ствол, является составным элементом конструкции скважины. В понятие конструкция скважины входит ствол и все

его техническое оснащение, необходимое для оформления скважины как горнотехнического сооружения среди горных пород. Конструкция скважины имеет следующие характеристики:

- глубина скважины;
- диаметр ствола скважины, который определяется по диаметру породоразрушающего инструмента, например, долота, бурильной головки, используемого при бурении каждого интервала и уточняемого по замерам профилометрии и кавернометрии;
- число обсадочных колонн, которые опущены в скважину, протяженность, номинальный диаметр обсадочных колонн и интервалы на которых проведено цементирование.

Разработка и уточнение конструкции скважины проводится на основании конкретных геологических условий бурения в районе, где ведутся работы. Она должна полностью соответствовать требованиям поставленной задачи, достижению проектной глубины и проведению запланированных исследований и работ в скважине. Конструкцию скважины определяют степень проработки геологического разреза, выбор способа бурения, назначение скважины, способ вскрытия продуктивного горизонта и другие факторы. Во время проектирования конструкции следует обязательно учитывать требования охраны недр и окружающей среды.

К определяющим факторам относятся допустимая протяженность интервалов, которые допускают бурение без крепления и конечный диаметр ствола или диаметр, рекомендованный у последней колонны. Скважину крепят с разными целями:

- стенки скважины закрепляют в промежутках неустойчивых пород;
- для изоляции зон катастрофического поглощения промывочной жидкости и участков возможного перетока пластовой жидкости по стволу;
- деления участков, на которых геологические условия требуют использования промывочной жидкости с разной плотностью;

- деление продуктивных горизонтов и их изолирование от водоносных пластов;
- создание в скважине надежного канала для подъема нефти или газа, подачи закачиваемой в пласт жидкости;
- образование крепкого основания для размещения устьевого оборудования.

В глубоких скважинах практикуется опускать несколько обсадных колонн отличающихся по назначению и глубине спуска рис.1:

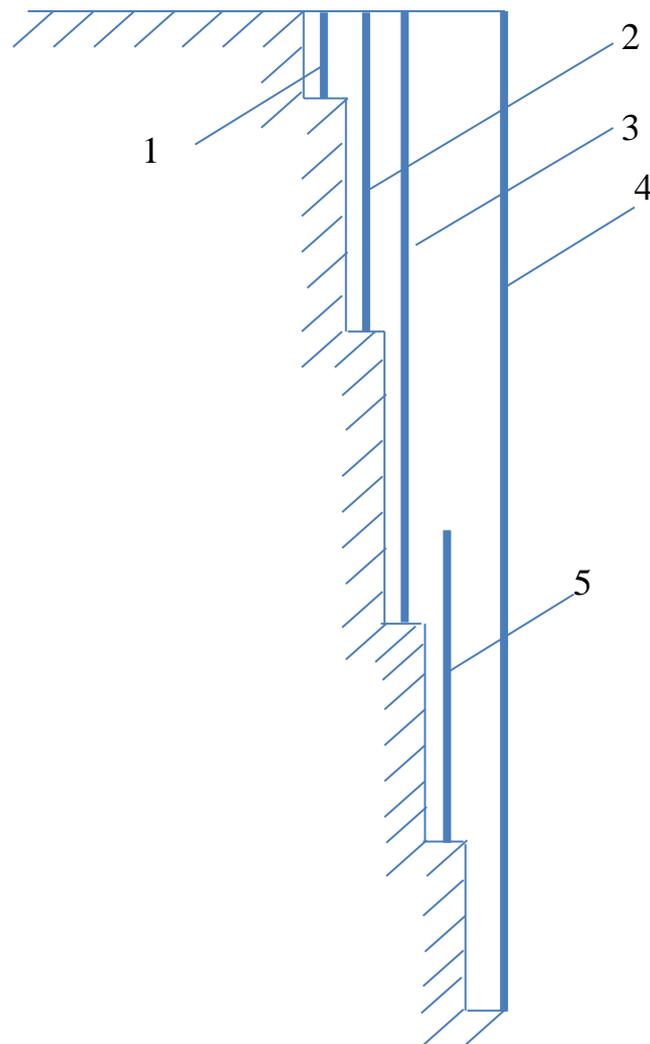


Рис. 1 Разрез скважины

На рисунке 1 схематично показаны основные составляющие скважины как технологического объекта:

1 – направление. Она служит для укрепления устья скважины, через нее отводится выходящий из скважины в циркуляционную систему буровой раствор, глубина ее спуска от 3 до 10м;

2 – кондуктор. Эта колонна служит для закрепления стенок скважины в промежутках, которые представлены разрушенными и выветренными породами, а также она предохраняет водоносные горизонты, являющиеся источниками водоснабжения от загрязнения. Ее размеры могут достигать нескольких сот метров;

3 – промежуточная колонна. Эта конструкция изолирует интервалы неустойчивых пород и зон поглощения промывочной жидкости. Глубина ее спуска зависит от местоположения осложненных интервалов;

4 – эксплуатационная колонна. Эта колонна образует надежный канал в скважине для подачи вверх пластовых флюидов и для закачки агентов в пласт. Глубина спуска этой колонны зависит от положения продуктивного объекта. В промежутке продуктивного пласта эту колонну перфорируют или делают оснащение ее фильтром;

5 – потайная колонна. Колонна перекрывает некоторый интервал в стволе скважины, ее верхний конец располагается внутри располагающейся выше обсадной колонны. В случае отсутствия связи с предыдущей колонной ее называют «летучкой».

Обсадная колонна после спуска цементируется в стволе скважины по всей длине, возможно цементирование в отдельных интервалах, которые начинаются от нижнего конца колонны. При необходимости обсадная колонна может быть не зацементирована в отдельных интервалах, расположенных в области продуктивного пласта. В некоторых случаях, когда существует опасность сильного износа при бурении нижерасположенного участка, промежуточную колонну делают съемной или проворачиваемой. В таком случае ее не цементируют.

Бурение скважин находящихся в акватории морей проводят с опорных или плавучих средств от поверхности воды в направлении донного устья

скважины и устанавливают подвесную водоизолирующую колонну, предназначенную для подъема промывочной жидкости к поверхности и выполнения роли направляющей для бурильной колонны при спуске в скважину. Конструкция скважины на схеме проектно-технической документации представляется в соответствии с определенным порядком отраженном на рис. 2.

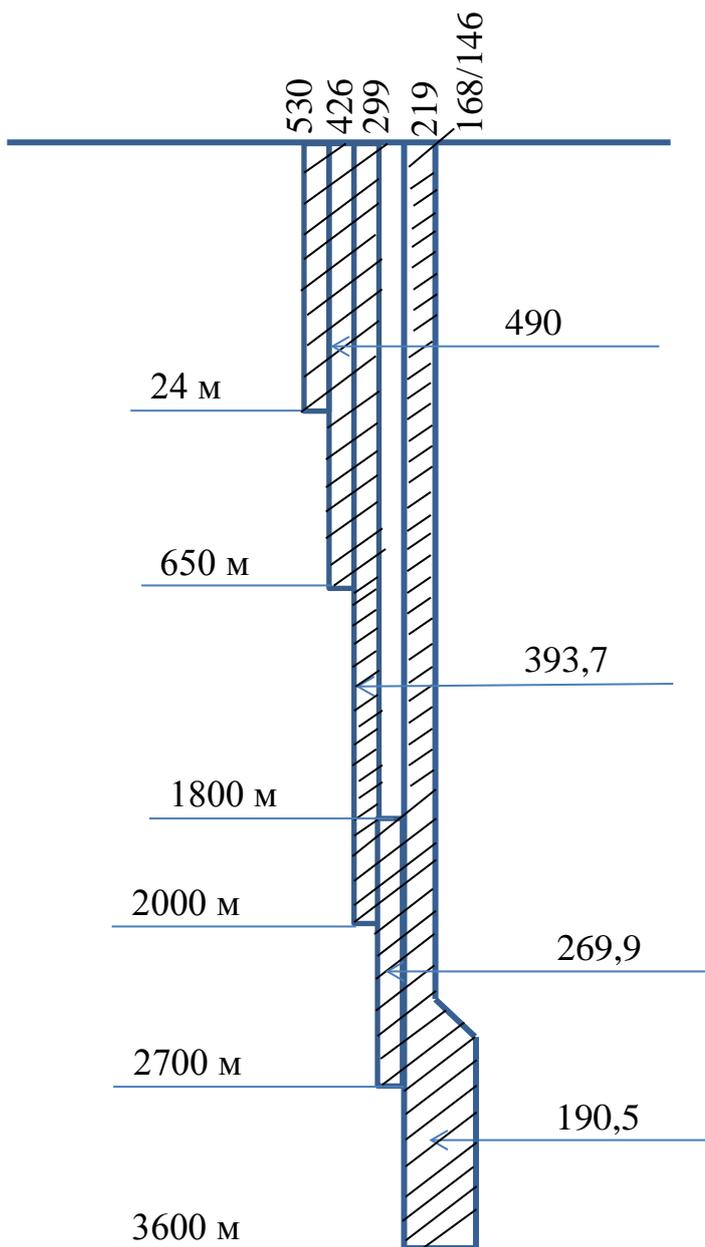


Рис. 2 Конструкция скважины

Обсадные колонны предназначены для исключения обвалов стенок скважины в неустойчивых породах, для перекрытия напорных и

поглощающих горизонтов, для циркуляции промывочной жидкости и других целей.

Крепление скважин необходимо из-за:

- слабой устойчивости проходимых пород, которые могут привести к обвалу стенок скважины;
- опасности выпадения кусков породы из стен скважины в местах прохождения зон тектонических нарушений;
- отделения горизонтов друг от друга.

Временное крепление скважин проводят глинистым раствором во время бурения, постоянное крепление осуществляется с помощью обсадных колонн. При проведении колонкового бурения стенки скважин крепятся обсадными колоннами в следующем порядке [40]. Перед тем как приступить к креплению скважину тщательно промывают, производят замер глубины, проводят проверку резьбы и кривизны обсадных колонн. Кривизну проверяют путем пропускания колонкового набора через каждую трубу. К нижнему концу первого звена, состоящего из двух труб, привинчивают башмак, а к верхнему – пробку – вертлюг. Вертлюг подхватывает подъемный крюк и лебедкой поднимается собранное звено труб над скважиной и начинается процесс опускания его до того момента, когда верхний конец звена не дойдет до трубодержателя, который установлен на устье скважины. Затем трубу зажимают в трубодержателе, вертлюг снимают и его навинчивают на следующее звено обсадных колонн. Длину каждого спущенного звена регистрируют в буровом журнале. Обсадные колонны одновременно выполняют роль направляющей трубы.

При необходимости изолирования затрубного пространства обсадной колонны проводят тампонирующее глиной башмака колонны. Подача глины осуществляется с помощью колонкового набора, который у переходника оснащен деревянным поршнем. При заполнении колонковой трубы глиной навинчивают коронку, заполненную глиной, затем колонковую трубу погружают в забой и подают с помощью насоса жидкость, которая под

давлением струи вытесняет глину из трубы. Обсадные колонны вынимают из скважины при завершении бурения. Окончив бурение скважин, производят ликвидационный тампонаж, который с момента выполняется для исключения циркуляции подземной воды по стволу скважины после подъема из нее обсадных колонн. Ликвидационное тампонирующее очень важно для охраны недр, его проводят в соответствии с разработанными и прошедшими утверждение инструкциями и правилами. Ликвидационное тампонирующее проводят глинистыми растворами, глиной или цементом в зависимости от условий. Ликвидацию неглубоких скважин, которые не вскрыли водоносные горизонты, проводят путем заливки густого глинистого раствора подаваемого геологических и гидрогеологических в скважину через колонковый набор. Цемент применяют для ликвидационного тампонирующего скважин, в случае расположения водоносных горизонтов в кровле или в грунте, где залегают полезные ископаемые, возможно в случае, когда скважина пересекает напорные воды с самоизливом.

При бурении скважины с использованием глинистого раствора сначала проводят промывку ее водой для разглинизации. По бурильным трубам насосом нагнетается цементный раствор, которые при заполнении скважины вынимают из забоя. Если проводится цементация скважины, которая встретилась с напорной водой, с нее сначала подают утяжеленный глинистый раствор для заглушки фонтанирования и после этого продолжают цементирование скважины. Ликвидированную скважину отмечают, с этой целью на ее устье закрепляют репер-отрезок обсадной трубы закрытый цементной пробкой, на нем проставляют номер скважины, глубину, дату окончания бурения и название организации.

1.3. Материалы для крепления скважины.

Опираясь на опыт массовых бурильных работ, было установлено, что самым эффективным материалом при создании искусственной крепи глубоких скважин являются растворы минеральных вяжущих веществ. Магнезиальные вяжущие вещества представляют собой тонкодисперсные

порошки моно- и полиминерального состава, затворяя их водой или растворами солей, образуются коагуляционные и кристаллические структуры, имеющие определенную прочность и долговечность.

Все вяжущие вещества образуют структуру, в зависимости от этого они делятся на три группы:

1. Гидравлические вяжущие вещества, к ним относятся вещества, которые твердеют и продолжительное время сохраняют прочность и на воздухе, и в воде. Гидравлические свойства этих веществ объясняются присутствием в их составе алюминатов, силикатов и ферритов кальция. Они находятся в зависимости от гидравлического модуля и температуры обжига сырья:

$$m = \frac{\%CaO}{\%(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \quad (1)$$

$m > 9$ для воздушной извести,

$m = 1,7 - 9$ для гидравлической извести,

$m = 1,1 - 1,7$ - для романцеента,

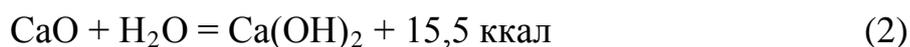
$m = 1,9 - 2,4$ - для портландцеента.

Эти вяжущие могут быть использованы и в сухих, и во влажных условиях. Свойства этих веществ позволяет применять их в штукатурных и кладочных растворах при выполнении наружных работ, изготовлении фундаментов, приготовлении бетона и железобетона и других изделий.

Портландцеент является основным представителем гидравлических вяжущих веществ. Это тонкий порошок серого цвета, имеющий зеленоватый оттенок. Его получают путем обжига при температуре $1450^{\circ}C$ смеси 75% известняка и 25% глины. Получение портландцеента с необходимыми свойствами возможно при дозировании содержания основных оксидов в следующих пределах: CaO - 60-67%, $8SiO_2$ -12-24%, Al_2O_3 -4-7% и Fe_2O_3 - 2-6%. Отрицательно влияют на качество получаемого изделия такие примеси как MgO и SO_3 , их содержание ограничивается предельным количеством 5 и 3,5%. При увеличении содержания этих компонентов возможно

неравномерное изменение объема в период затвердевания и возрастание сульфатной коррозии.

2. Воздушновяжущие вещества – вещества, которые твердеют и долгое время сохраняют прочностные качества только на воздухе. К этой группе вяжущих относятся: воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие. Воздушная известь получается путем обжига при 1000 – 1200⁰С кальциево-карбонатных пород (мел, известняк) с содержанием глинистых примесей не более 8%. Воздушная известь выпускается в виде кусков белого или серого цвета, ее называют комовой, при ее измельчении получают молотую известь. Порошкообразная известь может превращаться из воздушной извести путем гашения. Процесс гашения извести представляет собой бурную реакцию, в результате которой выделяется тепло и образуется гидроксид кальция. Ее можно выразить следующим уравнением:



Для получения тонкого порошка берется вода в количестве 40 – 70% от веса извести, в результате получается гидратная известь. Воздушная и гидратная известь бывает двух сортов: I и II, которые различаются между собой содержанием активных оксидов Ca и Mg, а также непогасившихся зерен. В воздушной извести должно содержаться оксидов для I сорта не менее 70%, а II сорт – 52 %. Гидратная известь соответственно содержит 55% и 40%. Известь нашла применение при приготовлении растворов для штукатурки и кладки, она применяется в производстве силикатного кирпича и смешанных цементов.

Вяжущие вещества на основе гипса получают путем обжига природного двухводного гипсового камня ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Среди гипсовых вяжущих веществ основное применение нашли строительный, формовочный и ангидритовый цемент. Строительный гипс или как его называли ранее алебастр, получается при обжиге при 120 – 170⁰С. В процессе обжига происходит гидратация и двухводный гипсовый камень отдает часть воды и переходит в полуводное состояние



Строительный гипс это быстротвердеющее вяжущее, схватывание начинается на 4-6 минуте, и окончание наступает через 30 минут. Его производят трех сортов: I, II и III. Сорта различаются по тонкости помола I сорт - не более 15 %, II сорт — 20 % и III сорт — 30%. Кроме этого, они имеют различный предел прочности при сжатии 5,5МПа, 4,5Мпа и 3,5 Мпа соответственно. Областью их применения являются работы по оштукатуриванию помещений, изготовление сухой гипсовой штукатурки и перегородочных плит.

Более прочным и тонкого помола по сравнению со строительным гипсом является формовочный гипс. Этот материал имеет время схватывания не менее 30мин. Его применяют при изготовлении скульптур и выполнении лепных работ, готовят формы в керамической промышленности.

Ангидритовый цемент получают обжигом двухводного гипсового камня при температурном режиме 600 – 700⁰С с последующим помолом, на этой стадии добавляют известь, шлак и другие активизаторы твердения. В зависимости от предела прочности на сжатие существует четыре марки: 5, 10, 15, 20. Ангидритовый цемент нашел применение при кладке кирпича и штукатурке внутренних стен, а также при изготовлении художественных изделий. Основным недостатком гипсовых вяжущих материалов является низкая водостойкость, они могут быть применены только в помещениях с влажностью не выше 60 – 70%. По этой причине созданы гипсовые вяжущие, например полимергипс и гипсоцементно-пуццолановые вяжущие. Полимергипс получается путем смешивания строительного гипса и фенольнофурфурольной смолы (17 – 20%). Такой синтез позволил повысить прочность на сжатие до 30Мпа, увеличилась водостойкость. Полимергипс применяют в производстве облицовочных плиток, при проведении отделочных работ в помещениях, где повышенная влажность воздуха.

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие А.В. Волженский предложил получать используя полуводный гипс (40 – 60%), портландцемент (20 – 25%)

и трепел (10 – 25%). Полученный материал имеет прочность на сжатие 10 – 11 МПа и коэффициент водостойкости 0,7 – 0,8. Его применяют при кладке, штукатурке помещений с повышенной влажностью воздуха.

Еще одним представителем воздушновяжущих веществ являются магнезиальные вяжущие [57]. Эти вещества получают, как и большинство остальных путем обжига, которому подвергают магнезит ($MgCO_3$) или доломит ($CaCO_3MgCO_3$). Процесс обжига проводится при температуре 800 – 850⁰С. При обжиге получают каустический магнезит или каустический доломит. Эти вещества хорошо сцепляются с древесными, асбестовыми и другими волокнами, их применяют в производстве теплоизоляционных материалов (фибролит) и при устройстве теплых полов (ксилолит). Затворение магнезиальных вяжущих проводят растворами солей хлористого и сернокислого магния. Затверждение этих материалов начинается не ранее 20 мин и не позднее 6ч. Эти вещества обладают высоким пределом прочности на сжатие 40 – 60 МПа. Существенный недостаток магнезиальных вяжущих заключается в малой влагостойкости, это ограничивает область их применения, только сухие помещения. Учитывая это, актуальна разработка водостойких композиционных магнезиальных вяжущих материалов с использованием местных техногенных и природных силикатов магния. Управляя процессами гидратации и оксохлоридообразованием, формируются водостойкие кристаллизационные структуры твердения в системе $MgO-MgCl_2-MgSiO_3$ и это позволяет получить композиционные магнезиальные вяжущие материалы с повышенной водостойкостью, одновременно повышается прочность и другие характеристики.

На практике применение при бурении нашли магнезиальные вяжущие вещества и гипсовые;

3. Вещества гидротермального твердения – это такие вяжущие вещества, которые образуют искусственный камень при высокой температуре и давлении (в гидротермальных условиях). Примером таких веществ являются;

нефелиновый цемент, известково-золяные, известково-кремнеземистые, известково-шлаковые вяжущие и т.д.

2. Тампонажные материалы.

Тампонажный материал представляет собой твердеющую композицию, в основе которой вяжущее вступающее во взаимодействие с жидкостью при затворении с образованием раствора, постепенно превращающегося в камень. Этот материал применяют при закреплении оборудования в скважине, им заполняют пространство между породой и обсадной трубой. Тампонажный материал применяется в специфических условиях и должен строго соответствовать требованиям ГОСТ. К числу свойств, регламентируемых стандартом, относятся водостойкость, прочность, безусадочность, коррозионностойкость, хорошая адгезия, низкая водоотдача.

К тампонажным материалам относят вяжущие с добавленными к ним добавками для корректировки технологических свойств [49]. Тампонажный материал при смешивании с жидкостью затворения образует тампонажный раствор. Тампонажные растворы могут менять состав в зависимости от отношения количества воды затворения к массе тампонажного материала. Это соотношение называют водотвердым отношением.

С целью регулирования технологических и изоляционных свойств образующегося в заколонном пространстве камня в тампонажный материал вводят добавки.

На современном этапе широко применяются в качестве тампонажных материалов составы на основе портландцемента с различными добавками. Они соответствуют требованиям нормативных документов, но не соответствуют требованиям эксплуатации по адгезионным свойствам, коррозионностойкости и экологичности.

Особенностью магнезиальных вяжущих веществ является сочетание высоких вяжущих свойств и совместимость практически со всеми заполнителями, включая органического природного и искусственного происхождения.

Уникальность магнезиальных вяжущих веществ заключается в следующих особенностях:

- высокая скорость затвердения;
- образование прочного и надежного материала;
- высокая степень сцепления с органическими и неорганическими заполнителями;

- высокая стойкость к растрескиванию;
- огнеупорность;
- бактерицидность;
- низкая теплопроводность;
- низкий уровень влагостойкости.

К недостаткам магнезиальных вяжущих относятся:

- высокий уровень коррозионной активности;
- агрессивность к арматуре из стали;
- высокая стоимость.

На основе магнезиального вяжущего вещества образуется цементный камень, представляющий собой твердый раствор сложного состава солей. Камнеподобные материалы, которые носят название магнолит изготавливают с использованием магнезиальных вяжущих, задавая необходимые свойства. В зависимости от примененного наполнителя магнолит может обладать определенными свойствами:

- механическая прочность при сжатии соответствует этому показателю самых высокопрочных бетонов. Изделия из этого материала не требуют применения армирующих материалов. Изгиб на прочность выше в 3 – 5 раз, чем у бетонов. Короткий срок достижения этих показателей. Обладая одинаковой плотностью, данный материал является самым прочным в ряду теплоизоляционных строительных материалов на основе минеральных вяжущих;

- атмосферостойкость не уступает многим традиционным строительным материалам;

- абсолютная маслостойкость и солейстойкость – масла, нефтепродукты, морская вода при попадании на магнолит только повышает его прочность;

- декоративность. Магнолит за счет совместимости с различными пигментами позволяет имитировать многие природные материалы, обладает отличной полируемостью, в тонком слое это прозрачное вяжущее;

- пожаробезопасность. Конструкции из магнолита выдерживают пожары 5-й категории, при этом не происходит деструкция материала, отсутствует выделение канцерогенных веществ;

- бактерицидность, биоцидность и фунгицидность не дают возможности к развитию грибков и других микроорганизмов, насекомые и грызуны также отсутствуют из-за горько-соленого вкуса бишофита;

- низкая электропроводность и диэлектрическая проницаемость, постоянная и независимая от влажности окружающей среды. Магнолит является незаменимым материалом для производства конструкций защиты от электромагнитного излучения. Такие поверхности не электризуются, отсутствует опасность образования искр;

- напольное покрытие, выполненное из магнезиальных вяжущих беспыльны, у них отсутствует усадка, их можно выполнять единым покрытием без нарезки деформационных швов. Такие полы прочные и долговечные, у них низкая истираемость, они выдерживают ударные нагрузки. Полы выполненные на основе магнезиальных вяжущих имеют высокую адгезию ко всем органическим и минеральным заполнителям в вяжущем, имеют хорошее сцепление к бетонному, кирпичному и деревянному основанию.

Кроме всех перечисленных свойств магнолит обладает консервирующими свойствами, которые позволяют использовать в производстве строительных материалов токсичные заполнители, в дальнейшем изделия дают фон, соответствующий санитарным нормам. Цементный камень из магнезиального вяжущего является отличной

биологической защитой от радиационного излучения, так как в своем составе содержит значительное количество химически связанной воды [57]. Изделия на основе этого материала биологически инертны, а значит, не наносят вреда экологии.

В нашей стране содержится больше половины мировых запасов магнезиального сырья, в последнее время к нему проявляется повышенный интерес, а значит, возможны блестящие перспективы его использования.

Многие препятствия по массовому использованию магнолита уже преодолены, проведены работы по добыче магнезиального сырья в Восточной Сибири и на Урале, скважинным методом добывается бишофит. Это экологически чистый минерал, имеющий формулу $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, он представляет продукт кристаллизации солей замкнутых водных бассейнов. Первым его обнаружил Густав Бишоф, поэтому минерал получил такое название. В России созданы опытно-промышленные обжиговые установки кипящего слоя, которые позволяют получать недорогое вяжущее из доломита. Широкое применение магнезиального вяжущего в строительной отрасли замедляется в связи с рядом проблем, которые необходимо решать на федеральном уровне. В первую очередь отсутствуют государственные стандарты и строительные нормы, связанные с применением магнезиальных вяжущих веществ, а также не организована добыча магнезиального сырья и его переработка в промышленных масштабах.

2.1. Тампонажные материалы на основе портландцемента

Одно из гидравлических вяжущих веществ – портландцемент, который получают из портландцементного клинкера путем тонкого измельчения и добавления гипса или другой специальной добавки. Клинкер обжигают до спекания тонкодисперсной однородной смеси, в которую входит известняк, кремнезем и глина. Гипс добавляют для регламентирования скорости схватывания и других свойств. Смешивая цемент с водой, в первую очередь происходит твердение за счет вступления в реакцию алюминатов и алюмоферритов кальция в силу их более высокой скорости растворения, чем

алиты к белитам. В ходе реакции раствор становится пересыщенным относительно конечного продукта и на поверхности зерен клинкера также как и в растворе идет образование иглообразных кристаллов гидроалюминатов и гидроферритов кальция с различным составом. Состав образующихся кристаллов можно отразить в общем виде следующими формулами $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ и $x\text{CaO} \cdot y\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Коэффициенты x , y , m могут иметь различные значения в зависимости от термодинамических условий реакции гидратации.

В течение 3 – 6 часов система накапливает достаточно большое количество кристаллогидратов и происходит образование так называемых «стесненных» условий, которые приводят к образованию коагуляционной структуры, переходящую по мере накопления гидроалюминатов в кристаллизационную. Спустя 6 – 10 часов объем заполняют скелеты иглообразных кристаллов, представляющих собой продукты гидратации алюминатных составных частей клинкера. Такую структуру называют алюминатной. Цементный раствор, который был на начальной стадии пластичной массой, постепенно теряет подвижность и становится прочным. Наряду с алюминатами кальция образуются, но в значительно меньшем количестве продукты гидратации силикатных клинкерных минералов алита и белита, так называемые гидросиликаты кальция. Они представляют собой мелкие кристаллы в виде тонкопористого ворса это силикатная структура. Ее влияние на прочность твердеющего цементного камня возрастает со временем и собственно она выполняет роль носителя прочности цементного камня и примерно через сутки преобладает над алюминатной, а по истечению месяца в цементном камне присутствует практически только силикатная структура. На этом процесс гидратации не заканчивается и может длиться годами за счет оставшегося клинкерного фонда цемента.

ГОСТ допускает введение в портландцемент во время помола до 15% активных минеральных добавок, название цемента не меняется. Свойства портландцемента в первую очередь определяются качеством клинкера. В

соответствии с ГОСТ 25597-83 «Цементы тампонажные. Классификация» тампонажные цементы по компонентному составу делятся на группы:

- портландцементы – не имеют добавок, кроме гипса;
- портландцементы, содержащие минеральные добавки в количестве не более 20 %;
- портландцементы, содержащие специальные добавки в количестве 20-80 %;
- цементы на основе глиноземистого клинкера;
- бесклинкерные цементы на основе известково-кремнеземистых вяжущих, доменных шлаков и других отходов металлургической промышленности;
- цементы на основе гипса;
- полимерные композиции, состоящие из нескольких вяжущих веществ.

Основные марки тампонажных портландцементов ПЦТ-Д20-50 и ПЦТ-Д20-100, они не значительно отличаются по свойствам и составу между собой. При выборе того или иного цемента не всегда достаточно показателей, указанных в ГОСТ 1581-85. Требуется более подробная информация о свойствах и составе, необходима информация по минералогическому составу клинкера, который использует завод-изготовитель, тонкость помола. Так, например, для скважин имеющих низкую температуру и при ведении работ в холодное время года наиболее подходящим является цемент ПЦТ-ДО, который содержит относительно большое количество трехкальциевого алюмината. Применение этой марки объясняется, тем, что на начальной стадии гидратации у таких цементов выделяется большое количество тепла, а это значит, что меньше вероятность замерзания раствора при контакте со стенкой скважины, имеющей отрицательную температуру, и быстрее идет схватывание. Этот цемент также более восприимчив к действию ускорителей схватывания. Скорость гидратации и схватывания, тепловыделение возрастают при более тонком помоле. С целью понижения температуры замерзания цементного раствора при затворении в воду

добавляют неорганические соли, которые одновременно ускоряют схватывание. К числу таких солей относятся сульфаты, нитраты, карбонаты и нитриты. Они взаимодействуют с алюминатами кальция, который содержится в цементе, и образуют полезные комплексные соли, при этом происходит выделение большого количества тепла.

Тампонажные портландцементы ПЦТ-ДО и ПЦТ-Д20 проявляют термостойкость при температурах ниже 60°C , при более высоких температурах начинаются деструктивные процессы, которые ведут к снижению прочности и повышению проницаемости цементного камня. Главная роль в этих процессах состоит в разложении комплексных солей, при дальнейшем повышении температуры происходит перекристаллизация гидросиликатов кальция. При температурах до 100°C эти процессы развиваются не настолько сильно, чтобы отказываться от применения тампонажных портландцементов, но при выборе материала этот факт следует учитывать. При температурах выше 100°C необходимо применять специальные термостойкие цементы марки ПЦТ-ДО-150. При температурах ниже 100°C деструктивные процессы можно уменьшить, повышая содержание в цементе силикатов кальция и уменьшая содержание алюминатов и алюмоферритов кальция, уменьшая содержание гипса, применяя цемент грубого помола, уменьшая водосодержание раствора, уменьшая содержание трехкальциевого силиката за счет двухкальциевого. Все перечисленные мероприятия облегчают регулирование скорости схватывания с помощью замедлителей.

2.2. Магнезиальные тампонажные материалы.

Магнезиальные вяжущие вещества отличаются тем, что в них сочетаются высокие вяжущие свойства с совместимостью со всеми заполнителями, в том числе органического искусственного и природного происхождения.

Магнезиальные вяжущие вещества обладают следующими уникальными особенностями:

- высокая скорость затвердения;
- образование прочного и надежного материала;
- высокая степень сцепления с органическими и неорганическими наполнителями;

- высокая стойкость к растрескиванию;
- огнеупорность;
- бактерицидность;
- низкая теплопроводность;
- низкий уровень влагостойкости.

К недостаткам магниевых вяжущих относятся:

- высокий уровень коррозионной активности;
- агрессивность к арматуре из стали;
- высокая стоимость.

Наша страна обладает большей частью мировых запасов этих материалов, в последнее время к нему проявляется повышенный интерес, а значит, возможны блестящие перспективы его использования. Однако в настоящее время нет нормативной документации по использованию применением магниевых вяжущих веществ. Также необходимо организовать процесс добычи магниевых сырьев и его переработку на базе имеющихся производств.

2.2.1. Технология магниевых цемента

Технология получения магниевых цемента состоит из следующих операций:

- перемешивание каустического магнезита вместе с доменным шлаком и ферромарганцевой пылью по получения однородной смеси;

- одновременно с первой операцией проводится приготовление раствора «бишофита» растворением соли в воде для получения раствора плотностью 1,3 г/см³;

- соединение сухой смеси с приготовленным раствором хлорида магния.

Приготовленная таким образом смесь подается с помощью насосов к месту применения. Недостаток этого вяжущего вещества состоит в том, что его следует использовать в течение 2-х часов, т.е. оно не подлежит транспортировке на дальние расстояния, а значит, имеет ограниченные возможности использования и ведет к снижению коммерческой ценности. Также следует учитывать финансовую сторону, «бишофит» дорогой и дефицитный материал.

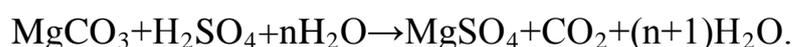
В нашей стране запатентована композиция на основе магнезиального вяжущего (Патент RU №2079465, C04B 28/30, C04B 111/20). Разработанная композиция имеет следующий состав: каустический магнезит 24- 60 %, сульфат магния (эпсомит) 14-32 %, наполнитель 5-34 %, ПВА 0,3-0,57 %, кремнийорганический гидрофобизатор 0,8-1,0 %, водорастворимый сульфат или хлорид железа, возможна замена на соли алюминия 3-5 % и остальное вода. Технология получения данной композиции заключается в смешивании сухих составляющих и добавлении к смеси жидкого затворителя. Указанная композиция в сухом виде может перевозиться на любые расстояния, потому что для ее использования необходимо затворение водой.

Указанная композиция имеет существенный недостаток: сухой эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ это природное вещество, которое находится только в местах испарения морской воды, это делает его дефицитным. А нашей стране единственное предприятие осуществляет выпуск каустического магнезита, оно расположено на Южном Урале в г. Сатка. Ближайшим источником эпсомита является район Каспийского моря в Казахстане, в 2000км, что делает производство нерентабельным.

Другой способ получения магнезиального цемента из сульфата магния состоит в его растворении серной кислотой и последующем смешивании с каустическим магнезитом [43]. Но эта технология не позволяет получать сухой порошок с неограниченным сроком хранения и транспортировать его без ухудшения качества.

Наибольший интерес представляет производство, основанное на использовании композиции, предложенной выше (Патент RU 2079465) и способе получения магнезиального цемента состоящего из получения сульфата магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ при растворении магнезита $MgCO_3$ или каустического магнезита MgO в серной кислоте [63]. Данная технология отличается от предыдущих тем, что сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ готовится синтетическим путем с применением серной кислоты и последующим смешиванием его с каустическим магнезитом. При получении сульфата магния готовится водная суспензия тонкоизмельченного магнезита $MgCO_3$ или каустического магнезита MgO , которая готовится в соотношении 1:1. К суспензии добавляется серная кислота плотностью не менее $1,6г/см^3$ до нейтрализации жидкой фазы суспензии до pH – 7, далее жидкость выпаривается и получается кристаллический $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. В дальнейшем готовится порошок смешиванием каустического магнезита 66 – 72мас% с полученным сульфатом магния 28 – 34мас%.

При разработке данной технологии использовался магнезит Верхнетуровского месторождения Красноярского края, его измельчали до тонкости помола с полным прохождением через сито 0,08мм. При получении сульфата магния обязательное использование серной кислоты с плотностью не менее $1,6г/см^3$, т.к. при меньшей плотности происходит не полное использование $MgCO_3$, зерна обволакиваются коллоидной массой новообразований. Процесс протекающий между твердой массой и серной кислотой можно отобразить стехиометрическим соотношением



В соответствии с реакцией на 1кг $MgCO_3$ необходимо 1,17 кг H_2SO_4 или 1,04л серной кислоты с плотностью $1,6г/см^3$. В результате реакции получается 1,43 кг сульфата магния и 0,84 кг CO_2 , который улетучивается. По окончании реакции, проводится выпаривание и кристаллизация семиводного кристаллогидрата $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ массой 2,93 кг. Кристаллогидрат высушивают и после этого перемешивают с каустическим

магнезитом из расчета 28 – 34% доля кристаллогидрата в магнезиальном цементе. Затем магнезиальный цемент затаривают в мешки и отправляют потребителям.

На месте применения магнезиальный цемент смешивают с наполнителем и затворяют водой до нормальной густоты. Марочная прочность магнезиального цемента при использовании каустического магнезита марки ПМК – 75 достигается через 7 суток твердения и равна 60 МПа. В дальнейшем твердение дает прирост механической прочности за три месяца на 1 – 9%.

При получении сульфата магния из каустического магнезита MgO, его получали при обжиге Верхнетуровского магнезита MgCO₃. Для этой цели используют каустический магнезит ПМК – 80 с тонкостью помола, которая обеспечивает 100 % проход через сито 0,08 мм. Готовится суспензия из соотношения 1:1 с водой, которая взаимодействует с серной кислотой плотностью 1,6 г/см³. Протекающую реакцию можно представить в виде стехиометрического уравнения:

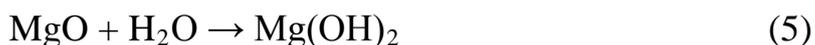


Для проведения реакции с 1 кг MgO расходуется 2,45 кг H₂SO₄ или 2,19 л серной кислоты плотностью 1,6г/см³. В результате процесса образуется 3 кг MgSO₄. После выпарки и кристаллизации получается 6,15 кг кристаллогидрата MgSO₄·7H₂O.

2.2.2. Получение водостойкого гидрокарбонатного магнезиального вяжущего.

Как уже указывалось, магнезиальные вяжущие обладают низкой водостойкостью. Это связано с присутствием в продукте гидратации тригидрохлорида 3Mg(OH)₂·MgCl₂·7H₂O или тригидрокси сульфата 3Mg(OH)₂·MgSO₄·8H₂O магния, которые растворим в воде. Это создает необходимость разработки нерастворимого в воде вещества, при этом оно должно обладать прочностными свойствами как магнезиальный цемент.

Для этого затворителем используют водный раствор бикарбоната магния $Mg(HCO_3)_2$ выдерживая соотношение: 60 – 75% каустического магнезита и 25 – 40% водного раствора $Mg(HCO_3)_2$. При затворении протекает реакция между каустическим магнезитом и водным раствором $Mg(HCO_3)_2$. Она протекает по стадийно. На первой стадии идет реакция гидратации



На этом процесс не останавливается, образовавшийся в реакции (5) гидроксид магния в дальнейшем реагирует с бикарбонатом магния



В результате этой реакции образуется гидроксокарбонат магния и двуокись углерода, которая реагирует с избытком гидроксида магния, образуя вторичный бикарбонат магния



На этом процесс не останавливается, вторичный бикарбонат магния вступает в реакцию с гидроксидом магния по реакции (6), образуя новую порцию гидрата гидроксокарбоната магния. Он вместе с гидроксидом магния образуют первичные продукты гидратации магнезиального цемента, которые обеспечивают его твердение при перекристаллизации первичных коллоидных продуктов в кристаллическое состояние. Итак, циклически протекающие реакции (5,6,7) обеспечивают образование в цементном камне двух основных кристаллических фаз – гидроксида магния и гидрата гидроксокарбоната магния. Их количественное соотношение зависит от количества бикарбоната магния в жидкости затворения. Такое вяжущее не содержит растворимых соединений в цементном камне, это способствует повышению водостойкости до коэффициента 1,1 – 1,4, в результате цементный камень твердеет с увеличением прочности и на воздухе, и во влажной среде при влажности выше 75%, даже в воде после предварительного твердения в течение 3 – 7 суток на воздухе.

Преимущество данного вяжущего состоит в том, что при его получении может быть использован лежалый каустический магнезит, содержащий свыше 40% оксида магния. В лежалом порошке магнезита может присутствовать MgO , $Mg(OH)_2$ и $MgCO_3$, которые образовались в результате взаимодействия MgO с углекислым газом и влагой. Их присутствие не снижает активность лежалого порошка магнезита при вступлении в реакцию с раствором бикарбоната магния, так как реакция $Mg(OH)_2$ с $Mg(HCO_3)_2$ протекает по типу реакций (6, 7) при этом $MgCO_3$ реагирует с диоксидом углерода, который образуется в результате реакции (6)



Далее образующийся бикарбонат магния реагирует с $Mg(OH)_2$ по реакции (6). В данной работе применялся свежееобожженный каустический магнезит, который содержал 88 % MgO (магнезит 1), лежалый магнезит, содержащий 53,9 % MgO и 34,1 % $Mg(OH)_2$ (магнезит 2) и лежалый магнезит, содержащий 38,7% MgO , 4,03 % $Mg(OH)_2$ и 21,0 % $MgCO_3$ (магнезит 3). Магнезиальный порошок имел удельную поверхность 350 м²/кг, остаток на сите №008 – 9,2 %.

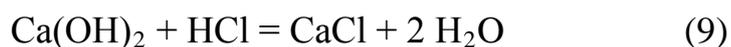
2.3. Коррозия тампонажного цементного камня: источники, причины, последствия, методы борьбы.

Различают четыре вида коррозии цементного камня: физическая, химическая, электрохимическая и биологическая.

Физическая коррозия проявляется в разрушении цементного камня путем выветривания, разрушения под действием колебаний температуры, растворением. Коррозия путем растворения имеет физико-химический характер и более подробно будет описана при рассмотрении коррозии выщелачиванием.

Химическая коррозия представляет агрессивное воздействие на тампонажный цементный камень всех кислот и большей части солей. Это наиболее распространенный вид коррозии и он разрушает камень интенсивнее остальных воздействий.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ реагирует с кислотами и отдельными солями, в результате таких реакций образуются соединения или легко растворимые в воде, или непрочные рыхлые, в отдельных случаях образуются соединения кристаллизующиеся и вызывающие существенные изменения объема. Возможно, что все это происходит одновременно. Разрушение цементного камня можно описать следующими реакциями:



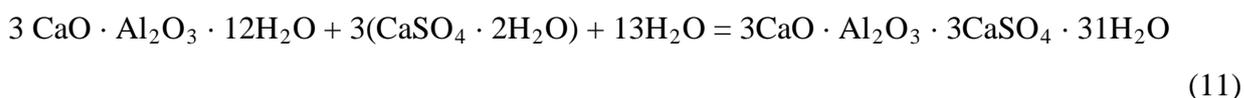
Образующийся при этом хлористый кальций легко растворим в воде, а сульфат кальция взаимодействует с гидроалюминатом кальция и образует гидросульфоалюминат кальция. Последнее вещество кристаллизуется и происходит увеличение объема. Гипс также вызывает увеличение объема при кристаллизации.

О наличии в пластовых водах серной и соляной кислоты можно только предполагать, а вот различные соли присутствуют и они проявляют агрессивное воздействие на тампонажный цементный камень. Среди этих солей сульфаты (MgSO_4 , CaSO_4) и хлориды (MgCl_2 , CaCl_2). Также агрессивное воздействие оказывают сероводород и углекислый газ, присутствующие в пластовых водах, нефти и газе.

Рассмотрим подробнее отдельные виды химической коррозии.

1. Углекислотная коррозия – это коррозия, обусловленная действием углекислого газа присутствующего в пластовых водах.

2. Сульфатная коррозия. Данная коррозия сопровождается образованием кристаллизующихся соединений, которые вызывают увеличение объема. Такую коррозию могут вызвать воздействия сульфатов кальция и натрия. Гидроалюминаты кальция присоединяют гипс, образуя гидросульфоалюминат, который кристаллизуется, вызывая увеличение объема. Это ведет к возникновению внутреннего напряжения и последующего разрушения цементного камня. Происходящие процессы можно отразить следующим уравнением химической реакции:



Гидросульфоалюминат кальция изначально присутствует в цементном камне, но только увеличение его содержания ведет к сульфоалюминатной коррозии.

Для снижения сульфатной коррозии необходимо понижать содержание трехкальциевого алюминия до уровня не выше 5%. В таком случае содержание плавней замещается увеличением присутствия окиси железа. Присутствие хлоридов в пластовых водах снижает влияние сульфатов.

3. Магнезиальная коррозия.

Если в среде, окружающей цементный камень присутствуют вещества вступающие в реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и при этом образуются малорастворимые соединения, то концентрация извести будет очень низкой. К примеру, пластовая вода содержит MgSO_4 , который реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ следующим образом:



Гипс и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ малорастворимы в воде. Гидрат магния представляет собой аморфное рыхлое вещество. При длительном процессе цементный камень разрушится. Такой процесс и называется магнезиальной коррозией. Хлористый магний оказывает подобное действие, только оно значительно слабее.

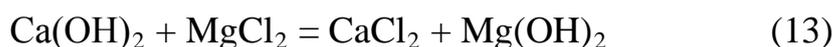
На практике этот процесс очень часто затухает при накоплении $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в порах цементного камня кольматаций. Накопление указанных веществ идет быстрее и уплотнее выше, если выше основность цемента. Кольматация пор препятствует проникновению MgSO_4 внутрь цементного камня.

Таким образом, понизить действие данного вида коррозии можно при добавлении к вяжущему веществу активных минеральных добавок. По этой причине в таких средах не рекомендуется использование облегченных

цементных растворов содержащих минеральные добавки в виде пемзы, опока, диатомита, тремела.

Не уступает портландцементу по стойкости к магниевой коррозии шлаковый цемент. Это объясняется тем, что магниевое разложение шлаковых гидросиликатов ведет к образованию кремниевой кислоты в значительных количествах, которая по своей структуре отличается повышенной плотностью. Это оказывает значительное коагулирующее действие. Но в этом случае также имеет смысл повышать основность шлака. Недопускается производить добавки активных минеральных веществ и глины к шлаку.

Меньшая агрессивность хлористого магния относительно сернистого объясняется образованием хорошо растворимого вещества CaCl_2



Хлористый кальций способствует сохранению равновесной концентрации Ca^{++} .

4. Коррозия выщелачивания.

Алюминаты, гидросиликаты и ферриты кальция, которые образуются в результате взаимодействия с водой клинкера и вместе с наполнителем составляя цементный камень обладают значительной равновесной растворимостью в воде. Таким образом, эти вещества устойчивы при контакте с водами при наличии в ней достаточной концентрации Ca(OH)_2 . Если концентрация этого вещества ниже равновесной, то от гидрата отщепляются молекулы извести и концентрация снова равновесная. Чем выше основность гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, тем больше их равновесная растворимость. Значит, отщепление гидратов в первую очередь идет у высокоосновных гидратов, при этом понижается их основность и повышается устойчивость в данной среде. С того момента, как концентрация гидрата окиси кальция прекратит уменьшаться, так и процесс остановится. В случае, когда концентрация извести будет уменьшаться и дальше, будет происходить отщепление гидрата окиси кальция вплоть до

полного разложения гидросиликатов и гидроалюминатов, при этом образуются аморфный кремнезем и глинозем. Даже при плохой растворимости в воде, они не имеют вяжущих свойств, поэтому прочность и монолитность цементного камня нарушится. Такое явление можно наблюдать в том случае, когда цементный камень омывается постоянно обновляющейся водой или растворами солей с малой концентрацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$, или в случае, когда $\text{Ca}(\text{OH})_2$ соединяется с веществами, находящимися в растворе в прочные малорастворимые или малодиссоциирующие химические соединения кальция.

Скорость выщелачивания выше при большей концентрации извести в порах цементного камня [56]. Меньшей равновесной растворимостью обладают низкоосновные гидраты кальция. Известь связывается, понижение основности происходит при добавлении в цемент активных кремнеземистых добавок, если поддерживается высокая температура, то добавляют песок.

Следовательно, низкоосновные цементы (шлакопесчанистые, известковокремнеземистые, БКЗ, пуццалановые) обладают большей стойкостью в коррозии выщелачивания.

Более агрессивными с позиции выщелачивания являются «мягкие» воды, в присутствии хлористого натрия возрастает растворимость извести. Исходя из этого, все минерализованные пластовые воды агрессивны к цементному камню. С повышением температуры возрастает растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что необходимо применение низкоосновных цементов.

Скорость выщелачивания находится в зависимости от коэффициента диффузии. Для ее снижения следует уменьшать относительное содержание жидкости затворения, вводить добавки высокомолекулярных реагентов, таких как К-4, КМЦ, гипан.

Среди облегченных цементов большей стойкостью к выщелачиванию обладают цементы, которые в качестве облегчающего компонента имеют активную кремнеземистую добавку.

5. Сероводородная коррозия. Это практически самая распространенная коррозия на нефтяных и газовых месторождениях. Эта коррозия проявляется в виде образования малорастворимых сульфидов алюминия, кальция и железа. Данный процесс ведет к снижению равновесной концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и вызывает разрушение гидратов кальция.

Наибольшей скоростью образования обладает сульфид железа, в связи с этим с целью повышения стойкости цементного камня к сероводородной коррозии в цементах необходимо снижать содержание окислов железа, марганца и других тяжелых металлов. Не наносят вреда цементному камню силикаты, карбонаты, щелочи и их соли. Только сильные щелочи оказывают действие на алюминаты.

Вред цементному камню наносят нафтеновые кислоты и сульфаты, присутствующие в нефти и нефтепродуктах.

6. Биологическая коррозия. Это мало изученный вид коррозии, но придерживаются мнения, что в любом случае она приводит к одному из химических видов.

Это можно объяснить тем, что многие бактерии выделяют углекислоту, которая в свою очередь повлечет углекислотную коррозию. Существуют бактерии способные окислять сульфаты до сероводорода и даже до серной кислоты. В соответствии с этим и происходит разрушение цементного камня.

7. Электрохимическая и электроосмотическая коррозии.

Причиной данного вида коррозии служат блуждающие токи. В качестве проводника выступает система, образованная обсадной колонной, цементным камнем и землей. По этой системе возможен перенос ионов, который и будет источником электрохимической и электроосмотической коррозии. Необходимо помнить, что бетонные фундаменты, цементные камни обладают некоторым электрическим потенциалом относительно земли.

Цементный камень может разрушаться под действием физических факторов, таких как вода, перепады температуры (замораживание –

оттаивание), увлажнение и высыхание и разрушение как результат химического взаимодействия компонентов, образующих камень с агрессивными веществами, присутствующими в окружающей среде.

Минеральный состав клинкер, тонкость помола цемента и количество воды, требующееся для приготовления смеси оказывают влияние на морозостойкость цементного камня. Самой низкой морозостойкостью среди минералов, содержащихся в клинкере обладает СзА, по этой причине содержание его в цементах предназначенных для приготовления морозостойких бетонов допускается не выше 5 – 8%. Тонкость помола должна иметь значения 3000 – 4000 см²/г, но одновременно цемент вместе с тонкой фракцией должен иметь в составе крупные зерна, создающие «клинкерный фонд», необходимый для самозалечивания дефектов, которые возникают при переменных воздействиях среды. Морозостойкость также снижается при возрастании водопотребности цемента, происходит рост капиллярной пористости, поэтому В/Ц для морозостойких бетонов принимают не выше 0,4 – 0,55.

Разрушения и повреждения, которые наносит коррозия влекут большие расходы, к примеру, на антикоррозионную защиту цехов и оборудования на предприятиях химической отрасли расходуется 10 – 15% от сметной стоимости строительства. На стадии проектирования определяют характер возможного воздействия на бетон и исходя из этого разрабатываются меры предотвращающие коррозии. Эти меры могут быть трех видов:

- правильный выбор цемента;
- изготовление бетона повышенной плотности;
- использование защитных покрытий.

Строительно-технологические мероприятия заключаются в покрытии бетонных поверхностей лакокрасочными материалами, облицовке их плитами, снижении проницаемости бетона, а также использовании материалов, которые стойки к действию микроорганизмов, особенно к кислотам.

Методов защиты цементного камня от коррозии много, но все их можно подразделить на три группы:

- подбор соответствующего цемента;
- применение особо плотного бетона;
- использование защитных покрытий и облицовок, которые максимально исключают агрессивное воздействие на бетон.

2.4. Основные особенности качественного тампонажного материала.

Тампонажный материал по своей сути это затвердевший цементный камень, поэтому обеспечение требований определяется химическим, минералогическим составом вяжущей композиции, механизмом твердения и условиями, влияющими на процесс твердения.

Среди основных задач, стоящих перед тампонажным материалом на первые места выходят: обеспечение хорошего сцепления как с окружающей породой, так и металлом колонн, герметичности обсадных колонн, изолирования скважин от подземных вод и отделение одного газоносного пласта от другого. Поэтому качественный тампонажный материал должен обладать высокой начальной и конечной прочностью, низкой газопроницаемостью, безусадочностью (объемным расширением), коррозионноустойчивостью в контакте с пластовыми агрессивными средами.

Применяемые в технологии тампонажные материалы основаны на использовании портландцементного вяжущего. Данный материал удовлетворяет нормативным требованиям, но не отвечает эксплуатационным требованиям по адгезионным свойствам, коррозионностойкости и экологичности, что вынуждает искать новые подходы к данному материалу.

Для повышения водо- и газонепроницаемости, коррозионной стойкости портландцементных тампонажных материалов используют различные приемы:

1) модификация химического и минералогического состава, то есть выполнение требований по содержанию коррозионностойких, сульфатостойких минералов в составе портландцементного клинкера;

2) введение добавок различного назначения: повышающих прочность цементного камня, пластифицирующих, снижающих водопотребность, повышающих газонепроницаемость.

Указанные меры повышают эффективность применения портландцементного тампонажного материала. Однако, с его использованием не всегда удастся решить поставленные задачи. Это связано с тем, что тампонажный материал, который получается при затворении водой или раствором хлорида магния портландцемента не образует адгезивные связи с солями растворимыми в воде и не формирует на границе с ними флюидонепроницаемый контакт. Прочная связь цементного камня с породой и агрессивными средами возможен только при химическом подобии и родстве солей и используемых материалов.

Известно, что магнезиальные цементы, представляющие собой продукт химической реакции взаимодействия оксида магния (MgO) с водным раствором хлорида магния ($MgCl_2$) при затвердевании на контакте с водорастворимыми природными солями: галитом, карналлитом, бишофитом и сильвинитом, формируют цементный камень, образующий прочную на кристаллохимическом уровне связь. Помимо этого, магнезиальные цементы характеризуются и высокой стойкостью в контакте с водными растворами этих солей. В результате получаем магнезиальный тампонажный материал позволяющий проводить цементирование обсадных колонн скважин в мерзлых грунтах, в присутствии агрессивных солевых отложений. Однако, оксихлоридный магнезиальный цемент характеризуется низкой стойкостью к сопротивлению пресной и минерализованной воды. Это воздушное вяжущее, которое может служить только в условиях пониженной влажности.

Для решения этой проблемы можно использовать магнезиальный гидравлический водостойкий цемент. Материал отличается плотной водо- и

газонепроницаемой структурой. Контакт с минеральными водами, содержащими растворенный углекислый газ дополнительно упрочняет структуру.

Таким образом, исходя из актуальности проблем в целью данных исследований является определение возможности применения гидравлического магнезиального вяжущего в качестве тампонажного материала и определение его основных свойств, соответствующих требованиям нормативных документов.

2.5. Предпосылки исследований

В настоящее время используются преимущественно тампонажные материалы на основе портландцемента с различными модифицирующими добавками: портландцемент, портландцемент с облегчающими добавками, пластифицированный портландцемент (ПАВ), портландцемент с полимерными добавками. Они соответствуют требованиям ГОСТа, но не отвечают эксплуатационным требованиям по адгезионным свойствам, коррозионностойкости и экологичности.

Решение этой проблемы позволит повысить эффективность нефте- и газодобычи за счет проектирования и возведения скважин. Поэтому идея создания качественных тампонажных материалов легла в основу научных изысканий ученых Национального исследовательского Томского политехнического университета, был разработан состав гидравлического водостойкого магнезиального вяжущего с высокой коррозионной и водостойкостью, который может быть использован в качестве тампонажного материала.

Основу высокой водостойкости гидрокарбонатного магнезиального цемента составляет взаимодействие каустического магнезита с водным раствором бикарбоната магния с образованием водонерастворимых кристаллических фаз, позволяющих твердеть и набирать прочность композиции не только на воздухе, но и в воде и солевых растворах.

Исследование свойств и технологии получения магнезиальных

тампонажных материалов, а также возможностей его использования для обустройства скважин стали целью данного проекта.

Объект исследования – магниезиальные тампонажные материалы с высокой водо- и коррозионной стойкостью для применения в условиях присутствия карбонатных и солевых пластовых растворов.

Цель исследования – исследование состава и основных свойств гидрокарбонатных магниезиальных вяжущих с целью применения в качестве тампонажных материалов для обустройства скважин.

3. Методы исследования

3.1. Определение плотности цементного теста.

Определение проводится по ГОСТ 26798.1-96 с помощью пикнометра объемом $100 \pm 5 \text{ см}^3$. Перед началом испытаний проводится калибровка пикнометра. Затем взвешиваем пустой пикнометр на весах с погрешностью $\pm 0,01 \text{ г}$. После этого пикнометр заполняют приготовленным цементным тестом и закрывают крышкой, тесто должно выступить в канале крышки пикнометра. Избыток теста удаляют влажной салфеткой. Взвешивают заполненный пикнометр. Полученные результаты обрабатывают, проводится расчет по формуле.

Плотность цемента $\rho_{\text{ц}}$, г/см^3 , вычисляют по формуле:

$$\rho_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}}}{V}, \quad (14)$$

где $m_{\text{ц}}$ - масса навески цемента, г;

V - объем керосина, вытесненного цементом, см^3 .

За плотность цемента принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$.

Результат вычисления округляют до $0,01 \text{ г/см}^3$.

3.2. Определение водотвердого отношения

Водотвердое отношение определяется в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 31376-2008. Для проведения испытания выполним определение подвижности текучих растворных смесей с помощью кольца Вика. Кольцо Вика представляет собой форму высотой 40мм, верхний диаметр 65мм, нижний диаметр 75мм, она выполнена из нержавеющей материала.

Подготовленную растворную смесь в течение 15с переносят в форму, которая установлена в центре стеклянной пластинки, она должна заполнить форму вровень с краями. После заполнения форму резко поднимают вверх и дают смеси свободно растечься по пластине.

Затем производят замер диаметра расплыва образца смеси в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с погрешностью ± 5 мм, среднеарифметическое этих измерений принимают за диаметр расплыва образца, оно должно составлять 150 – 210 мм. В случае, когда диаметр находится в этих пределах проводят расчет водотвердого отношения $\frac{B}{T}$ по формуле:

$$\frac{B}{T} = \frac{m_1}{m_2}, \quad (15)$$

где m_1 – масса воды израсходованной для получения смеси требуемой подвижности, г

m_2 – масса навески сухой смеси, г.

Результатом определения является среднеарифметическое значение результатов измерения диаметра расплыва двух образцов растворной смеси.

3.3. Определение прочностных характеристик

Определение прочности проводится по ГОСТ 26798.1-96. Измерения проводятся при нормальных температурах, при этом используются формы размером 40x40x160 мм для изготовления образцов-балочек. При измерении прочности образцов при повышенной температуре используются формы 20x20x100мм для изготовления образцов-балочек. Формы перед проведением испытаний подготавливаются по ГОСТ 310.4. Для испытания готовится цементное тесто, которое в два приема помещается в форму и все оставляется на 1 час. После выдержки в течение часа удаляется избыток цементного теста с помощью ножа. При этом для испытания готовится три образца. При проведении испытаний при нормальной и пониженной температуре формы устанавливаются в шкаф воздушно-влажного хранения на 24 часа. После этого образцы достают из шкафа и расформовывают,

маркируют и погружают в ванну с водой при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, здесь осуществляется хранение образцов до испытания. Перед началом испытаний формы с образцами накрывают стеклом и помещают в термостат. Образцы, которые должны проходить испытания через 1 сутки выдерживают в ванне с водой при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1,5ч. Образцы, которые подлежат проверке через 2 сут, снова помещают в термостат и там их хранят. Перед проведением испытания с поверхности образцов удаляют капли воды.

При испытании образцов при повышенных температурах, формы заполняют цементным тестом и через 30мин срезают избыток ножом и помещают их в автоклав. Образцы выдерживают в автоклаве при заданном режиме, регламентируемом нормативными документами. Перед тем, как образцы необходимо извлечь из автоклава, его охлаждают до 75°C и давление снижают до атмосферного. Образцы охлаждают в течение 30 ± 5 мин на воздухе при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$, протирают, маркируют и помещают в ванну с водой. Эти образцы должны пройти испытания в течение 2ч 30мин с момента извлечения из автоклава.

Подготовленные образцы-балочки $40\times 40\times 160$ мм испытывают на изгиб в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4. Образцы-балочки $20\times 20\times 100$ мм испытывают на изгиб в соответствии с инструкцией к прибору.

Прочность при изгибе рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b^3} \quad (16)$$

где F - разрушающая нагрузка, Н;

l - расстояние между осями опор, мм;

b - сторона квадратного сечения образца-балочки, мм.

Значение прочности при изгибе определяют как среднеарифметическое результатов всех образцов. Полученный результат округляют до 0,1МПа.

Половинки образцов-балочек, которые остались после испытания на изгиб испытывают на сжатие. Передача нагрузки на половинки образцов

размером 20x20x100мм производится с применением пластин размером 20x25мм.

Прочность на сжатие отдельной половинки образца рассчитывается по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F_{сж}}{S} \quad (17)$$

где $F_{сж}$ - разрушающая нагрузка, Н;

S - площадь рабочей поверхности пластины, мм .

Прочность на сжатие рассчитывают как среднеарифметическое значение результатов испытаний всех половинок образцов. Полученный результат округляют до 0,1МПа.

3.4. Определение растекаемости

Испытание проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 26798.1-96. Для проведения испытания необходима форма – конус приведенная на рисунке 3.

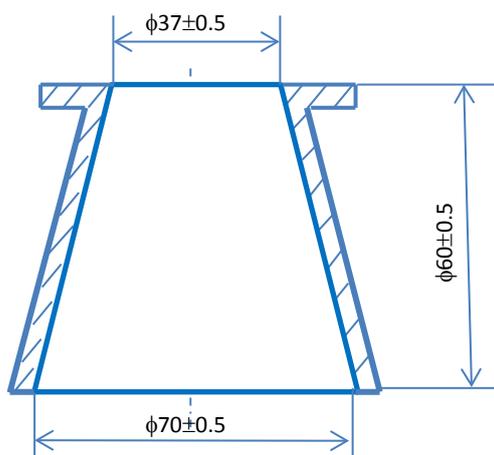


Рис. 3 Форма для испытаний по ГОСТ 26798.1-96

Измерительный столик, который устанавливают горизонтально по уровню, он оснащен шкалой, в виде концентрических окружностей с диаметрами от 70 до 250 мм. Цена деления шкалы должна быть не более 5 мм. Столик покрывается стеклом. Форма-конус располагается на стекло в центре измерительного столика так, что внутренняя окружность формы совпадает с начальной окружностью шкалы на столике. Форму заполняют

цементным тестом до верхнего торца. Промежуток времени от окончания замеса теста до заполнения формы не должен быть больше 5с. Образовавшийся избыток теста удаляют ножом. После этого форму резким движением поднимают строго вертикально. Производят измерение диаметра расплыва цементного теста в двух взаимно перпендикулярных направлениях, результаты измерения округляют до 1 мм. Между параллельными испытаниями расхождения не должны быть более 10мм.

3.5. Определение структуры цементного камня

Для того, чтобы иметь более полную информацию по структуре цементного камня требуется проведение элементного анализа. С этой целью используют систему энергодисперсного анализа, что дает возможность получить данные в определенной точке или выбранной области. Можно провести картирование – получение карт распределения элементов.

Для этого применяют растровые электронные микроскопы (РЭМ) оснащенные термоэмиссионной пушкой. В таких микроскопах используются вольфрамовые и гексаборид-лантановые термокатоды. Разрешающая способность данных микроскопов зависит от яркости пушки и составляет от 5 до 10 нм. Ускоряющее напряжение регулируется в пределах от 1 до 30 - 50кВ. Две или три электронные линзы фокусируют на поверхности образца узкий электронный зонд. С помощью магнитных отклоняющих катушек зонд разворачивается по заданной площади на исследуемом образце. Электроны зонда взаимодействуют с объектом, при этом возникает несколько видов излучений: вторичные и отраженные электроны; рентгеновское тормозное излучение; оже-электроны; световое излучение и т.д. Детекторы регистрируют любое из излучений, преобразуют их токи и напряжения в электрические сигналы, усиливающиеся и подающиеся на электронно-лучевую трубку и модулируются в пучок. Синхронно происходит развертка пучка и электронного зонда в РЭМ, при этом на экране электронно-лучевой трубки можно наблюдать увеличенное изображение объекта.

Главным достоинством РЭМ является высокая информативность за счет возможности наблюдать изображения, применяя сигналы различных детекторов. РЭМ можно использовать для исследования микрорельефа, распределения химических элементов внутри объекта, проводить рентгеновский спектральный анализ и т.д.

Высокая разрешающая способность РЭМ используется во время формирования изображения с помощью вторичных электронов. Она состоит с обратной зависимости с диаметром зоны, из которой осуществляется эмитирование этих электронов. Размер зоны определяется диаметром зонда, свойствами объекта, скоростью электронов первичного пучка. Чем глубже проникновение первичных электронов вторичные процессы, происходящие во всех направлениях, увеличивают диаметр зоны, что ведет к падению разрешающей способности.

Детектор вторичных электронов представляет собой фотоэлектронный умножитель и электронно-фотонный преобразователь, у которого основной элемент представляет сцинтиллятор. Число вспышек сцинтиллятора соответствует числу вторичных электронов, которые выбиты в данной точке образца. Величину сигнала определяют топография образца, наличие локальных электрических и магнитных микрополей, величина коэффициента вторичной электронной эмиссии, зависящая от химического состава образца в контролируемой точке.

РЭМ оснащенный рентгеновскими спектрометрами позволяет выполнять локальный количественный анализ. Кристаллический спектрометр снабженный набором кристаллов-анализаторов имеющих различное межплоскостное расстояние дискриминирует с высоким разрешением характеристический спектр по длинам волн в диапазоне от В до U. Полупроводниковый спектрометр позволяет регистрировать элементы от В до U. Он имеет разрешение ниже кристаллического спектрометра, но более высокую чувствительность. Еще одним преимуществом является

быстрая выдача информации, простая конструкция и высокие эксплуатационные характеристики.

.

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

Студенту:

Группа		ФИО	
4ГМ72		Боженко Анастасия Евгеньевна	
Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Рассчитаны материальные затраты, амортизационные отчисления используемого оборудования, накладные расходы, затраты на заработную плату исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды, а также общий бюджет научного проекта.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>В работе рассматривались отчисления во внебюджетные фонды и амортизационные отчисления.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<i>Измерение характеристик, описывающих качество и перспективность новой разработки на рынке, помогло принять целесообразное решение, о том, что данная разработка является перспективной.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Планирование бюджета было распределено главным образом на материальные затраты, оборудование, зарплаты, а также на накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Сравнение значений интегральных показателей эффективности помогло понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Трубоченко Т.Г.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Боженко Анастасия Евгеньевна		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Расчет экономической части включает в себя такие основные вопросы как:

- организация труда и определения фонда заработной платы в проектном производстве;
- расчет себестоимости выпускаемой продукции;
- расчет экономической эффективности дипломного проекта.

Данная работа относится к научно-исследовательской работе, то есть является совокупностью трудовых процессов по решению технической задачи на основе технического предложения.

Теоретические исследования проводятся для формирования научных теорий, проведения открытий новых методов синтеза и анализов, получение новых представлений о структуре, свойствах веществ, и они направлены на развитие науки и техники.

Поисковые научно-исследовательские работы проводятся для выявления технико-экономических возможностей по практическому применению новых способов и средств производства продукции.

Данная дипломная работа относится к группе прикладных исследований, целью которых является усовершенствование уже имеющихся процессов.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования рассматривается целевой рынок и проводится его сегментирование.

Чтобы определить потенциальных потребителей разрабатываемого продукта, следует рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. В зависимости от направления применения тампонажных

материалов, необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Сегментирование рынка по производству тампонажных материалов на основе магнезиального вяжущего производится по критериям: направление использования, размер компании.

Таблица 7 – Карта сегментирования

		Направление производства		
		Химическая промышленность	Нефтегазодобывающая промышленность	Строительство
Размер компании	Малые			
	Средние			
	Крупные			

Из анализа карты можно сделать вывод, что производство тампонажных материалов на основе магнезиальных вяжущих используется в основном крупными компаниями. Мелкие и средние компании не берутся за данное производство. Следовательно, в данном случае, среди мелких и средних компаний конкуренция мала.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

При выполнении детального анализа конкурирующих решений, которые имеются на рынке, было проведено сравнение разработанного технического решения и тампонажного материала изготовленного согласно ГОСТ 1581-96. Результаты данного анализа по конкурентоспособности приведены в таблице 8.

Оценка проведена исходя из пятибалльной шкалы, где 1 – слабая позиция, а 5 – сильная. Веса показателей в общей сумме должны быть равны 1.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Растекаемость	0,25	5	5	3	0,75	0,75	0,45
2.Плотность	0,12	5	5	2	0,60	0,60	0,24
3. Водоотделение	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
4. Прочность	0,12	3	3	2	0,36	0,36	0,24
5.Коррозионостойкость	0,14	5	5	2	0,70	0,70	0,28
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
2. Цена	0,14	5	4	3	0,70	0,56	0,42
Итого	1	32	30	17	4,16	3,89	2,19

Б_ф – тампонажный материал полученный путем проведения исследовательской работы;

Б_{к1}, Б_{к2} – тампонажный материал полученный компанией.

Анализ осуществляется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (5.1)$$

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

Коэффициент конкурентоспособности рассчитывается:

$$K_k = K_{\text{ф}} / K_{\text{ср}} \quad 4,16 / ((3,89+2,19)/2) = 1,37, \quad (5.2)$$

Полученный коэффициент больше 1, что свидетельствует о том, что продукт исследовательской работы является конкурентоспособным. Следовательно, научная разработка является эффективной для производства.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует заметить, что:

- Уязвимость позиции конкурентов обусловлена, в основном, сложностью поставки в отдаленные регионы России, отсутствие гарантии о надежности эксплуатации продукта при высокой влажности. Данный продукт уступает конкурентам по показателю - «простота эксплуатации»;

•Выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством заключается в гарантированной экологичности и безопасности продукта, относительно невысокой цене, а также простоте его приобретения и большем сроке эксплуатации, что, безусловно, экономит силы и средства.

5.2 Инициация проекта

5.2.1 Цели и результат проекта

Процесс инициация нового проекта необходимо начинать с целей, по ожидаемым результатам и критериям, необходимых для достижения этих результатов в рамках области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В таблице 9 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта - это заказчик и исполнитель, и их ожидания относительно результатов проекта. Также в таблице 10 представлены цели проекта и требования к его результатам.

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «Сибирские порошки»	Усовершенствование состава тампонажного материала

Таблица 10 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка оптимального состава магнезиальных тампонажных материалов.
Ожидаемые результаты проекта:	Улучшение технических свойств магнезиального тампонажного материала
Критерии приемки результата проекта:	Создан новый оптимальный состав магнезиального тампонажного материала, который соответствует ожидаемым техническим характеристикам, а также отвечает требованиям безопасности, надежности и экологичности.
Требования к результату проекта:	<ul style="list-style-type: none"> – Каждый этап проекта выполняется в назначенный срок; – На каждом этапе проводится соответствующая проверка качества выполненной работы и необходимые испытания; – Персонал, осуществляемый выполнение проекта должен иметь соответствующее образование и компетенцию; – Затраты на проект должны совпадать с запланированными расходами.

5.2.2. Ограничения и допущения проекта

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

Таблица 11 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	300 000
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	
3.2.2. Дата завершения проекта	
3.3. Прочие ограничения и допущения*	Время использования научного оборудования

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 Структура работ в рамках проекта

Для выполнения научно-технического проекта была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель (НР), студент (С), выполняющий магистерскую диссертацию, научный руководитель от предприятия (НРП), инженер-технолог (ИТ).

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках разработки проекта, а также приведены исполнители по каждому виду работ. Перечень представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	Номер работы	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР, НРП

Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материала по теме	С
	3	Выбор направления исследования	С
	4	Календарное планирование работ по теме	НР, НРП, С
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение теоретического материала по выбранному направлению	С
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	НРП, ИТ, С
	7	Построение макетов (моделей)	НРП, ИТ, С
	8	Проведение испытаний	С, ИТ
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С
	10	Оценка эффективности полученных результатов	НР, С
	Обобщение и оценка результатов		

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ определяется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (5.3)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемое значение трудоемкости выполнения i -ой работы, чел.-дн.; $t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы, чел.-дн.

Продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_p определяется по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (5.4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной i -ой работы, раб. дн.;

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

Таблица 13 – Временные показатели проведения НТП

Номер работы	Исполнитель	Трудоемкость работ			Длительность работ в	Длительность работ в
		t_{min} , чел.-	t_{max} ,	$t_{ож\ i}$,		

		дн.	чел.-дн.	чел.-дн.	рабочих днях T_{pi} , раб.дн.	календарны х днях T_{ki} , кал. дн.
1	НР	1	2	1,4	0,7	1
	НРП	1	2	1,4	0,7	1
2	С	8	12	9,6	9,6	14
3	С	4	6	4,8	4,8	7
4	НР	1	2	1,4	0,5	1
	НРП	1	2	1,4	0,5	1
	С	2	4	2,8	0,9	1
5	С	5	7	5,8	5,8	9
6	НРП	8	10	8,8	2,9	4
	ИТ	6	8	6,8	2,3	4
	С	10	14	11,6	3,9	6
7	НРП	4	6	4,8	1,6	2
	ИТ	8	14	10,4	3,5	5
	С	15	20	17	5,7	9
8	ИТ	4	6	4,8	2,4	4
	С	4	6	4,8	2,4	4
9	С	1	2	1,4	1,4	2
10	НР	3	5	3,8	1,9	3
	С	3	5	3,8	1,9	3

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

На данном этапе была использована диаграмма Ганта, т.к. она является наиболее наглядным и удобным способом построения ленточного графика.

Для удобства разработки графика необходимо перевести длительность каждого этапа работ из рабочих дней в календарные. Продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях T_{ki} рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (5.5)$$

где T_{pi} – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях; T_{ki} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; k – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности, в свою очередь, рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5.6)$$

где $T_{КГ}$ – количество календарных дней в году; $T_{ВД}$ – количество выходных дней в году; $T_{ПД}$ – количество праздничных дней в году.

В соответствии с производственным календарем на 2019 год календарных дней – 365, выходных и праздничных дней при шестидневной рабочей неделе – 118. Таким образом, получили значение $k = 1,48$.

На основании полученных данных был построен календарный план-график, который представлен на рисунке 5.1.

5.4 Определение бюджета научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения магистерской диссертации с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата исполнителей темы, дополнительная заработная плата исполнителей темы, накладные расходы.

№	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ												
			февраль			март			апрель			май			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1.	Составление технического задания	Руководитель	■												
2.	Изучения литературы	Инженер (дипломник)	■	■											
2. 2	Исследование и определение свойств жидкости затворения	И			■										
3. 1	Разработка технологической схемы	И				■									
3. 2	Исследование состава образцов	И				■	■								
3. 3	Определение фазовых характеристик	И						■							
3. 4	Оптические исследования	И							■	■					
3. 5	Определение физико-механических свойств	И							■	■	■				
3. 6	ДТА, ТГ	И+Р										■			
3. 7	РФА	И+Р										■			
4. 1	Обработка результатов	И											■		
4. 2	Обсуждение результатов	И+Р												■	■
4. 3	Оформление дипломной работы	И													■
4. 4	Оформление графической части работы	И													■

- Руководитель
 - Инженер

Рисунок 5.1 – Календарный план-график

5.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы;
- затраты на дополнительные комплектующие;
- затраты на канцелярские принадлежности.

В ходе выполнения работы были проведены опытно-промышленные испытания при использовании материальной базы ООО «Сибирские порошки» г. Иркутск

Материальные затраты Z_M на i -й материальный ресурс рассчитывается по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (5.7)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;
 m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования; C_i – цена на приобретение i -го вида приобретаемого материального ресурса; $N_{расxi}$ – количество материального ресурса i -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Для реализации данного научного проекта необходимы электронные компоненты. Результаты расчетов материальных затрат представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование материала	Количество единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Цемент	100 кг	10	1000
Бикарбонат магния	100 кг	209	20900
Прочие	1	400,0	400,0
Упаковка бумаги формата А4	1	260,0	260,0
Заправка картриджа	1	300,0	300,0
Итого:			22860

5.4.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Заработная плата участников выполнения НТИ учитывает основную заработную плату и дополнительную и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.8)$$

где $Z_{осн}$ – величина основной заработной платы; $Z_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы (15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.9)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем, раб. дн.

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (5.10)$$

где Z_M – месячный должностной оклад, руб.; M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска в течение года (при шестидневной рабочей неделе и отпуске в 48 рабочих дней значение M составляет 10,4 месяца); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 15.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	С	НРП	ИТ
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	70	70	70	70
Потери рабочего времени:				
– отпуск	48	48	48	48
– невыходы по болезни	–	–	–	–
– командировка	–	–	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247	247	247

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_B \cdot (k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.11)$$

где Z_B – базовый оклад, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент; k_d – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент (для г. Томска – 1,3).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_B , руб.	k_{np} р	k_d д	k_p р	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	22052,00	0,3	0,5	1,3	22934,1	965,6	5	4828,0
С	9377,78	0,3	0,5	1,3	9752,9	410,6	55	22583
НРП	35000,00	0,5	0,4	1,3	40950,0	1724,2	7	12069,4
ИТ	25000,00	0,5	0,4	1,3	29250,0	1231,6	13	16010,8
Итого:								55491,2

5.4.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации доплат за отклонения от нормальных условий труда, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп}, \quad (5.12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый за 0,15.

В результате получили значения, которые представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	З _{осн} , руб.	$k_{доп}$	З _{доп} , руб.
НР	4828,0	0,15	724,2
С	22583	0,15	3387,45
НРП	12069,4	0,15	1810,4
ИТ	16010,8	0,15	2401,62
Итого:			8323,67

5.4.4 Расчет накладных расходов

В данной статье отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10 % от суммы всех предыдущих расходов. Размер накладных расходов рассчитывается по формуле:

$$C_{накл} = (C_{зп} + C_M) \cdot k_{накл}, \quad (5.13)$$

где C_M – материальные затраты; $C_{зп}$ – затраты на заработную плату исполнителям, которая складывается из основной и дополнительной; $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Применительно к нашей разработке размер накладных расходов составляет $C_{накл} = 8667,5$ руб.

5.4.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ представлено в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Номер пункта
Материальные затраты НТИ	22860	5.4.1

Затраты по заработной плате исполнителей темы	55491,2	5.4.2, 5.4.3
Накладные расходы	8323,67	5.4.4
Бюджет затрат НТИ	86674,87	5.4.1 – 5.4.4

5.5. Организационная структура проекта

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



Рисунок – 5.2 Организационная структура проекта

5.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 19).

Таблица - 19 Матрица ответственности

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

5.7 Реестр рисков проекта

На пути реализации проекта могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 20, а SWOT-анализ в таблице 21

Таблица 20 - Реестр рисков

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

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования

местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых прочностных характеристик магниевых изделий.

Таблица 21 - SWOT – анализ

Сильные стороны	Слабые стороны
Лидер по мировым запасам данных материалов Устойчиво растущий спрос Высокая конъюнктура рынка	Низкий уровень добычи магниевых сырья Отсутствие нормативной документации
Возможности	Угрозы
Вероятное быстрое расширение спроса Быстрое наращивание новых мощностей Развитие логистики и дистрибуции	Усиление конкуренции со стороны зарубежных производителей

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.14)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

В случае если при разработке оптимального состава будем использовать иные материалы, то интегральные показатели для различных исполнений будут выглядеть следующим образом:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = 86674,87 / 131325,56; I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = 131325,56 / 131325,56 = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Разрабатываемый состав	Традиционный состав
1.Повышение производительности и труда пользователя	0,40	5	5
2.Удобство в эксплуатации	0,30	5	3
3. Энергосбережение	0,18	4	3
4. Надежность	0,12	4	2
Итого	1	4,5	3,25

$$I_{p1} = 0,40 \cdot 5 + 0,30 \cdot 5 + 0,18 \cdot 4 + 0,12 \cdot 4 = 4,7; I_{p2} = 0,40 \cdot 5 + 0,30 \cdot 3 + 0,18 \cdot 3 + 0,12 \cdot 2 = 3,68.$$

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

$$I_{ucni} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}^{ucni}}, \quad (5.16)$$

Получаем, $I_{ucn1} = 7,1$; $I_{ucn2} = 3,68$.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{ucn1}}{I_{ucn2}}, \quad (5.17)$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что наиболее эффективный вариант решения технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности это первый вариант исполнения разработки. Сравнительная эффективность разработки приведена в таблице 23.

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разрабатываемый состав	Традиционный состав
Интегральный финансовый показатель разработки	0,66	1,00
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,70	3,68
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	7,1	3,68
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,93	0,52

Вывод: В экономической части магистерской диссертации проведен анализ проекта. Согласно полученным данным, проект эффективен с точки

зрения ресурсопотребления и экономически целесообразен. Также проведена оценка сравнительной эффективности исследования.