

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование реологических свойств биополимерных буровых растворов с использованием понизителей фильтрации на основе КМК и ПАЦ

УДК 622.24.06:665.6.035.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Мельников Александр Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	К.Х.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Сечин А.И	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.т.н		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) – Нефтегазовое дело
 Уровень образования – магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года
 Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2021	1. Проведение литературного обзора по теме	20
01 апреля 2021	2. Разработка методики проведения литературного обзора и обобщения отечественного и зарубежного опыта по тематике диссертации.	5
07 апреля 2021	3. Промежуточная аттестация выполнения диссертации в виде доклада на XXIV Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».	10
15 мая 2021	4. Проведение литературного обзора по тематике диссертации и анализ полученных результатов.	40
20 мая 2021	5. Формулирование выводов и рекомендаций.	20
25 мая 2021	6. Предварительная защита диссертации.	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	К.Т.Н.		

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): «Нефтегазовое дело» («Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»)

Кафедра бурения скважин

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ковалев А.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы
в форме магистерской диссертации**

Студенту:

Группа	Фамилия Имя Отчество
2БМ92	Мельникову Александру Алексеевичу

Тема работы:

«Исследования реологических свойств биополимерных растворов с использованием понизителей фильтрации на основе КМК и ПАЦ»	
Утверждена приказом директора	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2021
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Проблема: подбор эффективного и экономически выгодного понизителя фильтрации для биополимерного бурового раствора с целью снижения степени физико – химического взаимодействия в системе продуктивный пласт – буровой раствор, а также с целью увеличения реологических параметров бурового раствора и, как следствие, качества очистки скважины. Объект исследования: полисахаридные понизители фильтрации биополимерных буровых растворов. Предмет исследования: реологические и фильтрационные свойства биополимерных буровых растворов первичного вскрытия пласта. Методы и средства исследования: аналитические и экспериментальные.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение</p>	<p><u>Цель диссертации:</u> исследовать реологические и фильтрационные свойства биополимерных буровых растворов первичного вскрытия. <u>Задачи диссертации:</u> 1. Провести литературный обзор по плану: 1.1. Современные рецептуры буровых растворов первичного вскрытия. 1.2. Механизм взаимодействия бурового раствора первичного вскрытия с продуктивным пластом. 1.3. Понижители фильтрации, входящие в состав буровых растворов первичного вскрытия. 2. Провести экспериментальные исследования реологических и фильтрационных свойств биополимерных буровых растворов в лабораторных условиях, используя различные концентрации полисахаридных понижителей фильтрации.</p>
<p>результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>3. Сформулировать выводы и рекомендации.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>-Необходимость в графических материалах отсутствует</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Профессор отделения общетехнических дисциплин, д.т.н. Сечин А.И.</p>
<p>Раздел, выполненный на иностранном языке</p>	<p>Старший преподаватель, к.ф.н. Сумцова О.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
<p>1. Выводы и рекомендации</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение магистерской диссертации по линейному графику</p>	<p>16.12.2019</p>
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев Константин Мадестович	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Мельников Александр Алексеевич		

**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Мельников Александр Алексеевич

Школа		Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материально-технических, энергетических, финансовых и человеческих ресурсов научного исследования.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ. ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016 №55-ФЗ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ проекта
2. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ	1) Структура работ в рамках научного исследования 2) Определение трудоемкости выполнения работ 3) Разработка графика проведения научного исследования 4) Расчет материальных затрат на проведение научно-исследовательских работ 5) Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты 6) Затраты по основной заработной плате 7) Отчисления в государственные внебюджетные фонды 8) Расчет накладных расходов 9) Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Таблицы:

- 1) SWOT-анализ
- 2) Рассчитанные материальные затраты
- 3) Продолжительность работ каждого исполнителя при проведении исследований
- 4) Перечень работ и их стоимость, относящихся к НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Мельников Александр Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2БМ92	ФИО Мельников Александр Алексеевич
------------------------	--

Школа		Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования в нефтегазовой промышленности</p>	<p>Объект исследования – системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала.</p> <p>Предмет исследования: фильтрационные и реологические свойства бурового раствора.</p> <p>Методы и средства исследования: аналитические и экспериментальные (лабораторные)</p> <p>Область применения: бурение скважин.</p> <p>Рабочая зона – лаборатория буровых растворов.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>1.2. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.</p>	<p>1.1 Факторы, создаваемые объектом исследования в производственных условиях.</p> <p>1.2 Вредные и опасные факторы, возникающие в лабораторном помещении при проведении исследований:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата в лаборатории от нормы; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – электрический ток; – движущейся машины и механизмы производственного оборудования; <p>Рассмотреть источники опасностей, воздействие на человека, нормирование, мероприятия по защите от данных факторов.</p>
<p>2. Экологическая безопасность</p> <p>2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>2.1 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<p>1. Проанализировать воздействия объекта исследования на геологическую среду, гидро- и литосферу и предложить возможные мероприятия и средства защиты.</p> <p>Методы утилизации буровых отходов.</p>

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p> <p>3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования.</p> <p>3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p> <p>3.3 Обоснование мероприятий по</p> <p>3.1 предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.</p>	<p>В качестве наиболее распространенной ЧС в лаборатории рассмотрен пожар. Необходимо описать возможные причины данной ЧС, рассмотреть мероприятия по предотвращению ЧС и составить план действий на случай, если ЧС уже произошла.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователей</p>	<p>1 Рассмотреть нормы правовые нормы трудового законодательства для работника лаборатории, а также нормы по компоновке рабочего места в лаборатории.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Мельников Александр Алексеевич		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает 105 страниц текстового материала, 29 рисунка, 24 таблицы, 51 источников, 16 приложения.

Ключевые слова. Буровой раствор, реологические параметры, карбоксиметил крахмал, полианионная целлюлоза, вязкость при низкой скорости сдвига.

Объект исследования. полисахаридные понизители фильтрации биополимерных буровых растворов.

Цель работы. исследовать реологические и фильтрационные свойства биополимерных буровых растворов первичного вскрытия.

Результаты исследования. Были произведено исследование различных понизителей фильтрации, а именно: ПАЦ НВ, Термпак, Реатрол, Флотрол, КМК в системе биополимерного раствора.

Методы проведения исследования. Производилось измерение реологических параметров до и после воздействия температуры растворов с одинаковой рецептурой, но с различным понизителем фильтрации.

Область применения. Растворы первичного вскрытия

ABSTRACT

The master's thesis includes. 105 pages of text material, 29 figures, 24 tables, 51 sources, 16 appendix.

Keywords. Drilling fluid, rheological parameters, carboxymethyl starch, polyanionic cellulose, low shear viscosity.

Object of research polysaccharide reducers of filtration of biopolymer drilling fluids.

Purpose of work to investigate the rheological and filtration properties of biopolymer drilling fluids for primary opening

Research results. A study was made of various lowering agents for filtration, namely: PAC NV, Term-pack, Reatrol, Flotrol, KMC in a biopolymer solution system.

Research methods. The rheological parameters were measured before and after exposure to the temperature of solutions with the same recipe, but with a different filtration reducer.

Application area. Initial opening oil reservoir.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

КМК – карбоксиметилкрахмал

КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза

КМЦ НВ – карбоксиметилцеллюлоза низковязкая

ПАЦ НВ – полианионная целлюлоза низковязкая

СНС – статическое напряжение сдвига

ДНС – динамическое напряжение сдвига

РV – пластическая вязкость

УР – динамическая вязкость

РПВ – растворы первичного вскрытия

РУО – буровые растворы на водной основе

АНИ – Американского нефтяного института

Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор	16
1.1 Модифицированные природные полимеры	17
1.1.1 Карбоксиметилцеллюлоза и полианионная целлюлоза	18
1.1.2 Карбоксиметилкрахмал	21
1.2 Фильтрационные свойства буровых растворов	23
1.2.1 Теория фильтрации.....	24
1.2.2 Влияние различных факторов на фильтрационные свойства буровых растворов на водной основе, содержащих КМК и ПАЦ	26
1.3 Вывод по литературному обзору	32
2 Методы исследований.....	34
2.1 Методика проведения исследований	34
2.1.1 Фильтрационно-коркообразующие свойства	34
2.1.2 Определение реологических свойств.....	35
2.2 Оборудование для приготовления моделей буровых растворов	35
2.3 Определение реологических свойств буровых растворов.....	37
2.3.1 Измерение реологических свойств вискозиметром OFITE	37
2.4 Определение фильтрационных свойств буровых растворов	38
2.4.1 Определение фильтрационных свойств с помощью фильтр-пресса низкого давления и температуры OFITE	38
2.5 Вакуумирование струйным насосом	40
2.6 Измерение вязкости при низкой скорости сдвига вискозиметром Брукфильда.....	40
3 Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.....	42
4 Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1 SWOT-анализ.....	43
4.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	49
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	49
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	50

4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	51
4.2.5	Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты для проведения научных исследования и экспериментальных работ	55
4.2.6	Затраты по основной заработной плате	55
4.2.7	Отчисления в государственные внебюджетные фонды	58
4.2.8	Накладные расходы	59
4.2.9	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта	59
5	Социальная ответственность	61
5.1	Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования в производственных условиях.....	62
5.2	Вредные и опасные факторы, возникающие в лабораторном помещении при проведении исследований	62
5.3	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	63
5.4	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	67
5.5	Экологическая безопасность	69
5.5.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	69
5.5.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	71
5.5.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	72
5.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
5.6.1	Анализ вероятных ЧС, инициируемых объектом исследования	73
5.6.2	Анализ вероятных ЧС, возникающих в лаборатории при проведении исследований и обоснование мероприятий по их предотвращению	74
5.7.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для рабочей зоны исследователя	77
5.7.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	80
	Заключение	82

Список литературы	83
Приложение I	89

Введение

Успешное заканчивание нефтяной или газовой скважины и ее стоимость в значительной степени зависят от выбранного типа бурового раствора и его свойств. Буровой раствор влияет на качество вскрываемого пласта, оценку флюида в пласте и последующую производительность скважины. В некоторых случаях, когда параметры буровой промывочной жидкости не входят в рамки регламентированных значений, возможен необоснованный отказ от дальнейшей эксплуатации скважины в силу того, что не удастся точно оценить реальное содержание нефти или газа в пласте. Пласт может быть загрязнен частицами твердой фазы бурового раствора, либо закупорен полимерами, входящими в его состав. Из этого следует, что выбор правильного типа бурового раствора, способного минимизировать повреждение коллекторских свойств пласта, является краеугольным камнем экономически выгодного бурения. Для обеспечения минимальной степени физико – химического взаимодействия в системе «буровой раствор – продуктивный пласт» используются специальные промывочные жидкости, называемые также растворы первичного вскрытия (РПВ). Их отличительной особенностью является минимально возможное содержание инертной твердой фазы (барит, песок, глина). Из твердой фазы в состав РПВ может входить только кислоторастворимый мраморный кольматант, фракционный состав которого подбирается в зависимости от размера пор продуктивного пласта. В состав бурового раствора первичного вскрытия также входят правильно подобранные химические реагенты, контролирующие фильтрацию промывочной жидкости, которые либо биоразлагаемы, либо поддаются обработке кислотой или разрушителями фильтрационной корки. Наиболее распространенные реагенты, обеспечивающие контроль фильтрации РПВ – полисахариды, в частности модификации крахмала и полианионная целлюлоза. Исследованию влияния данных реагентов на фильтрационные и реологические свойства РПВ посвящена данная работа.

1 Литературный обзор

Предъявляемые к промывочным жидкостям требования постоянно расширяются, а вместе с ними претерпевают изменения их рецептуры, физико-механические и химические свойства: от «буровой грязи» (в начале возникновения бурения в III-IV вв. – бурение неглубоких скважин в середине XX вв.) до сложных многокомпонентных систем с регулируемыми в широком диапазоне технологическими свойствами, применяемых в настоящее время. Это буровые растворы на водной, углеводородной основах и газообразные растворы, пены [1].

Основной областью применения растворов на углеводородной основе (РУО) является вскрытие продуктивных нефтяных горизонтов с низким пластовым давлением, также они применяются при бурении скважин в условиях высоких положительных и отрицательных значений забойных температур, проходки соленосных толщ и высокопластичных глин. Область их применения связана с их свойствами. По сравнению с буровыми растворами на водной основе они обладают рядом преимуществ: высокая стабильность во времени (можно длительно хранить и многократно использовать), инертность к глинам и солям, высокая термостойкость (до 220 °С), практически не фильтруются в проницаемые пласты, а их фильтрат не оказывает вредного воздействия на продуктивные нефтяные пласты. Однако, не смотря на такое количество положительных качеств, широкое применение РУО сдерживают ряд значительных недостатков: высокая стоимость, трудность очистки шлама, трудность проведения электрометрических работ, токсичность и экологическая вредность.

Основой для газообразных промывочных агентов служат природный газ, выхлопные газы ДВС, сжатый воздух. Они могут быть эффективно использованы при бурении скважин в твердых породах (известняках, доломитах), многолетнемерзлых породах, в поглощающих горизонтах, при вскрытии продуктивных пластов с низким давлением (0,3-0,8

гидростатического) [18]. Данные растворы не получили широкого распространения из-за трудности в приготовлении и регулировании их свойств, ограниченной области применения.

Буровые растворы на водной основе (РВО) являются наиболее часто применяемым раствором для бурения во всем мире. Главными недостатками буровых растворов на водной основе являются их взаимодействие с глинами (наиболее часто разбурывающиеся породы), высокая фильтрация. Применение различных рецептур с применением специальных реагентов позволяет адаптировать РВО для различных условий бурения.

В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов на водной основе занимают полимер-глинистые и биополимерные растворы, где реологические и фильтрационные свойства регулируются полисахаридными реагентами, такими как карбоксиметилированные крахмал и целлюлоза, ксантановая смола и водорастворимые крахмалы [1, 2]. Несмотря на сходство состава полисахаридов, их можно разделить по основной функции на структурообразователи (ксантан, КМЦ высокомолекулярная и др.) и понизители фильтрации (крахмал, низкомолекулярные КМЦ и КМК и др.) [3-5].

1.1 Модифицированные природные полимеры

Модифицированные природные полимеры широко применяются при приготовлении буровых растворов. Целлюлоза и крахмал – это природные полимеры, которые часто используют для производства модифицированных полимеров. Свойства модифицированных полимеров отличаются от свойств естественных полимеров. Чтобы неионные естественные полимеры (целлюлозу или крахмал) можно было использовать в буровых растворах, так как они не растворяются в воде, их модифицируют в полиэлектролиты. Модификация полимеров заключается в изменении повторяющихся составных частей полимеров. Полиэлектролит – это растворимый в воде

полимер, образующий полиионы и ионы с противоположными знаками заряда. Полион имеет несколько электрических зарядов вдоль своей полимерной цепочки. Заряды могут быть положительными, как у катионных полимеров, или отрицательными, как у анионных полимеров. Есть несколько примеров катионных полимеров, однако большинство используемых в бурении полимеров имеют отрицательный заряд. В качестве модифицированных природных полимеров, применяемых в качестве понизителей фильтрации, будут рассмотрены исследуемые в данной работе карбоксиметилированные крахмал и целлюлоза.

1.1.1 Карбоксиметилцеллюлоза и полианионная целлюлоза

Целлюлоза – природный полимер, нерастворимый в воде. Сырьем для производства служит древесина различных пород деревьев, хлопок, также исследуются возможности получения целлюлозы из льна [11] и нетрадиционных источников, таких как абак, джут, сизаль, мискантус [20]. Чтобы использовать целлюлозу в качестве добавки к буровым растворам, ее модифицируют в КМЦ (карбоксиметилцеллюлозу). КМЦ – пример одного из полиэлектролитов. На рисунке 1 и 2 показан процесс модификации повторяющейся кольцевой структуры целлюлозы путем введения в нее анионной карбоксиметил-группы. После такой обработки модифицированный полимер становится растворимым благодаря анионной группе.

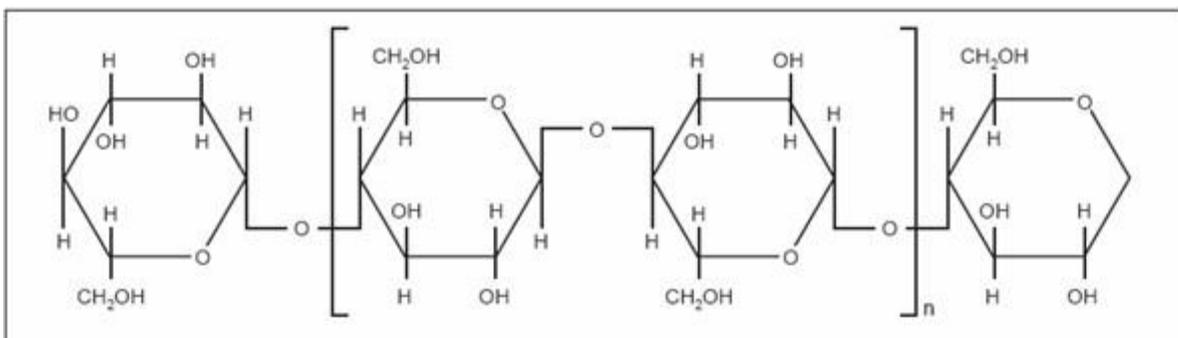


Рисунок 1 – Целлюлоза

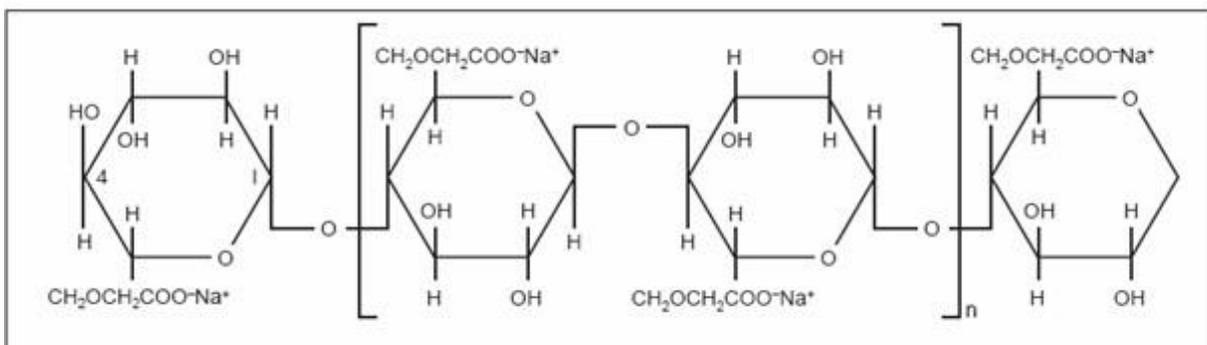


Рисунок 2 – Натриевая КМЦ со степенью замещения 1,0

Карбоксиметилцеллюлоза образуется при реакции натриевой соли монохлоруксусной кислоты ($\text{ClCH}_2\text{COONa}$) с целлюлозой. Чаще всего при формировании растворимого полиэлектролита происходит замещение группы ($-\text{CH}_2\text{OH}$).

Степень полимеризации отражает число повторов кольцевой структуры. Кольцевая структура является основной структурой полимера. Чем выше степень полимеризации, тем выше молекулярный вес.

Натриевая КМЦ обычно выпускается в трех основных модификациях, отличающихся такими свойствами как вязкость, способностью поддерживать взвесь и снижать водоотдачу – это высоковязкая КМЦ, низковязкая КМЦ или КМЦ средней вязкости. У высоковязкой КМЦ более высокий молекулярный вес, чем у низковязкой КМЦ, следовательно выше степень полимеризации КМЦ, поэтому выше вязкость и ниже фильтрация [6]. Интересно заметить, проведенные исследования в работе [15] показывают, что смешивание различных по вязкости эфиров целлюлозы позволяет получать композиции с требуемыми реологическими свойствами и показателем фильтрации.

Степень замещения отражает количество замещений в пределах одной повторяющейся кольцевой структуры. Степень замещения характеризует растворимость и устойчивость к солям жесткости [6], что подтверждено в работе [10]. На иллюстрации к натриевой КМЦ в каждой кольцевой структуре показано по одному замещению. Это означает, что степень замещения равна

1. В описанном выше примере замещались только группы метил-гидроксила (-CH₂OH). Замещаться могли бы и две гидроксил- группы (-OH), что дало бы степень замещения 3. Полимеры становятся растворимы в воде при степени замещения 0,45. Степень замещения КМЦ обычно равна 0,7-0,8. Степень замещения высоковязкой КМЦ та же, что и у КМЦ с низкой и средней вязкостью; они отличаются только степенью полимеризации. КМЦ с относительно высокой степенью замещения часто называется полианионной целлюлозой (ПАЦ). У полианионной целлюлозы то же химическое строение и степень полимеризации, что и у КМЦ; отличает эти два полимера только степень замещения. Обычно степень замещения полианионной целлюлозы равна 0,9- 1,0. Полимеры с большей степенью замещения растворяются лучше, чем КМЦ. Также, несмотря на небольшие различия состава и структуры данных полимеров, ПАЦ НВ является более соле- и термостойким реагентом, что значительно расширяет диапазон его применения.

Свойства реагентов КМЦ и ПАЦ на 80% зависят от качества исходного сырья (в основном от степени полимеризации и содержания основного вещества – альфа целлюлозы) [11], степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении (например, ингибиторов термоокислительной деструкции [21], солестойкости, бактерицидов) и чистоты конечного продукта.

Множество фирм-производителей как в России, так и за рубежом, производят реагенты КМЦ и ПАЦ, обладающих различными свойствами.

В качестве понизителей фильтрации в современных рецептурах буровых растворов в основном применяются КМЦ НВ со степенью замещения около 85 и ПАЦ НВ с замещением более 90 и большим содержанием основного вещества по сравнению с КМЦ НВ [8, 9].

1.1.2 Карбоксиметилкрахмал

Крахмал – природный полимер, получаемый из самых разнообразных растений и зерновых культур; основным источником крахмала для буровых растворов – кукуруза и картофель. Крахмал состоит из двух полисахаридов: амилозы и амилопектина. Амилоза, представляющая собой цепочку кольцевых углеводов, служит остовом молекулы крахмала. Амилопектин – хорошо разветвленная цепь кольцевых углеводов, отходящих от остова – амилозы. Пропорция между амилозой и амилопектином определяет свойства крахмала (чем больше содержание амилозы, тем больше устойчивости к жесткости воды и больше термостабильности, сильнее загущается раствор).

Самый большой недостаток крахмалов – их подверженности брожению. Молекулярное строение крахмала и целлюлозы похоже, но основные элементы крахмала имеют некоторое различие. Кислородные связи между элементами крахмала в основном типа альфа, а целлюлозы – типа бета. Такое незначительное различие является причиной бактериальной деструкции крахмала и устойчивости к ферментации целлюлозы и их простых эфиров. Еще один недостаток крахмала – низкая термостабильность. Крахмал быстро портится при длительном воздействии температуры выше 102°C. В некоторых условиях биоразложение крахмала протекает более интенсивно. Наиболее сильное биоразложение наблюдается там, где при приготовлении раствора использовалась вода, содержащая большое количество микроорганизмов. Наихудший источник воды – это застойные пруды; однако загрязненной может считаться вода также из любых ручьев и рек. Размножение бактерий ускоряется при высокой температуре, нейтральном уровне pH и в условиях пресной воды. Активность бактерий в солевых растворах с высоким pH не так велика, однако время от времени все же имеет место.

Модификацию в карбоксиметил-крахмал, а также введение различных добавок при изготовлении, проводят с целью изменения его свойств (степень влияния на реологические, фильтрационные свойства бурового раствора, повышение термостабильности, стойкости к биодеструкции). Свойства КМК также зависят от свойств исходного сырья, что показано в работе [23].

Как и КМЦ, карбоксиметил-крахмал подвергается замещению гидроксиметил-групп у любой из двух гидроксил-групп кольцевой структуры. Как и у КМЦ, наиболее часто замещение происходит у гидроксиметил-группы (рисунок 3).

Разработаны технологии физического модифицирования крахмальных реагентов, в частности, экструзионного набухающего крахмала, описанные в работах [13,16].

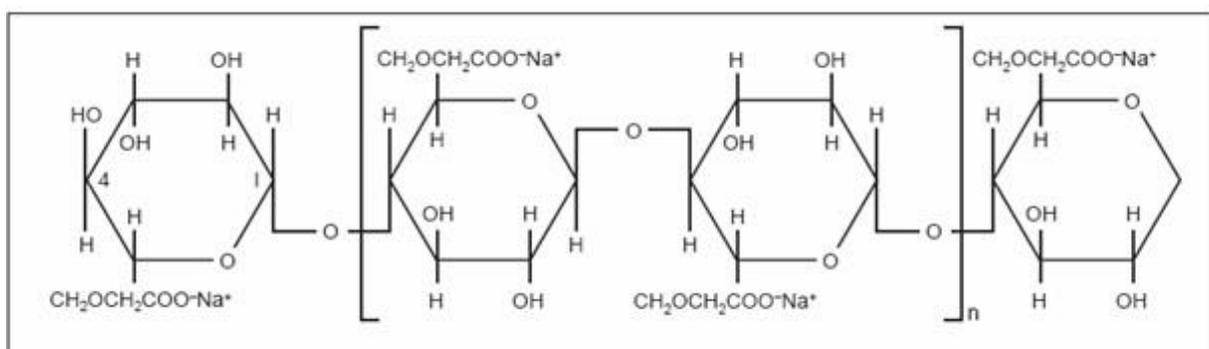


Рисунок 3 – КМК со степенью замещения 1,0

Понижители фильтрации на основе крахмала в настоящий момент применяются ограниченно, в основном для вскрытия продуктивных пластов, из-за свойств формируемой фильтрационной корки – она подвержена биодеструкции и/или воздействию кислот, что позволяет минимизировать влияние на фильтрационно-емкостные свойства коллектора. В остальных случаях производные крахмала как понижители вязкости применяются в составе солевых растворов, что снижает их биодеградацию.

1.2 Фильтрационные свойства буровых растворов

Процессы фильтрации играют одну из главных ролей для сохранения проницаемости пород продуктивного пласта, а также для предупреждения аварий и осложнений [6]. При репрессии на пласт твердая фаза бурового раствора проникает в околоствольную зону с образованием фильтрационной корки, через которую проходит фильтрат (рисунок 4).

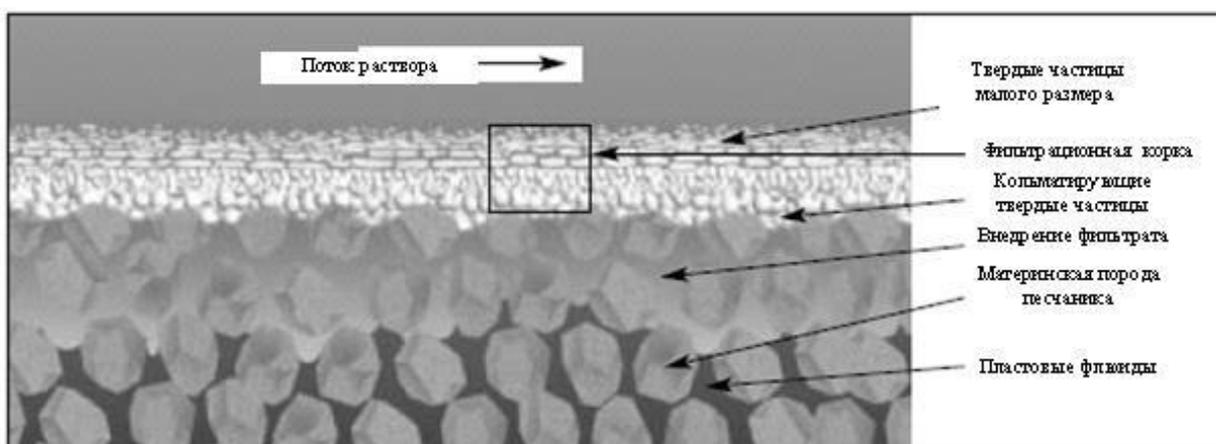


Рисунок 4 – Фильтрация

Фильтрационная корка, обладающая высокой проницаемостью, увеличивается в размерах, что снижает эффективный диаметр скважины и может привести к таким осложнениям, как чрезмерно высокий момент при вращении колонны, увеличение поршневания и свабирования при спуско-подъемных операциях и повышение гидравлического сопротивления (возможны осыпи и обвалы), увеличению вероятности дифференциального прихвата и затяжек колонны [7]. Также существуют потенциальные проблемы, связанные с избыточным внедрением фильтрата – ухудшение коллекторских свойств (образование нерастворимых соединений, изменения смачиваемости, изменения относительной проницаемости по нефти и газу, закупоривание пласта мельчайшими частицами твердой фазы или набухание глин на месте залегания); неверные результаты, полученные при испытаниях на фильтрацию; трудности при оценке параметров продуктивного пласта (избыточное внедрением фильтрата, слабая передача электрических свойств

через толстую фильтрационную корку); вероятность необнаружения нефтеносных и газоносных зон.

При бурении нефтяной скважины проявляются два вида фильтрации – статическая и динамическая. Динамическая фильтрация происходит в условиях циркуляции бурового раствора, тогда как статическая фильтрация протекает при других условиях – во время наращивания, СПО и при отсутствии циркуляции. Фильтрационные свойства буровых растворов обычно оцениваются и регулируются на основании испытания на фильтрационные потери по методике Американского Нефтяного Института (АНИ). Испытания по стандартам АНИ – на фильтрационные потери, происходящие при низком давлении и низкой температуре, высокотемпературную фильтрацию, протекающую при высоком давлении, а также замеры толщины фильтрационной корки – все эти испытания проводятся в статических условиях.

1.2.1 Теория фильтрации

На начальной стадии воздействия раствора на проницаемую породу, когда твердые частицы откладываются, образуя на стенках ствола скважины низкопроницаемую фильтрационную корку, фильтрационные потери высоки, и мельчайшие частицы бурового раствора быстро проникают в породу. Этот вид фильтрации называется мгновенными потерями (мгновенной фильтрацией).

Статическая фильтрация протекает при статических условиях, т.е. в то время, когда раствор не циркулирует. Скорость фильтрации в данных условиях регулируется несколькими факторами. С помощью закона Дарси, классической модели потока жидкости, можно определить факторы, влияющие на фильтрацию (рисунок 5).

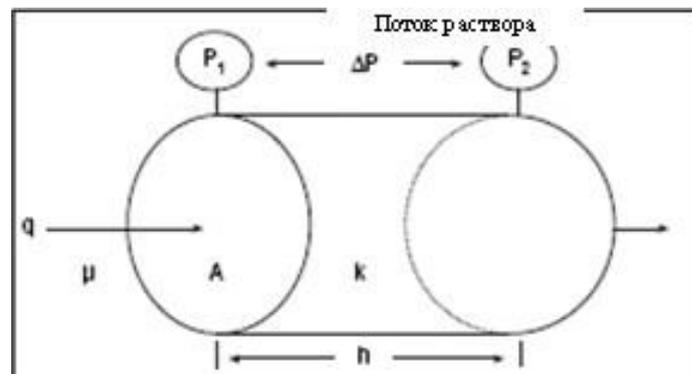


Рисунок 5 – Приток жидкости по закону Дарси

Закон Дарси может быть представлен в виде следующего уравнения:

$$q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta P}{\mu h}, \quad (1)$$

где q – скорость фильтрации, см³/сек;

k – проницаемость, дарси;

A – площадь поперечного сечения, см²;

ΔP – перепад давления, атм;

μ – вязкость фильтрата, сП;

h – толщина фильтрационной корки, см.

Исходя из данного уравнения, фильтрационные потери будут низкими при низком значении проницаемости фильтрационной корки и низкой разности давления. Фильтрация будет снижаться при увеличении вязкости фильтрата и повышении толщины корки, если более толстая фильтрационная корка будет иметь такое же значение проницаемости.

Образуемая в статических условиях толщина фильтрационной корки увеличивается с течением времени, но скорость формирования со временем снижается. Как было сказано выше, фильтрационная корка большой толщины может стать причиной осложнений и аварий при строительстве скважины. По этой причине регулирование статической фильтрации есть первоочередная

задача. Желательно, чтобы значение этой величины поддерживалось на как можно более низком уровне.

Динамическая фильтрация отлична от фильтрации, которая имеет место в статических условиях, и ее скорость, обычно, значительно превосходит скорость статической фильтрации. Фильтрационные корки, образующиеся в динамических и статических условиях, отличаются тем, что первые оказываются тоньше и прочнее. Прямая корреляционная зависимость между фильтрационными потерями в статических условиях, которая определяется по методике АНИ и значениями высокотемпературной фильтрации под высоким давлением (НТНР) в статических и динамических условиях, отсутствует. Как показывает опыт, буровой раствор, который обладает хорошими фильтрационными свойствами и устойчивостью при статической фильтрации, будет эффективен и в условиях динамической фильтрации в скважине.

1.2.2 Влияние различных факторов на фильтрационные свойства буровых растворов на водной основе, содержащих КМК и ПАЦ

Для регулирования фильтрационных свойств бурового раствора его обрабатывают полимерными реагентами – понизителями фильтрации. Снижение водоотдачи при их применении достигается за счет:

- перекрытия отверстия в фильтрационной корке частицами полимера;
- инкапсулирования твердой частицы, создавая более крупную, поддающуюся деформации оболочку или пленку, которая снижает проницаемость фильтрационной корки;
- загущения жидкой фазы бурового раствора.

Эффективность понизителей фильтрации, как полиэлектролитов, зависит от количества зарядов в полимерной цепочке. В свою очередь, количество зарядов зависит от следующих факторов:

- концентрации полимера;
- концентрации и распределение ионизируемых групп;
- содержания солей и жесткость воды;
- рН жидкости.

Если количество зарядов достаточно велико, полимер стремится развернуть цепочку вследствие взаимного отталкивания. В результате полимер полностью разворачивается, а расстояния между одноименными зарядами максимально увеличиваются. При разворачивании полимер открывает наружу максимальное число зарядов, что позволяет ему связывать частицы глины и загущать жидкую фазу раствора.

Влияние концентрации полимера

Полимеры при растворении в водной фазе бурового раствора находятся в развернутом состоянии, при этом имеют вид не стержня, а завитка, что позволяет удалить одинаковые заряды полимера на максимальное расстояние. При малых концентрациях полимер формирует вокруг себя оболочку из 3-4 молекул воды в толщину. Между оболочками действует сила электростатического отталкивания, площадь поверхности оболочек увеличивается при разворачивании полимера. Величина площади поверхности водяной оболочки способствует влиянию полимера на вязкость раствора. При повышении концентрации полимера оболочка вокруг него уменьшается. По мере того, как все большее количество полимера стремится получить водяную оболочку из меньшего количества воды, растет вязкость раствора. Это происходит, когда полимеры переплетаются друг с другом в условиях ограниченного количества свободной воды.

Влияние концентрации полимера на увеличение вязкости подтверждаются по анализам опытных данных в многочисленных исследованиях, например, в [10] с ростом концентрации КМЦ и ПАЦ в

минерализованных, полимер-глинистых и минерализованных полимер-глинистых растворах вязкость возрастает вследствие возрастания межмолекулярного взаимодействия полимерных цепей, что закономерно снижает фильтрацию бурового раствора. В работе [17, 26] также подтверждается увеличение вязкости и снижение фильтрации при увеличении концентрации КМК в соленасыщенном полимер-глинистом и биополимерных растворах.

Влияние pH

Растворимость полимеров зависит от уровня pH, который зачастую определяет степень ионизации функциональных групп, расположенных вдоль полимерной цепочки. Ионизированная карбоксил-группа – это характерная особенность большинства анионных полимеров, среди которых КМЦ, КМК.

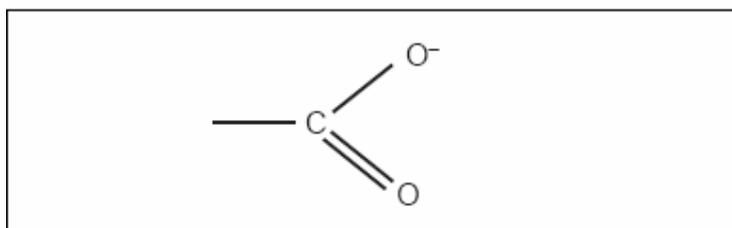


Рисунок 6 – Ионизированная карбоксил-группа

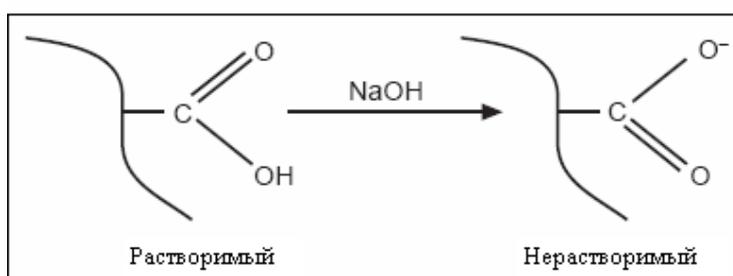


Рисунок 7 – Растворимость полимера

Как показано на рисунке 6, ионизированная карбоксил-группа имеет у конечного атома углерода один атом кислорода с двойной связью и один – с одинарной. Ионизация происходит при реакции между карбоксил-группой и

щелочным материалом, например, каустической содой. Полимер становится растворимым при ионизации прежде нерастворимой карбоксил- группы (рисунок 7). Натриевая карбоксил-группа притягивает воду за счет электрических зарядов, расположенных вдоль полимерной цепочки. При добавлении полимера в воду из полимерной цепочки освобождается ион натрия, оставляя после себя отрицательный заряд. Полимер стал анионным, он способен к гидратации. По мере гидратации полимера растет водяная оболочка вокруг него и увеличивается вязкость.

Карбоксил-группы имеют наибольшую растворимость при рН от 8,5 до 9,5. Если уровень рН окажется в области кислот (менее 7), карбоксилат- группа возвратится в свой исходный вид – карбоксил – и полимер потеряет растворимость. При рН=11 и более КМЦ свертывается от избытка щелочи и выпадает в осадок [6], однако в работе [27] указывается, что КМЦ при значениях рН = 13 полностью остается в растворенном состоянии. Потеря растворимости полимера приведет к снижению вязкости, повышению фильтрации. Также при нейтральном уровне рН ускоряется размножение бактерий, при биоразложении снижается концентрация полимера и, следовательно, снижается вязкость и повышается фильтрация.

Влияние содержания соли и бивалентных катионов в растворе

Очень значимую роль при определении эффективности полимера играет соленость бурового раствора. Соль ограничивает разворачивание и расширение полимеров, вместо этого они приобретают компактную шарообразную форму, при этом уменьшается растворимость полимера. Данное явление является результатом «борьбы» молекул-полимеров за воду, так как соль снижает количество свободной воды, необходимой для гидратирования и расширения полимера. После добавления соли в пресный буровой раствор с полностью раскрытыми полимерами происходит скачкообразный рост вязкости. Соль, растворяясь, забирает воду у полимеров, поэтому раствор непродолжительное

время теряет стабильность и произойдет рост вязкости. Полимеры начинают переплетаться с частицами шлама и другими полимерами, при этом они становятся меньше и снова приобретают начальную шарообразную форму и происходит значительное снижение вязкости. Эффективность полимеров соленых условиях снижена, однако данный недостаток устраняется увеличением концентрации полимера. Например, для применения ПАЦ в условиях большого содержания солей концентрацию этих полимеров необходимо увеличить вдвое.

Бивалентные ионы, такие как кальций и магний, оказывают огромное влияние на параметры бурового раствора. Как и ион натрия, который тоже гидратирует и снижает количество доступной свободной воды, ионы кальция и магния гидратируют еще более интенсивно. При этом снижается степень гидратации полимеров.

В работе [10] проведены исследования солестойкости реагентов на основе КМЦ и ПАЦ. Установлено, что КМЦ может быть эффективно использован в минерализованных растворах, содержащих соли Са и Mg в концентрации 0,5%, в то время как ПАЦ – 1-1,5%, при этом с добавлением солей Са и Mg вязкость водных растворов КМЦ и ПАЦ снижается. Превосходство ПАЦ по сравнению с КМЦ в устойчивости к агрессии солей одно- и двухвалентных металлов в пресном, соленасыщенном и высокоминерализованном растворах также подтверждено в работе [12].

Согласно [18] КМК, КМЦ отнесены к солестойким реагентам, устойчивым к более 10% NaCl по содержанию в растворах.

Температура

С повышением температур реологические и фильтрационные свойства буровых растворов претерпевают значительные изменения. Пластическая вязкость снижается по причине снижения вязкости дисперсионной среды, уменьшения степени гидратации, интенсификации броуновского движения и

др, увеличивается фильтрация жидкой фазы. Это можно увидеть из опытных данных в работе с биополимерным раствором, содержащем КМЦ [22] и КМК [24] – при повышении температуры и давления снижаются реологические свойства раствора и увеличивается фильтрация.

К этому также приводит ухудшение свойств понизителей фильтрации в следствие их термодеструкции. После длительного выдерживания при высоких температуре и давлении буровые растворы, как правило, свои показатели не восстанавливают. Температурный предел устойчивости для крахмала, эфиров целлюлозы со степенью полимеризации 300 – 130°C; для эфиров целлюлозы с полимеризацией 500 и более – 160°C; для эфиров целлюлозы со степенью полимеризации 500 и более и антиокислителями – 190 °C [18].

Также ускоряется размножение бактерий с повышением температуры.

Влияние микроорганизмов, кислот

Основными преимуществами полисахаридов, по сравнению с другими классами химических реагентов (акриловыми, лигносульфонатными) для буровых растворов являются их минимальное воздействие на коллекторские свойства продуктивного пласта за счет легкой и полной деструкции при кислотных ОПЗ или биологической деструкции. Однако это преимущество является и одним из существенных недостатков. При биодеструкции раствора одновременно ухудшаются показатели реологических свойств и значения фильтрации. Для снижения восприимчивости раствора к биодеструкции дополнительно применяются бактерициды [19].

Согласно результатам экспериментальных исследований [12], ПАЦ по сравнению с КМЦ обладает повышенной стойкостью к биоразложению в пресном, соленасыщенном и высокоминерализованном растворах. Также биостойкость различных целлюлозосодержащих реагентов исследовалась в

работе [25]. КМК более подвержен бактериальной деструкции, чем КМЦ и ПАЦ, из-за альфа кислородных связей между элементами крахмала.

1.3 Вывод по литературному обзору

Резюмируя приведенный обзор можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов составляют полимер-глинистые и биополимерные растворы, где для регулирования фильтрационных свойств применяются полисахаридные модифицированные реагенты на основе крахмала и целлюлозы.

2. Свойства реагентов КМК и КМЦ (солестойкость и термостойкость, стойкость к биодеструкции, растворимость) зависят от качества исходного сырья, степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении и чистоты конечного продукта. Термо- и биостойкость КМК ниже, чем у КМЦ и ПАЦ (при этом эти свойства ПАЦ превосходят свойства КМЦ); КМК и КМЦ являются солестойкими реагентами.

3. Чем большую проницаемость имеет фильтрационная корка, тем выше фильтрация и ее толщина. Необходимо поддерживать фильтрацию и проницаемость корки на как можно более низком уровне, для избежания загрязнения пластов, аварий и осложнений в процессе строительства скважин. Для этих целей применяются понизители фильтрации КМК и КМЦ. Снижение водоотдачи при их применении достигается за счет перекрывания отверстия в фильтрационной корке увеличенными деформируемыми инкапсулированными твердыми частицами и частицами полимера; загущением жидкой фазы бурового раствора. На эффективность КМК и КМЦ в растворах влияет концентрация полимера, уровень рН, содержание солей, микроорганизмов, температура.

Поставленной проблемой является необходимость снижения стоимости используемых в буровых растворах полисахаридных реагентов.

Для решения этой задачи необходимо исследовать возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и как альтернативы более дорогим реагентам на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ и ПАЦ). Изучение различных литературных источников позволяет сделать вывод, что полноценных исследований, подтверждающих эффективность и возможность замены ПАЦ и КМЦ, на КМК проведено не было. В соответствии с целью работы, а также с учетом вопросов, возникших при проведении обзора, определены основные исследовательские задачи:

1. Для определения области применения КМК и КМЦ оценить устойчивость данных реагентов к воздействию солей, температур и биологической деструкции в полимер-глинистом пресном, полимер-глинистом минерализованном, биополимерном безглинистом хлоркалийевом растворах посредством измерения фильтрационных и реологических свойств буровых растворов после соответствующих воздействий.

2. Сделать выводы об эффективности реагентов и возможности замены КМЦ на КМК.

2 Методы исследований

Для определения возможности замены реагентов на основе ПАЦ на КМК, необходимо определить и сравнить их эффективность в пресных и минерализованных моделях буровых растворов, устойчивость к действию температур, биоразложению. Эффективность оценивается через определение фильтрационных и реологических свойств. Методами исследований являются инструментальные методы определения параметров буровых растворов по ГОСТ 33213-2014 и РД 39-00147001-773-2004 (фильтрационные и реологические свойства).

2.1 Методика проведения исследований

В качестве исследуемых реагентов применяются полианионная целлюлоза низкой вязкости, Реатрол, Флотрол, Thermpac UL и карбоксиметилкрахмал (BUR-L). Thermpac UL – минимально влияющий на вязкость КМК, альтернатива ПАЦ в растворах, требующих хороший контроль над водоотдачей при низких реологических параметрах, термостабильность до 149 °С, не нужен бактерицид, наиболее эффективен в растворах с содержанием Cl^- до 20 000 мг/л и Ca^{2+} до 800 мг/л, при любом уровне рН. Рецептуры исследуемых буровых растворов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Модельные системы буровых растворов

Рецептура раствора
1) 0,05 % NaOH
2) 8% хлорид калия
3) 0,4% ксантан (ОНК, КИТАЙ), 20 минут верхнеприводная мешалка 1000 об/мин
4) 1% понизитель фильтрации, 20 минут верхнеприводная мешалка 1000 об/мин
5) 5% карбонат кальция 10 микрон, 10 минут перемешивание
Эксперимент 1: Понизитель фильтрации ПАЦ НВ (Бийск)
Эксперимент 2: Понизитель фильтрации Flo - Trol
Эксперимент 3: Понизитель фильтрации КМК
Эксперимент 4: Понизитель фильтрации Thermpac UL
Эксперимент 5: Понизитель фильтрации Реатрол

2.1.1 Фильтрационно-коркообразующие свойства

Для определения фильтрационных свойств моделей буровых растворов

применяется стандартный фильтр-пресс низкого давления и низкой температуры.

Фильтрационно-коркообразующие свойства буровых растворов традиционно оценивают показателем фильтрации и толщиной фильтрационной корки.

Показатель фильтрации F [$\text{см}^3/30$ мин] равен объему фильтрата, который проходит через фильтрационную корку диаметром 75 мм, при заданном перепаде давления P за 30 минут

2.1.2 Определение реологических свойств

Для исследуемых буровых растворов с концентрацией понизителя фильтрации 1% определяются следующие реологические свойства: пластическая вязкость (PV), динамическое напряжение сдвига (YP), СНС 10 с/10мин. Для определения данных параметров применяется ротационный вискозиметр.

2.2 Оборудование для приготовления моделей буровых растворов

Для приготовления и перемешивания растворов применяется верхнеприводная мешалка Акрос ES-8300D (рисунок 8).



Рисунок 8 – Верхнеприводная мешалка Акрос ES-8300D

Для определения точной массы добавляемых реагентов при приготовлении растворов применяются электронные лабораторные весы (рисунок 9).



Рисунок 9 – электронные весы Massa-K BK-600.1

При приготовлении растворов требуется поддерживать определенный уровень pH и для его измерения применяется pH-метр pH- 150МИ (рисунок 10), также им можно мерить температуру раствора.

Прибор представляет собой комплект из преобразователя, блока сетевого питания, термодатчика и комбинированного электрода.

Измерение pH проводится путем погружения термодатчика и электрода в раствор на глубину не менее 30 мм. Перед погружением электрод и термодатчик должны быть промыты и высушены.



Рисунок 10 – pH-метр pH-150МИ

2.3 Определение реологических свойств буровых растворов

2.3.1 Измерение реологических свойств вискозиметром OFITE

Вискозиметр OFITE-900 (рисунок 11) – это ротационный вискозиметр, являющийся портативным и автоматизированным прибором, предназначен для определения реологических свойств буровых и тампонажных растворов, а также жидкостей для гидроразрыва пласта.



Рисунок 11 – Вискозиметр OFITE-900

Принцип действия основан на измерении угла закручивания торсионной пружины. Закручивание обуславливается возникновением крутящего момента на внутреннем цилиндре, который появляется в результате вращения внешнего в исследуемом растворе. Прибор функционирует под управлением программного обеспечения, находящегося в памяти измерительного блока, которое осуществляет сбор, передачу, обработку, и представление измерительной информации.

Методика измерения:

- убедиться в установке ротор-боба R1B2 и внешнего цилиндра, включить прибор;
- нажатием кнопки «Enter» выставляется прибор на «ноль»;
- налить буровой раствор в стакан до отметки;
- установить стакан в нагреватель;
- нагреватель установить в пазы подставки, поднять подставку таким образом, чтобы буровой раствор сравнялся с отметкой на внешнем цилиндре и закрепить ее;
- нажатием кнопки «Mud» прибор начнет измерение, через 14 мин списать показания пластической вязкости (PV), динамического напряжения сдвига (YP), значения СНС 10 сек/10 мин, температуру бурового раствора;
- при 12 фиксированных скоростях, посредством нажатия соответствующих кнопок, снять показания напряжений сдвига;
- выключить прибор, снять и промыть внешний цилиндр, ротор-боб, протереть термопару, затем снова собрать для проведения последующих измерений.

2.4 Определение фильтрационных свойств буровых растворов

2.4.1 Определение фильтрационных свойств с помощью фильтр-пресса низкого давления и температуры OFITE

Фильтр-пресс низкого давления OFITE (рисунок 12) состоит из ячейки для бурового раствора, узла создания давления, нижней крышки, сита для размещения фильтровальной бумаги, уплотнительных колец.



Рисунок 12 – Фильтр-пресс низкого давления и температуры OFITE
Методика проведения испытания часть ячейки, особенно сетка, чистая и сухая и что уплотнительные кольца не имеют повреждений;

собрать нижнюю часть ячейки:

1. убедиться, что каждая
1. с установкой уплотнительных колец, сетки и фильтровальной бумаги;
2. налить пробу бурового раствора в ячейку не доходя до края 1-1,5 см;
3. накрыть ячейку крышкой с узлом создания давления, установить в подставку, закрепить;
4. поместить сухой градуированный цилиндр под дренажную трубку для сбора фильтрата;
5. закрыть клапан сброса давления в ячейке, установить регулятор на значение давления 100 фунтов/дюйм² (0,7 МПа), сразу включить секундомер;
6. измерить объем фильтрата через 7,5 и 30 минут;
7. сбросить давление, снять ячейку со штатива и разобрать, аккуратно вынуть фильтровальную бумагу;
8. промыть фильтрационную корку под слабой струей воды, затем измерить ее толщину.

2.5 Вакуумирование струйным насосом

Насосы водоструйные серии SHB-III предназначены для создания вакуума в лабораторных условиях. Они применяются для перегонки, фильтрования, упаривания, осушения, сублимации и прочее. Насос вакуумный SHB-IIIА представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Насос вакуумный SHB-IIIА

После перемешивания на миксере Hamilton Beach в полученном растворе необходимо удалить воздух. Переливаем раствор в колбу для вакуумирования, крепим шланг к отверстию, закрывая колбу заглушкой, включаем вакуумный насос и откачиваем излишки воздуха, которые могут отразиться в измерении реологии бурового раствора.

2.6 Измерение вязкости при низкой скорости сдвига вискозиметром Брукфильда

Необходимость в измерении вязкости при низкой скорости сдвига обусловлена тем, что данный параметр обеспечивает удовлетворительный вынос шлама, благодаря которому не образовывается шламовая подушка. Измерение производится 3 минуты, со снятием данных каждую минуту.

Порядок работы на приборе:

- 1) Включаем прибор в розетку
- 2) Включаем питание на заднем корпусе вискозиметра
- 3) Освобождаем место крепления вискозиметра и шпинделя
- 4) Производим калибровку прибора при нажатии любой кнопки вискозиметра
- 5) Производим настройку скорости и выбор шпинделя путем нажатия кнопок «select spindle», «set speed» и стрелок.
- 6) Прикручиваем шпиндель к вискозиметру
- 7) Заполняем стакан 500 мл. буровым раствором. (стакан гладкостенный)
- 8) Погружаем шпиндель в буровой раствор до метки на шпинделе
- 9) После нажатия на кнопку «motor on» происходит замер необходимых параметров.

На рисунке 14 изображен вискозиметр Брукфильда.



Рисунок 14 – Вискозиметр Брукфильда

3 Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Из-за научной новизны информация в разделе не указывается

4 Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью магистерской диссертации является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы более дорогостоящим реагентам на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ). Для решения поставленной проблемы применяются аналитические методы и инструментальные средства исследования. Аналитические – проведение литературного обзора в рассматриваемой области, инструментальные – проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

В данной главе проведено планирование научно-исследовательских работ и приведен SWOT-анализ для выявления возможностей и угроз при реализации проекта.

4.1 SWOT-анализ

Первым этапом SWOT-анализа является поиск сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта и выявление возможностей и угроз для его реализации, которые могут появиться или уже появились в его внешней среде.

Полученные результаты SWOT-анализа первого этапа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Финансирование из бюджета;</p> <p>С2. Не требуется закупка материалов и оборудования;</p> <p>С3. Применение специализированного оборудования (тестер проницаемости OFITE, ротационный вискозиметр OFITE-900, рычажные весы OFITE, фильтр-пресс OFITE), верхнеприводная мешалка ES-8300D, лабораторный рН-метр рН-150МИ.</p> <p>С4. Применение высококачественных материалов и реагентов;</p> <p>С5. Персонал с высокой квалификацией.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Использование полисахаридных реагентов одного производителя (по типу реагента);</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности исследования КМК с высокой степенью замещения;</p> <p>Сл3. Возможные неточности вследствие многократного использования порций раствора.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем реагентов для буровых растворов;</p> <p>В3. Возникновение дополнительного спроса на исследование;</p> <p>В4. Получение гранта для продолжения исследований;</p> <p>В5. Удорожание схожих конкурентных исследований.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие интереса к результатам исследования;</p> <p>У2. Развитие конкуренции (создание новых реагентов и/или рецептур буровых растворов)</p> <p>У3. Снижение бюджета на исследование;</p> <p>У4. Неточность получаемых данных.</p>		

На втором этапе SWOT-анализа выявляется соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это поможет выявить необходимость проведения стратегических изменений.

Составленные интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4, 5, 6, 7.

Таблица 4 – Интерактивная матрица «возможности-сильные стороны»

Сильные стороны научно-исследовательского проекта						
Возможности		Сил 1	Сил 2	Сил 3	Сил 4	Сил 5
	Возм 1	-	-	-	-	+
	Возм 2	-	-	+	+	+
	Возм 3	-	-	-	-	-
	Возм 4	-	-	+	+	+
	Возм 5	+	+	-	-	-

В результате анализа интерактивной таблицы «возможности-сильные стороны» выделяются коррелирующие позиции: В1С5, В2С3С4С5, В3С3С4С5, В4С3С4С5, В5С1С2.

Таблица 5 – Интерактивная матрица «возможности-слабые стороны»

Слабые стороны научно-исследовательского проекта				
Возможности		Слаб 1	Слаб 2	Слаб 3
	Возм 1	-	-	-
	Возм 2	-	-	-
	Возм 3	+	+	-
	Возм 4	-	+	-
	Возм 5	-	-	-

Анализируя интерактивную таблицу «возможности-слабые стороны» выделяются следующие коррелирующие позиции научно-исследовательского проекта: В3Сл2, В4Сл2.

Таблица 6 – Интерактивная матрица «угрозы-сильные стороны»

Сильные стороны научно-исследовательского проекта						
Угрозы		Сил 1	Сил 2	Сил 3	Сил 4	Сил 5
	Угр1	-	-	-	-	-
	Угр 2	-	-	-	-	-
	Угр 3	-	+	-	-	-
	Угр 4	-	-	+	-	-

Результатами анализа матрицы «угрозы-сильные стороны» является выделение следующих сильно коррелирующих угроз и сильных сторон: У2С5, У3С2, У4С3.

Таблица 7 – Интерактивная матрица «угрозы-слабые стороны»

Слабые стороны научно-исследовательского проекта				
Угрозы		Слаб 1	Слаб 2	Слаб 3
	Угр 1	+	+	-
	Угр 2	+	+	-
	Угр 3	-	-	-
	Угр 4	-	-	+

В результате анализа интерактивной таблицы «угрозы-слабые стороны» можно выделить следующие соответствия: У1Сл1Сл2, У2Сл1Сл2, У4Сл3.

На третьем этапе анализа составляется итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 8).

Таблица 8 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Финансирование из бюджета; С2. Не требуется закупка материалов и оборудования; С3. Применение специализированного оборудования (тестер проницаемости OFITE, ротационный вискозиметр OFITE-900, рычажные весы OFITE, фильтр-пресс OFITE), верхнеприводная мешалка ES-8300D, лабораторный pH-метр pH-150MI. С4. Применение высококачественных материалов и реагентов; С5. Персонал с высокой квалификацией.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Использование полисахаридных реагентов одного производителя (по типу реагента); Сл2. Отсутствие возможности исследования КМК с высокой степенью замещения; Сл3. Возможные неточности вследствие многократного использования порций раствора.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем реагентов для буровых растворов; В3. Возникновение дополнительного спроса на исследование; В4. Получение гранта для продолжения исследований; В5. Удорожание схожих конкурентных исследований.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «возможности-сильные стороны»: В1С5 – для исследования проекта применяются лаборатории ТПУ, допуск к которым имеет квалифицированный персонал; В2С3С4С5 – исследования, проводимые квалифицированным персоналом с применением специализированного оборудования и высококачественных материалов и реагентов, возможно, будут востребованы предприятием-изготовителем реагентов. В4С3С4С5 – получение гранта связано с актуальностью решаемой проблемы при участии квалифицированного персонала, наличием оборудования и материалов для работы. В5С1С2 – удорожание исследований конкурентов, вследствие финансирования исследований из бюджета и отсутствия необходимости закупки материалов и оборудования.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «возможности-слабые стороны»: В3Сл1Сл2 – возможно появление дополнительного спроса на исследование в случае возможности исследования КМК с высокой степенью замещения или использования реагентов различных производителей; В4Сл2 – в случае возможности исследования КМК с высокой степенью замещения возможно получение гранта для дальнейшего развития проекта.</p>

Продолжение таблицы 8

<p>Угрозы: У1. Отсутствие интереса к результатам исследования; У2. Развитие конкуренции (создание новых реагентов и/или рецептур буровых растворов) У3. Снижение бюджета на исследование; У4. Неточность получаемых данных.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «угрозы-сильные стороны»: У3С2 – при снижении бюджета на исследование возможно потребуется закупка материалов; У4С3 – возможны ошибки в получаемых данных из-за неисправности применяемого оборудования.</p>	<p>Выявленные соответствия из интерактивной матрицы «угрозы-слабые стороны»: У1Сл1Сл2 – возможно отсутствие спроса на данное исследование вследствие: отсутствия широкого исследования полисахаридных реагентов различных производителей; выявления малой области применения КМК со степенью замещения менее 30. У2Сл1Сл2 – возможно развитие конкурентных исследований вследствие использования полисахаридных реагентов различных производителей или КМК с высокой степенью замещения; У4Сл3 – возможно получение неточных данных вследствие многократного использования порций раствора.</p>
--	--	--

4.1 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Порядок планирования научно-исследовательских работ по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы следующий:

определение структуры работ в рамках научного исследования с установлением исполнителей каждого этапа проекта;

- расчет продолжительности каждого этапа работ;
- построение календарного план-графика научных исследований;
- формирование бюджета научно-исследовательского проекта.

Перечень этапов работ по исследовательскому проекту и распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работ	№ раб	Содержание работ	Исполнитель
Определение направления и целей исследования	1	Определение направления исследования	Руководитель
	2	Подбор литературных источников и их изучение	Исполнитель проекта
	3	Календарное планирование работ	Руководитель, Исполнитель проекта
Проведение теоретических и экспериментальных исследований	4	Составление литературного обзора	Исполнитель проекта
	5	Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях	Исполнитель проекта, аспирант

Продолжение таблицы 9

Обобщение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования и формулировка выводов	Руководитель, Исполнитель проекта, аспирант
Оформление отчета по исследовательской работе	7	Написание магистерской диссертации	Исполнитель проекта

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты, в основном, образуют большую часть стоимости проводимых исследований, поэтому определение трудоемкости работ каждого из участников является важным моментом.

Оценка трудоемкости проведения научных исследований производится экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, вследствие зависимости от множества различных трудно учитываемых факторов. Для расчета ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ применяется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимальная трудоемкость выполнения i -ой работы (оптимистическая оценка – предполагается наиболее благоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимальная трудоемкость выполнения i -ой работы (пессимистическая оценка – предполагается наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.

Далее определяется продолжительность каждой работы, исчисляемая рабочими днями, T_p (исходя из ожидаемой трудоемкости работ), при этом

учитывается параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Определение рабочих дней необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность работы одного вида, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость работы одного вида, чел.-дн.;

$Ч_i$ – количество исполнителей, параллельно выполняющих работу одного вида, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения научного исследования применяется наиболее наглядный и удобный ленточный график – в форме диаграммы Ганта.

Данная диаграмма представляет собой горизонтальный ленточный график, где работы каждого этапа представлены протяженными во времени отрезками, которые характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ. Для построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные. Для этого применяется следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэфф. календарности.

Коэффициент календарности находится согласно формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (5)$$

Где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}} = 118$ – количество выходных и праздничных дней в 2021 году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48$$

Полученные по результатам расчетов значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого. Все полученные значения представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Виды работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Продолжительность работ в раб. днях, T_{ri}	Продолжительность работ в календ. днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Определение направления исследования	7	12	9	Руковод.	9,0	13
Подбор литературных источников и их изучение	8	16	11,2	Исполнитель проекта	11,2	17
Календарное планирование работ	2	4	2,8	Руков., Исполнитель проекта	1,4	2
Составление литературного обзора	14	22	17,2	Исполнитель проекта	17,2	25
Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях	32	46	37,6	Исполнитель проекта., аспирант	18,8	28
Оценка результатов исследования и формулировка выводов	16	26	20	Руковод., аспирант, Исполнитель проекта	6,7	10
Написание магистерской диссертации	11	14	12,2	Исп. проекта	12,2	18

На основании таблицы 10 строится календарный план график проведения научно-исследовательских работ (таблица 11)

Таблица 11 – Календарный план-график проведения научно-исследовательских работ по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы

№	Вид работ	Исполнит.	Т к, кал. дни	Продолжительность выполнения работ			
				февраль	март	апрель	май
1	Определение направления исследования (02.02.21-14.02.21)	Руков.	13	■			
2	Подбор литературных источников и их изучение (15.02.21-03.03.21)	Исполнитель проекта	17		■		
3	Календарное планирование работ (04.03.21-05.03.21)	Руков., Исполнитель проекта	2			■	
4	Составление литературного обзора (06.03.21-30.03.21)	Исполнитель проекта	25			■	
5	Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях (31.03.21-27.04.21)	Исполнитель проекта аспирант	28			■	
6	Оценка результатов исследования и формулировка выводов (28.04.21-7.05.21)	Руков., Исполнитель проекта аспирант	10				■
7	Написание магистерской диссертации (8.05.21-25.05.21)	Исполнитель проекта	18				■

■ – аспирант; ■ – руководитель; ■ – исполнитель

4.2.4 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

Величина расходов, затраченных на приобретение реагентов, используемых при исследовании фильтрационных свойств бурового раствора, рассчитывается по формуле:

$$Z_M = (1 + k_t) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6)$$

где m – кол-во видов материальных ресурсов, применяемых в процессе выполнения научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – кол-во материальных ресурсов i -го вида, требуемых для выполнения научного исследования (шт.);

C_i – стоимость единицы i -го потребляемого материального ресурса (руб./шт.);

k_T – коэффициент для учёта транспортно-заготовительных расходов. Коэффициент k_T , описывающий транспортные расходы на доставку материалов принимается минимальным, равным 15% (т.е. $k_T = 0,15$) от самой стоимости этих материалов. Минимальный уровень стоимости доставки объясняется тем, что все составляющие бурового раствора поставляются местными компаниями и лицами.

Все рассчитанные материальные затраты, необходимые для исследования понизителей фильтрации на основе полисахаридных реагентов, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Рассчитанные материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.
Thermpac	Кг	1	260
Polypac ELV	Кг	1	320
СМС LV	Кг	1	160
РАС LV	Кг	1	190
СМС	Кг	1	50
ПБМБ	Кг	5	100
NaCL	Кг	0,5	46
CaCL ₂	Кг	1	28
NaOH	Кг	0,2	56
Ксантановая смола	Кг	0,5	90
Мраморная крошка	Кг	2	10
Суммарная стоимость			1310
Итого, с учетом транспортных расходов (15% от суммарной стоимости материалов)			1506,5

Таким образом, стоимость приобретения реагентов для исследования фильтрационных свойств буровых растворов составила 1506,5 руб.

4.2.5 Расчет затрат на специальные оборудования и компоненты для проведения научных исследования и экспериментальных работ

Затраты на специальное оборудование не требуются, поскольку данное исследование проводится в испытательной научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы» Томского политехнического университета.

4.2.6 Затраты по основной заработной плате

Время, отведенное на проведение научно-технического исследования, представлено в таблице 13. Руководитель оказывает информационную поддержку при проведении научных исследований каждый свой рабочий день, что следует учитывать при расчете заработной платы.

Таблица 13 – Продолжительность работ каждого исполнителя при проведении исследований.

Показатели рабочего времени		Рук-ель	Аспирант	Исп.проекта
Календарное количество дней	с 02.02 по 25.05 2021 г.	113		
Количество нерабочих дней – выходные + праздничные дни	с 02.02 по 25.05 2021 г.	20	25	
Продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в период с 02.02.2021 по 25.05 2021 г., раб. дн.		93	38	88

Перед тем, как рассчитать основную заработную плату работников, задействованных в научно-техническом исследовании, требуется подсчитать их месячный должностной оклад. В данном проекте такими работниками являются руководитель, аспирант и дипломник.

Расчет месячного должностного оклада исполнителя производится по формуле:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (7)$$

где Z_{tc} – заработная плата согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэфф., принимается 0,3;

k_d – коэфф. доплат и надбавок, принимается 0,2;

k_p – районный коэфф. к заработной плате, $k_p = 1,3$ (для г. Томска).

Таблица 14 – Рассчитанные должностные месячные оклады

Исполнители	Разряд	Z_{tc} , руб.	Z_m , руб
Руководитель	4	15090	29425
Аспирант	2	11280	21996
Дипломник	1	0	0

Среднедневную заработную плату определяем по следующей формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад исполнителя, руб. (таблица 22);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ мес, 5-дн. раб. неделя; при отпуске в 48 раб. Дней $M = 10,4$ мес, 6-дн. раб. неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб. дн. (таблица 13).

Годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в 2021 г.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Аспирант	Исполнитель проекта
Календарное количество дней	365		
Количество нерабочих дней – выходные + праздничные дни	98	118	118
Потери рабочего времени, дни			
– отпуск	48	24	24
– невыходы по болезни	18	16	12
Действительный годовой фонд рабочего времени, дни	201	207	211

Произведя расчет по формуле 8 с учетом годового фонда рабочего времени, получим среднедневную заработную плату для каждого рабочего (таблица 16).

Таблица 16 – Среднедневная заработная плата исполнителей научно-исследовательского проекта

Исполнитель	Руководитель	Аспирант	Исполнитель проекта
Среднедневная ЗП, руб.	1522	1190	0

Расчет основной заработной платы выполняется по формуле:

$$Z_{осн} = Z * T_p \quad (9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 21);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. (таблица 24).

Произведя расчет по формуле 16 с учетом продолжительности работ для каждого научно-технического работника, получим основную заработную плату работника за период с 02.02.2021 по 25.05.2021 г. (таблица 25).

Таблица 17 – Основная заработная плата для научно-технического персонала за период с 02.02.2021 по 25.05.2021 г

Вид затрат	Рук-ель	Аспирант	Исполнитель проекта
Основная ЗП, руб.	141546	45220	0

Общие затраты на основную заработную плату научно-технического персонала, непосредственно участвующего в проводимых работах, составляют 186766 руб. (сто восемьдесят шесть тысяч семьсот шестьдесят шесть рублей).

4.2.7 Отчисления в государственные внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам в Фонд социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд России (ПФР) и Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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

На основании пункта 1.1. ст. 284 Налогового кодекса РФ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность по хозяйственному договору, в 2017 году введена ставка – 30, 2% [21].

Таблица 18 – Размер обязательных отчислений страховых взносов

Вид затрат	Рук-ель	Аспирант	Исполнитель проекта
Основная ЗП, руб.	141546	45220	0
Единоразовые выплаты, руб.	0	0	0
Размер страховых взносов, руб.	42746,9	13656,4	0
Суммарные страховые взносы для всего персонала составили			56403,3

4.2.8 Накладные расходы

Величина накладных затрат обуславливается расходами, не попавшими в предыдущие статьи расходов, такие как ксерокопирование и печать материалов исследований, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Она рассчитывается согласно формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{пр}} \sum_5^1 Z_i \quad (11)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэфф., учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% (т.е. 0,16).

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \times (186766 + 56403,3 + 1506,5) = 39148,1 \text{ руб.}$$

4.2.9 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Величина бюджета на разработку научно-исследовательской продукции

является нижним пределом по уровню затрат, который защищается научной организацией при формировании договора с заказчиком. Бюджет включает в себя учет всех ранее рассчитанных необходимых затрат для проведения научных исследований и получения, в конечном итоге, продукта, который и является целью работы.

Таблица 19 – Перечень работ и их стоимость, относящихся к НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1,51	Пункт 4.2.4
2. Затраты на специальные оборудования и компоненты	0	Пункт 4.2.5
3. Затраты по основной заработной плате	186,76	Пункт 4.2.6
4. Затраты по дополнительной заработной плате	0	
5. Отчисления во внебюджетные фонды	56,4	Пункт 4.2.7
6. Накладные расходы (16% от суммы расходов, рассчитанных в пунктах 7.1 – 7.5)	39,15	Пункт 4.2.8
7. Итоговая величина затрат	283,82	Сумма ст. 4.2.4-4.2.8

Бюджетный фонд, сформированный для проведения научно-исследовательской работы по исследованию понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы, составил 283,82 тыс. руб.

5 Социальная ответственность

Целью магистерской диссертации является исследование возможности применения карбоксиметилкрахмала (КМК) в современных рецептурах буровых растворов в качестве понизителя фильтрации и альтернативы более дорогостоящим реагентам на основе низковязкой полианионной целлюлозы (ПАЦ НВ). В данном разделе магистерской диссертации производится анализ возможных опасных и вредных факторов при применении объекта исследования и при работе с понизителями фильтрации в лабораторных условиях.

В качестве работника рассматривается лаборант, рабочее место – лаборатория буровых растворов.

В процессе проведения научного исследования лаборант производит экспериментальные исследования, осуществляет сбор и обработку материалов в соответствии с утвержденной методикой работы, производит подготовку, регулировку применяемых приборов, согласно инструкциям по эксплуатации.

Объектами исследования являются системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала. Среди применяемых реагентов: NaOH (каустическая сода), ПБМБ (глинопорошок бентонитовый), NaCl (хлорид натрия), ксантановая смола (ксантановая камедь), KCl (хлорид калия), мраморная крошка, СМС LV (карбоксиметилцеллюлоза), Роурас ELV (полианионная целлюлоза), Тертрапс (карбоксиметилкрахмал).

Цель данного раздела – обеспечение производственной безопасности работника и охрана окружающей среды.

5.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования в производственных условиях

Объекты исследования – системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе. Работа с данными буровыми растворами не оказывает негативного воздействия на человека.

5.2 Вредные и опасные факторы, возникающие в лабораторном помещении при проведении исследований

По ГОСТ 12.0.003-74 [30] выделяются вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 20.

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы, возникающие в процессе исследований понизителей фильтрации на основе карбоксиметилкрахмала и целлюлозы в лаборатории буровых растворов

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Приготовление (земешивание) моделей полимерных растворов. 2. Термическое воздействие на модели растворов.	1. Недостаток естественного света. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Пониженная влажность воздуха. 4. Пониженная температура воздуха.	1. Электрический ток. 2. Движущаяся машины и механизмы производственного оборудования 3. Высокая температура поверхности оборудования.	ГН 2.2.5.1313-03 [31] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32] ГОСТ 12.1.038-82 [34] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [42] СанПиН 2.2.4.548–96 [43] ГОСТ 12.2.003-91 [46]

5.3 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Отклонение показателей микроклимата в помещении

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные параметры микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548-

96 [43] на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 21, допустимые в таблице 22, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°С и выходить за пределы величин.

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 22 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

В качестве категории работ выбрана категория Іб, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), которые сопровождаются некоторыми физическими напряжениями и производятся сидя, стоя или связанные с ходьбой.

Помещение аудитории не оборудовано системами кондиционирования или вентиляции, воздухообмен в нем обеспечивается путем естественного проветривания помещения (открытие окон) на основании субъективных ощущений персонала. Вследствие этого температура в помещении неравномерно колеблется в пределах от 20 до 25°C, влажность от 30 до 60 %. В лаборатории имеется различное оборудование, в том числе и нагревательного действия (печь), и, при ее применении, возможен нагрев воздуха в лаборатории и снижение влажности. Из таблиц 21, 22 можем сделать вывод, что рабочее место находится в диапазоне допустимых величин показателей микроклимата для работы.

Таблица 22 – Допустимые величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных
Холодный	І6 (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	І6 (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

Для соблюдения и поддержания оптимальных показателей микроклимата необходимо использовать систему кондиционирования, увлажнитель воздуха.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Нерациональная расстановка рабочих столов в лаборатории может привести к тому, что в рабочей зоне будет пониженная естественная освещенность. Также возможен вариант, когда лаборатория находится в помещении без окон. Негативно скажется и недостаточное количество источников искусственного освещения рабочего места лаборанта.

Несовершенное освещение оказывает воздействие на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность. Также оказывается влияние на психику человека, его эмоциональное состояние. В результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных световых сигналов происходит усталость центральной нервной системы. Люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, работая при освещении низкого уровня, что приводит к снижению работоспособности. В некоторых случаях это приводит к головным болям.

Нормативы искусственного, естественного и смешанного типов освещений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32] представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Нормы освещения для аналитической лаборатории

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк			Показатель дискомфорта (не более)	Коэффициент пульсации освещенности, % (не более)
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении	От общего	При общем освещении		
Аналитич	Г*-0,8	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500	40	10

Примечание: Γ^* – горизонтальная плоскость. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) представляет собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке помещения к одновременной освещенности точки, находящейся на горизонтальной плоскости вне помещения и освещенной рассеянным светом всего небосвода.

Значения естественного и искусственного освещений необходимо довести до регламентных значений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [32]. Так как в лаборатории окна находятся только на одной стороне, то в помещении необходимо произвести планировку мебели таким образом, чтобы ни один из элементов лабораторной мебели не создавал тень для любой из рабочих зон. Лаборатория буровых растворов оборудована светильниками «Армстронг», каждый из которых содержит по 4 электролюминесцентные лампы. Каждый светильник имеет световой поток равные 5200 Лм. Все 6 светильников создают благоприятную для работы освещенность рабочей зоны.

5.4 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Электрический ток

Опасность поражения электрическим током несут все электрические приборы, подключенные к сети (вискозиметры, мешалки, печь). Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования.

Ток в теле человека оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое воздействие выражается в ожогах, нагреве и повреждении капилляров, сосудов и вен. Электролитическое воздействие выражается в разложении крови и нарушении её состава. Биологическое воздействие выражается в нервных судорогах и раздражении

тканей [33].

Значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки согласно ГОСТ 12.1.038-82 [34] имеют следующие значения (не более):

- переменный ток 50 Гц: напряжение – 2В, сила тока – 0,3 мА;
- постоянный ток: напряжение – 8В, сила тока – 1мА.

Согласно ПУЭ [44] по классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, поскольку отсутствуют условия, которые бы создавали повышенную или особую опасность (влажность воздуха не превышает 75%; полы керамические нетокопроводящие; отсутствие возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой; напряжение менее 380 В переменного и 440 В постоянного тока).

Для исключения поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [42] в качестве коллективных средств защиты необходимо применить усиленную изоляцию токоведущих частей электрооборудования. Также по всей лаборатории обязательно к применению защитное заземление всех электроустановок. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, необходимо применять диэлектрические перчатки (поскольку все электрооборудование в лаборатории является настольным и касание электроустановок возможно только руками, проводов на полу в зоне

перемещения лаборанта нет).

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Данный фактор возникает при работе с верхнеприводными мешалками, так как их вращающиеся части не закрыты защитными кожухами (не предусмотрено конструкцией) по ГОСТ 12.2.003-91 [46].

Меры безопасности, в большинстве, сводятся к соблюдению техники безопасности при работе в лаборатории.

Верхнеприводную мешалку, вискозиметр, вальцовую печь запрещается применять не по назначению, а также использовать их в неисправном состоянии. В процессе работы необходимо использовать средства индивидуальной защиты (перчатки, очки защитные, лабораторный халат) [47].

Ожоги

Так как существует риск получения ожогов из-за высокой температуры поверхностей при эксплуатации вальцовой печи (допустимая температура поверхностей представлена в таблице 22, согласно [43]), должны быть приняты меры, недопускающие эксплуатацию печи без использования термостойких рукавиц [47].

5.5 Экологическая безопасность

5.5.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Согласно ГОСТ 17.1.3.06-82 [48] к перечню источников загрязнения подземных вод относятся буровые скважины и другие горные выработки. Объектами данного научного исследования являются системы полимер-глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащих понизители фильтрации на основе карбоксиметилированной целлюлозы и крахмала. В зависимости от

рецептур растворов применяются следующие компоненты: NaOH (каустическая сода), ПБМБ (глинопорошок бентонитовый), NaCl (хлорид натрия), ксантановая смола (ксантановая камедь), KCl (хлорид калия), мраморная крошка, СМС LV (карбоксиметилцеллюлоза), Polyrac ELV (полианионная целлюлоза), КМК (карбоксиметилкрахмал). Компоненты на основе полисахаридов (ксантан, КМК, КМЦ) являются биоразлагаемыми,

глинопорошок, соли калия и натрия, низкая концентрация NaOH 0,05% (ПДК не регламентируется в [48]) не причиняют вреда окружающей среде.

Во время бурения буровой раствор обогащается шламом, нефтепродуктами, здесь появляется опасность загрязнения окружающей среды. Существуют два способа бурения – амбарный и безамбарный. В первом случае буровые отходы размещаются в специальных шламовых амбарах, снабженных противофильтрационным экраном, предотвращающим проникновение опасных веществ в грунтовые воды. В общем случае процесс ликвидации шламовых амбаров выглядит следующим образом:

- снятие нефтяной пленки с поверхности;
- очистка жидкой фазы отходов от нефти;
- доочистка жидкой составляющей отходов;
- обезвоживание бурового шлама;
- утилизация бурового шлама (обезвреживание и переработка).

Понятие безамбарное бурение подразумевает систему с высокой степенью очистки буровых растворов, которая удовлетворяет экологическим требованиям благодаря избежанию сбросов жидких и твердых отходов в

окружающую среду, при этом применяется специальное оборудование и технология.

Согласно [49] в целях защиты подземных вод от загрязнения при бурении скважин необходимо предусмотреть меры по предупреждению затрубных перетоков в водоносные горизонты, обваловку устьев скважин; химические реагенты для приготовления буровых растворов должны находиться под навесом на гидроизоляционных настилах, емкости для буровых растворов и шламовые амбары должны быть гидроизолированы.

5.5.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Как и любые отходы промышленности, отходы лабораторных исследований могут оказывать значительное отрицательное влияние на все компоненты природной среды – биосферу, атмосферу, гидросферу и литосферу. Под воздействием отходов разрушаются и гибнут флора и фауна, происходит загрязнение воздуха, почвы и воды. При этом в природе возникают не свойственные ей негативные явления. Примерами могут служить кислотные осадки в атмосфере, возникающий парниковый эффект, разрушение озонового слоя, нарушение кислотности почв и другие явления. Все это значительно снижает качество окружающей среды и негативно влияет на здоровье населения.

Воздействие на атмосферу происходит при вытягивании химических испарений через вытяжную вентиляцию. Однако стоит отметить, что объемы реагентов, применяемых при одном эксперименте, генерируют незначительное количество вредных газов/аэрозолей. Величины предельно допустимых концентраций регламентируются [31] и, для применяемых при проведении исследований веществ, приведены в таблице 24.

Таблица 24 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	№ CAS	Величина ПДК, мг/м ³	Преимуществ. агр. состояние	Класс опасности
Натрий хлорид	7647-14-5	5	а	3
Калий хлорид	7447-40-7	5	а	3
Натрий карбоксиметилцеллюлоза	–	10	а	3
Щелочи едкие (в пересчете на гидроксид натрия)	–	0,5	а	2

Модели буровых растворов утилизируются через систему водоотведения и канализации, воздействие на гидросферу характеризуется качеством обработки стоков городскими очистными сооружениями.

Воздействие на литосферу может быть также оценено качеством обработки стоков, после очистки вода попадает в окружающую среду.

5.5.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

При выполнении опытов следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для данной лаборатории.

Поскольку концентрации генерируемых газов не большие, то достаточным методом защиты атмосферного воздуха будет рассеивание очищенных газов в атмосферном воздухе благодаря вытяжной вентиляции. Для очистки от возможных механических примесей можно применить угольный фильтр в канале вытяжной вентиляции (рисунок 21).



Рисунок 21 – Угольный фильтр «Клевер» для вытяжной вентиляции для очистки воздуха от механических примесей

Для защиты гидросферы в условиях лаборатории необходимо применение устройств с физико-химическими методами очистки. Широко распространена адсорбционная технология с применением активированных углей, которая позволяет получать остаточные концентрации основных загрязняющих веществ ниже нормативных значений. Также необходимы процессы флотации и ионного обмена. Поскольку площади помещения лаборатории недостаточно для установки полноценных очистных сооружений, то достаточным будет заключение договора с предприятием, занимающимся очисткой сточных вод. Предполагается установка емкости объемом суточного потребления воды в подвальном помещении, куда будут поступать стоки из лаборатории. Оттуда стоки будут забираться специальной машиной для проведения очистки сточных вод от химикатов и загрязнений.

5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.6.1 Анализ вероятных ЧС, инициируемых объектом исследования

Объектом научного исследования являются системы полимер-

глинистых, минерализованных полимер-глинистых и биополимерных буровых растворов на водной основе, содержащие понизители фильтрации на основе полисахаридов. Чрезвычайные ситуации, инициируемые объектом исследования, отсутствуют.

5.6.2 Анализ вероятных ЧС, возникающих в лаборатории при проведении исследований и обоснование мероприятий по их предотвращению

К возможным ЧС в лаборатории можно отнести пожар. Данная ситуация может возникнуть в случае короткого замыкания электропроводки либо при неисправности электроприборов. Также возникновение пожара возможно при неправильной эксплуатации печи. Стандарты и требования по пожарной безопасности установлены ГОСТ 12.1.004-91 [45].

Согласно НПБ 105-03 [38] исследовательскую лабораторию можно отнести к категории помещения В-4 «пожароопасные», так как в ней находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (деревянная мебель, бумага и прочее).

Для предупреждения проявления вышеописанной чрезвычайной ситуации необходимо проведение организационных, технических, эксплуатационных и режимных мероприятий по пожарной профилактике. К организационным мероприятиям относится проведение противопожарного инструктажа раз в год. Необходимо знать план эвакуации на случай ЧС.



Рисунок 22 – План эвакуации при пожаре

Ежедневно рабочие места должны очищаться от горючих отходов исследований. Работы, связанные с выделением токсичных веществ, должны производиться только в исправных вытяжных шкафах. Сотрудники лаборатории должны знать места расположения средств пожаротушения и уметь их применить при возникновении пожара. В лаборатории запрещается:

- загромождать проход, а также проход к средствам пожаротушения;
- мыть полы с использованием горючих жидкостей;
- оставлять в рабочей зоне бумагу и ветошь;

– хранить в помещении лаборатории любые вещества с неизвестными пожароопасными свойствами;

– пользоваться электронагревательными приборами с открытой спиралью;

– при включенных электронагревательных приборах убирать случайно пролитые горючие жидкости.

Технические мероприятия предполагают монтаж и эксплуатацию электроустановок в соответствии с правилами устройства электроустановок [44]. Обязательным является наличие противопожарной сигнализации, которая при срабатывании осуществит оперативное оповещение людей о необходимости эвакуации. Лаборатория должна быть оборудована такими противопожарными средствами, как огнетушители. Углекислотные огнетушители ОУ-2 предназначены для тушения загораний различных веществ, за исключением тех, горение которых происходит без доступа воздуха, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Порошковые огнетушители ОП-10 предназначены для тушения нефтепродуктов, электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В.

К режимным мероприятиям относятся запрет курения в лаборатории. Эксплуатационные мероприятия заключаются в том, что при обнаружении дефектов в изоляции приборов, неисправности пускателей, вилок, розеток, а также заземления следует оперативно уведомить об этом ответственное лицо за противопожарное состояние лаборатории. Все неисправности, касающиеся электрооборудования, должны устраняться исключительно специалистом-энергетиком. Запрещается ремонтировать и переносить включенные электрооборудование, находящееся под напряжением.

Порядок действий в случае возникновения ЧС:

- выключить электрооборудование;
- отключить вентиляцию;
- немедленно сообщить о случившемся по телефону в пожарную охрану – 01, 101, 112 (необходимо сообщить адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию);
- сообщить по телефону заведующему лабораторией и охране корпуса №19;
- при необходимости отключить электроэнергию;
- принять меры по ликвидации очага возгорания при помощи первичных средств пожаротушения;
- при необходимости удалить с места возгорания горючие вещества и материалы [41].

5.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.7.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для рабочей зоны исследователя

На должность лаборанта назначается лицо, имеющее среднее профессиональное образование без стажа работы или начальное профессиональное образование со стажем работы по специальности не менее 2 лет.

Лаборант должен знать:

- справочные и нормативные материалы по тематике выполняемой работы;
- методы проведения исследований;
- оборудование лаборатории и правила его эксплуатации;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности, основы трудового законодательства Российской Федерации, производственной санитарии и противопожарной защиты.

При приеме на работу работником обязательно должен быть пройден вводный инструктаж. Для получения допуска к самостоятельной работе работник должен освоить:

- проверку знаний инструкции по охране труда;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- действующую инструкцию по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями;
- инструктаж по применению средств защиты, необходимых для безопасного выполнения работ.

Лаборант должен оказать первую помощь пострадавшему при несчастном случае до прибытия медицинского персонала. Если несчастный случай произошел с самим лаборантом, то в зависимости от тяжести травмы он должен обратиться за медицинской помощью в здравпункт или сам себе оказать первую помощь. Каждый работник лаборатории должен уметь пользоваться аптечкой и знать ее местоположение.

Лаборант должен сообщать своему непосредственному руководителю

об обнаруженных неисправных приспособлениях, инструменте и средствах защиты.

Согласно отраслевым нормам лаборанту химической лаборатории бесплатно должны выдаваться следующие средства индивидуальной защиты:

- халат хлопчатобумажный (на 12 мес);
- перчатки резиновые и трикотажные (на 1 мес);
- фартук прорезиненный (на 6 мес);
- сапоги резиновые (на 12 мес);
- очки защитные (до износа);
- респиратор (до износа).

Срок носки спецодежды должен удваиваться при выдаче двойного сменного комплекта.

Условия труда в лаборатории являются допустимыми (2 класс), при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, при этом уровни воздействия не превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены) [50].

При допустимых условиях труда (2 класс) повышения оплаты труда по сравнению с нормальными условиями труда не производится, дополнительный отпуск «за вредность» не предоставляется, сокращения рабочего времени не производится (статьи 92, 117, 147, 219 ТК РФ [51]).

Лаборант химической лаборатории перед началом работы должен:

- спецодежду привести в порядок, волосы убрать под плотно облегающий головной убор;
- проверить исправность приточно-вытяжной вентиляции;
- проверить работоспособность освещения рабочего места;
- убедиться в исправности электроприборов на рабочем месте и их заземления;
- проверить наличие четких надписей на бутылках с реактивами;
- проверить наличие и целостность стеклянной посуды, бюреток, пипеток, достаточность реактивов и реагентов [40].

5.7.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В химической лаборатории должно быть энергоснабжение, подводка холодной и горячей воды. Все электрооборудование должно быть заземлено.

Разводка коммуникаций к переносным приборам и нестационарному оборудованию должна проводиться открыто при помощи гибких проводов и шлангов, укрепленных на металлических трубопроводах зажимами.

Электроосвещение помещения и вытяжных шкафов должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении. Выключатели устанавливаются вне вытяжных шкафов.

Помещение лаборатории должно быть оборудовано системами локального удаления воздуха из вытяжных шкафов или отдельных приборов и оборудования помимо общей приточно-вытяжной вентиляции.

Рабочие столы и вытяжные шкафы для работы с химически активными веществами (кислотами, щелочами и др.) должны быть покрыты материалами, стойкими к агрессивной химической среде, и иметь бортики, предотвращающие стекание жидкости на пол.

Вытяжные шкафы, в которых происходит выделением вредных и горючих паров и газов при проведении работ, должны быть оборудованы верхними и нижними отсосами воздуха. Для обеспечения тяги дверцы вытяжных шкафов следует держать закрытыми с небольшим зазором внизу во время работ.

Металлические шкафы для хранения химических веществ должны быть зарыты на ключ и опечатаны.

Входящие в конструкцию производственного оборудования специальные технические и санитарно-технические средства (ограждения, экраны, вентиляторы и др.), обеспечивающие устранение или снижение уровней опасных и вредных производственных факторов до допустимых значений, не должны затруднять выполнение трудовых действий [41].

Заключение

В настоящее время значимую часть применяемых буровых растворов составляют полимер-глинистые и биополимерные растворы, где для регулирования фильтрационных свойств применяются полисахаридные модифицированные реагенты на основе крахмала и целлюлозы. Свойства реагентов КМК и ПАЦ (солестойкость и термостойкость, стойкость к биодеструкции, растворимость) зависят от качества исходного сырья, степени и равномерности замещения, применения специальных добавок при их изготовлении и чистоты конечного продукта. Чем большую проницаемость имеет фильтрационная корка, тем выше фильтрация и ее толщина. Необходимо поддерживать фильтрацию и проницаемость корки на как можно более низком уровне, для избежания загрязнения пластов, аварий и осложнений в процессе строительства скважин. Снижение водоотдачи при применении понизителей фильтрации достигается за счет перекрывания отверстия в фильтрационной корке увеличенными деформируемыми инкапсулированными твердыми частицами и частицами полимера; загущением жидкой фазы бурового раствора. На их эффективность в растворах влияет концентрация полимера, уровень рН, содержание солей, микроорганизмов, температура.

Список литературы

1. Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Каменский Л.А., Федоровская В.А. Полимерные буровые растворы. Эволюция «из грязи в князи». // Бурение и нефть. – 2014. – № 12. – С. 24-29.
2. Fink J.K. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. – Gulf Professional Publ., 2011. – 808 p.
3. Минибаев В.В., Ильин И.А., Пестерев С.В. Эффективность полисахаридных реагентов в буровых растворах различной степени минерализации среды. // Бурение и нефть. – 2009. – № 10. – С. 48-50.
4. Alsabagh A.M., Abdou M.I., Khalil A.A., Ahmed H.E., Aboulrous A.A. Investigation of some locally water-soluble natural polymers as circulation loss control agents during oil fields drilling. // Egyptian Journal of Petroleum. – 2014. – V. 23. – Iss. 1. – P. 27-34.
5. Mahto V., Sharma V.P. Rheological study of a water based oil well drilling fluid. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2004. – V. 45. – Iss. 1-2. – P. 123-128.
6. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: «Летопись», 2005. – 664 с.
7. Caenn R., Darley HCH, Gray G. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. – Gulf Professional Publ., 2017. – 729 p.
8. Смирнов С.И., Гальцева О.В., Кряжев В.Н., Карлович С.В., Крюков С.В. Эффективность реагентов КМЦ и ПАЦ в буровых растворах различной степени минерализации. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 33-37.
9. Кряжев В.Н., Гальцева О.В., Смирнов С.И. КМЦ И ПАЦ – традиционные стабилизаторы буровых растворов. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 6., – С. 28-33.
10. Кряжев В.Н., Карлович С.В. Исследование солестойкости

реагентов на основе карбоксиметилцеллюлозы и полианионной целлюлозы. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. –

№ 11. – С. 42-44.

11. Гальцева О.В., Кряжев В.Н. Влияние исходной целлюлозы на свойства КМЦ. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 24-28.

12. Смирнов С.И., Гальцева О.В., Кряжев В.Н., Карлович С.В., Крюков С.В. Эффективность реагентов КМЦ и ПАЦ в буровых растворах различной степени минерализации. // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 33-37.

13. Ильин М.И., Смирнов С.И., Мячина Н.Е., Крюков С.В. Разработка технологии получения физически модифицированных крахмальных реагентов и их свойства. // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 9. – С. 23-27.

14. Лодина И.В., Анисимов А.В. Сравнение свойств крахмальных реагентов в системе минерализованного бурового раствора. // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9 (188). – С. 43-47.

15. Кряжев В.Н., Виноградова Г.В., Смирнов С.И. Реологические свойства композиций эфиров целлюлозы для буровых растворов. // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9 (188). – С. 48-51.

16. Мячина Н.Е., Смирнов С.И. Крахмальные реагенты ЗАО «Полицелл». // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 9. – С. 51-55.

17. Паскару К.Г., Литвяк В.В., Москва В.В., Андреев Н.Р., Костенко В.Г., Оспанкулова Г.Х. Модифицированные крахмалосодержащие продукты для бурения. // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 82- 84.

18. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учеб. пособие для вузов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 1999. – 424 с.: ил.

19. Минибаев В.В., Ильин И.А., Пестерев С.В. Методика оценки эффективности бактерицидных реагентов для буровых растворов. //

Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010.
– № 11. – С. 26-29.

20. Обрезкова М.В., Будаева В.В., Сакович Г.В. Карбоксиметилцеллюлоза из нетрадиционного сырья. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 11. – С. 29-32.

21. Тесленко В.Н., Тимохин И.М., Русаев А.А., Колесникова Т.И. Механизм деструкции водорастворимых эфиров целлюлозы и пути ее замедления ингибиторами. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2000. – № 12. – С. 44-49.

22. Мохаммед Ф.Х. Влияние температуры на реологию и фильтроотдачу буровых растворов на водной основе. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 7. – С. 38-41.

23. Кряжев В.Н. Химическая модификация крахмала (краткий обзор). // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 6. – С. 70-72.

24. Зайнуллина А.Ш., Песириди Я.Ю., Исмукашева М. Оценка реологических параметров модифицированного крахмала в буровых растворах. // Вестник Алматинского технологического университета. – 2017.
– № 2. – С. 92-96.

25. Барахнина В.Б., Ягафарова Г.Г., Хисматуллина Д.Д. Биостойкость отработанных целлюлозосодержащих реагентов буровых растворов. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2009. – № 23 (1560). – С. 21-25.

26. Исламов Х.М. Регулирование свойств буровых растворов на основе полимерного крахмального реагента. // Геология, география и глобальная энергия. – 2008. – № 2. – С. 162-166.

27. Денисова М.Н., Будаева В.В., Минаев К.М. Физико-химические свойства полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является натрий карбоксиметилцеллюлоза. // В сборнике: Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой

промышленности Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – 2016. – С. 457-464.

28. Беленко Е.В. Изучение биодиструкционных процессов полисахаридных полимеров // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. – № 8 – С. 32–36.

29. Сагитов Р.Р., Минаев К.М., Захаров А.С., Королев А.С., Минаева Д.О. Исследование понизителей фильтрации буровых растворов на основе карбоксиметильных эфиров крахмала и целлюлозы. // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 11. – С. 102-105.

30. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные факторы производства»

31. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы

32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

33. Воздействие тока на организм человека / АО Энергетик (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: <http://www.energetik-ltd.ru> (дата обращения: 06.04.2018)

34. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)

35. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

36. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С.В. Белов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2013. – 682 с.

37. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в

почве

38. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

39. Инструкция о мерах пожарной безопасности в научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы»

40. Типовая инструкция по охране труда для лаборанта химического анализа / Охрана труда в России (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/392170/ (дата обращения: 06.04.2018)

41. Инструкция № 13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы»

42. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

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

44. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, переработанное и дополненное, с исправлениями, 2002

45. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением №1)

46. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности

47. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

48. ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

49. СП 2.1.5.1059–01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

50. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016)
«О специальной оценке условий труда»

51. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ
(ред. от 05.02.2018)

Приложение I

(справочное)

Studies of the effect of different concentrations of CMC and PAC on the rheological properties of the drilling fluid

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Мельников А.А.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИ О	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Минаев К.М.	К.х.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИ О	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОИЯ	Сумцова О.В.	К.ф.н		

1 Literary review

The requirements for flushing fluids are constantly expanding, and along with them, their formulations, physicochemical and chemical properties undergo changes: from "drilling mud" (at the beginning of drilling in the 3rd-4th centuries - drilling of shallow wells in the middle of the 20th centuries) to complex multicomponent systems with adjustable technological properties in a wide range that are currently used. These are water-based, hydrocarbon-based drilling fluids and gaseous fluids, foams [1].

The main area of application of hydrocarbon-based muds is the opening of productive oil horizons with low reservoir pressure; they are also used when drilling wells in conditions of high positive and negative bottomhole temperatures, penetration of salt-bearing strata and highly plastic clays. Their application area is related to their properties. Compared to water-based drilling fluids, they have a number of advantages: high stability over time (can be saved for a long time and reused), inertness to clays and salts, high thermal stability (up to 220 ° C), they practically do not filter into permeable formations, and their filtrate has no harmful effect on productive oil reservoirs. However, despite such a number of positive qualities, the widespread use of application of hydrocarbon-based muds is hampered by a number of significant disadvantages: high cost, difficulty in cleaning sludge, difficulty in conducting electrometric work, toxicity and environmental hazard.

the main component for gaseous flushing agents is natural gas, exhaust gases of internal combustion engines, compressed air. They can be effectively used when drilling wells in hard rocks (limestones, dolomites), permafrost, in absorbing horizons, when opening productive strata with low pressure (0.3-0.8 hydrostatic) [18].

These solutions are not widely used due to the difficulty in preparing and regulating their properties, limited scope.

Water-based drilling fluids (WBM) are the most commonly used drilling fluids around the world. The main disadvantages of water-based drilling fluids are their interaction with clays (the most commonly drilled rocks), high filtration. The use of various formulations with the use of special reagents makes it possible to adapt the WBM for various drilling conditions.

Currently, a significant part of the using water-based drilling fluids are polymer-clay and biopolymer fluids, where rheological and filtration properties are controlled by polysaccharide reagents such as carboxymethylated starch and cellulose, xanthan gum and water-soluble starches [1, 2]. Despite the similarity of the composition of polysaccharides, they can be divided according to their main function into structure formers (xanthan, high molecular weight CMC, etc.) and filtration reducers (starch, low molecular weight CMC and CMC, etc.) [3-5].

1.1 Modified natural polymers

Modified natural polymers are widely used in the preparation of drilling fluids. Cellulose and starch are natural polymers that are often used to make modified polymers. The properties of modified polymers differ from those of natural polymers. In order for non-ionic natural polymers (cellulose or starch) to be used in drilling fluids, since they do not dissolve in water, they are modified into polyelectrolytes. Polymer modification consists in changing the repeating constituents of the polymers. A polyelectrolyte is a water-soluble polymer that forms polyions and ions with opposite charge signs. A polyion has several electrical charges along its polymer chain. The charges can be positive, like cationic polymers, or negative, like anionic polymers. There are several examples of cationic polymers, however most polymers used in drilling are negatively charged. The carboxymethylated starch and cellulose studied in this work will be considered as modified natural polymers used as filtration reducers. Carboxymethyl cellulose and polyanionic cellulose

1.1.1 Carboxymethyl cellulose and polyanionic cellulose

Cellulose is a natural polymer that is insoluble in water. The raw material for the production is wood of various tree species, cotton; the possibilities of obtaining cellulose from flax [11] and non-traditional sources such as abacus, jute, sisal, miscanthus [20] are also being investigated. To have use cellulose as an additive to drilling fluids, it is modified in CMC (carboxymethyl cellulose). CMC is an example of one of the polyelectrolytes. Figures 23 and 24 show the process of modifying the repeating ring structure of cellulose by introducing an anionic carboxymethyl group into it. After this treatment, the modified polymer becomes soluble due to the anionic group.

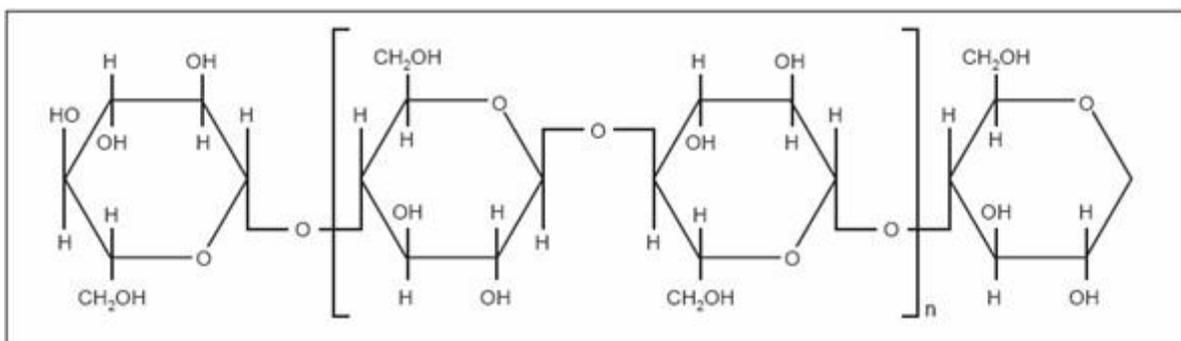


Figure 23 – Cellulose

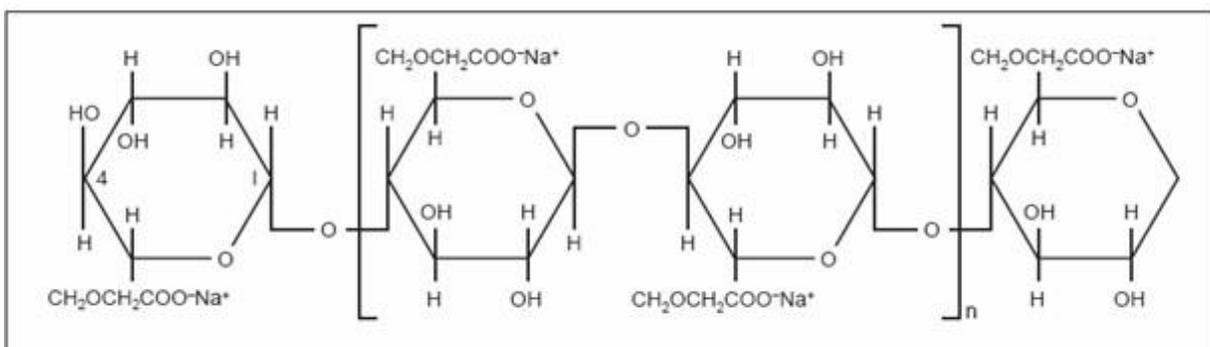


Figure 24 - Sodium CMC with a degree of substitution of 1.0

Carboxymethylcellulose is formed by the reaction of the sodium salt of monochloroacetic acid ($\text{ClCH}_2\text{COONa}$) with cellulose. Most often, during the formation of a soluble polyelectrolyte, the ($-\text{CH}_2\text{OH}$) group is substituted.

The degree of polymerization reflects the number of repeats of the ring structure. The ring structure is the basic structure of the polymer. The higher the degree of polymerization, the higher the molecular weight.

Sodium CMC is usually produced in three main modifications, differing in properties such as viscosity, the ability to maintain suspension and reduce fluid loss - these are high-viscosity CMC, low-viscosity CMC or medium viscosity CMC. High-viscosity CMC has a higher molecular weight than low-viscosity CMC, therefore, the degree of polymerization of CMC is higher, therefore, the viscosity is higher and the filtration is lower [6]. It is interesting to note that the studies carried out in [15] show that mixing cellulose ethers of different viscosity makes it possible to obtain compositions with the required rheological properties and filtration index.

The degree of substitution reflects the number of substitutions within one repeating ring structure. The degree of substitution characterizes the solubility and resistance to hardness salts [6], which was confirmed in [10]. In the illustration for sodium CMC, one substitution is shown in each ring structure. This means that the degree of substitution is 1. In the above example, only methyl hydroxyl groups ($-\text{CH}_2\text{OH}$) were substituted. Two hydroxyl groups ($-\text{OH}$) could also be substituted, which would give a degree of substitution of 3. The polymers become soluble in water at a degree of substitution of 0.45. The CMC degree of substitution is usually 0.7-0.8. The degree of substitution of high-viscosity CMC is the same as that of CMC with low and medium viscosity; they differ only in the degree of polymerization. CMC with a relatively high degree of substitution is often referred to as polyanionic cellulose (PAC). Polyanionic cellulose has the same chemical structure and degree of polymerization as CMC; the only difference between these two polymers is the degree of substitution. Typically, the degree of substitution of polyanionic cellulose is 0.9-1.0. Polymers with a higher degree of substitution dissolve better than CMC. Also, despite small differences in the composition and

structure of these polymers, PAC NV is a more salt and heat resistant reagent, which significantly expands the range of its application.

The properties of CMC and PAC reagents by 80% depend on the quality of the feedstock (mainly on the degree of polymerization and the content of the main substance - alpha cellulose) [11], the degree and uniformity of substitution, the use of special additives in their manufacture (for example, inhibitors of thermal oxidative destruction [21], salt resistance, bactericides) and the purity of the final product.

Many manufacturing firms both in Russia and abroad produce CMC and PAC reagents with different properties.

As filtration reducers in modern formulations of drilling fluids, CMC HB with a degree of substitution of about 85 and PAC HB with a substitution of more than 90 and a higher content of the basic substance compared to CMC HB are mainly used [8, 9].

1.1.2 Carboxymethyl starch

Starch is a natural polymer obtained from a wide variety of plants and crops; the main source of starch for drilling fluids is corn and potatoes. Starch is composed of two polysaccharides: amylose and amylopectin. Amylose, which is a chain of ring carbohydrates, serves as the backbone of the starch molecule. Amylopectin is a well-branched chain of ring carbohydrates extending from the amylose backbone. The proportion between amylose and amylopectin determines the properties of starch (the higher the amylose content, the more resistance to water hardness and more thermal stability, the more the solution thickens).

The biggest drawback of starches is their tendency to ferment. The molecular structure of starch and cellulose is similar, but the basic elements of starch are somewhat different. The oxygen bonds between the elements of starch are mainly of the alpha type, and of the cellulose of the beta type. This slight difference is the

reason for the bacterial degradation of starch and the fermentation resistance of cellulose and their ethers. Another disadvantage of starch is its low thermal stability. Starch deteriorates quickly after prolonged exposure to temperatures above 102 ° C. Under some conditions, starch biodegradation is more intense. The strongest biodegradation is observed where water containing a large number of microorganisms was used in the preparation of the solution. The worst water source is stagnant ponds; however, water from any streams and rivers can also be considered contaminated. Bacterial growth is accelerated at high temperatures, neutral pH and fresh water conditions. Bacterial activity in saline solutions with high pH is not so great, but it does occur from time to time.

Modification into carboxymethyl starch, as well as the introduction of various additives during manufacture, is carried out in order to change its properties (the degree of influence on the rheological and filtration properties of the drilling fluid, increase in thermal stability, resistance to biodegradation). The properties of CMC also depend on the properties of the feedstock, which is shown in [23].

Like CMC, carboxymethyl starch undergoes replacement of hydroxymethyl groups at any of the two hydroxyl groups of the ring structure. Like CMC, substitution occurs most frequently at the hydroxymethyl group (Figure 25).

Technologies of physical modification of starch reagents, in particular, extrusion swelling starch, described in [13, 16] have been developed.

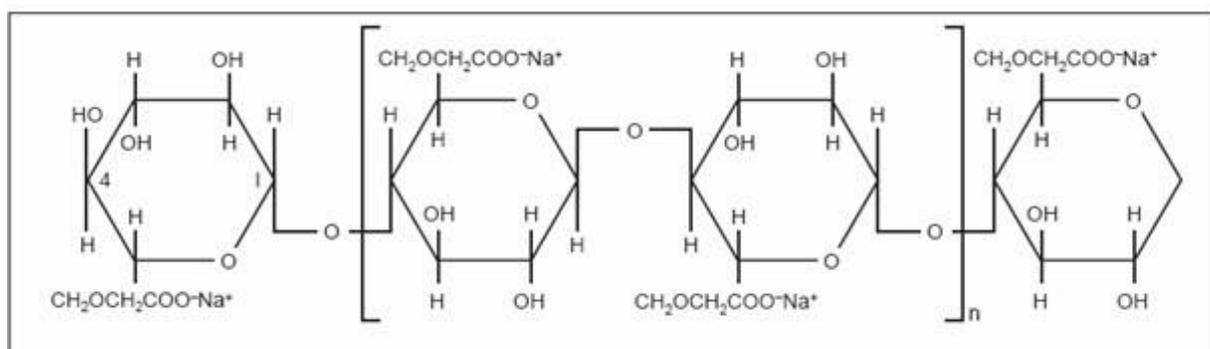


Figure 25 - KMC with a degree of substitution of 1.0

Filtration reducers based on starch are currently used to a limited extent, mainly for opening productive formations, due to the properties of the formed filter cake - it is susceptible to biodegradation and / or to acids, which minimizes the effect on the reservoir properties of the reservoir. In other cases, starch derivatives are used as viscosity reducers in the composition of saline solutions, which reduces their biodegradation.

1.2 Filtration properties of drilling fluids

Filtration processes play one of the main roles to maintain the permeability of the reservoir rocks, as well as to prevent accidents and complications [6]. During repression to the formation, the solid phase of the drilling fluid penetrates into the near-wellbore zone with the formation of a filter cake through which the filtrate passes (Figure 26).

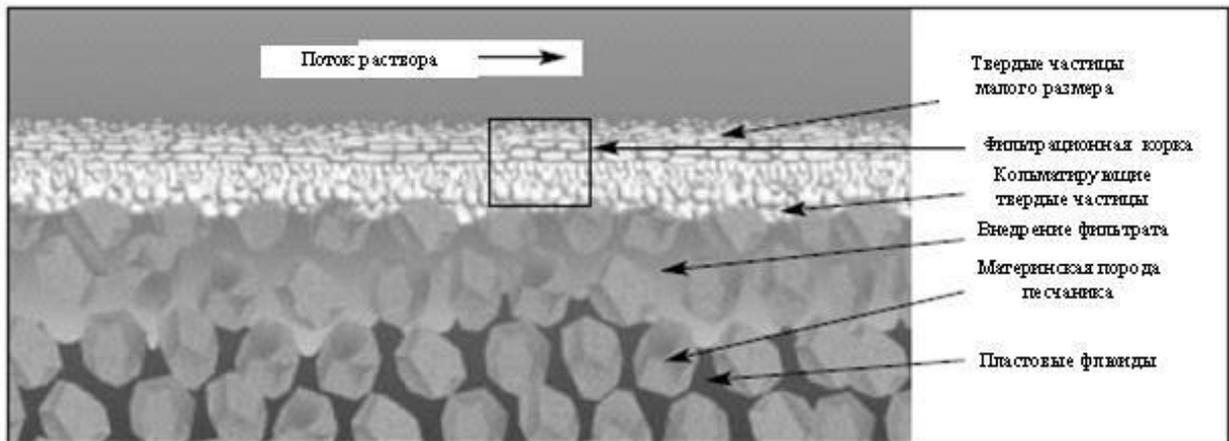


Figure 26 - Filtration

The filter cake, possessing a high permeability, increases in size, which reduces the effective diameter of the well and can lead to complications such as excessively high torque during the rotation of the string, increased pistoning and swabbing during tripping and lifting operations and an increase in hydraulic resistance (talus and rock falls are possible) , an increase in the probability of

differential sticking and tightening of the column [7]. There are also potential problems associated with excessive introduction of filtrate - deterioration of reservoir properties (formation of insoluble compounds, changes in wettability, changes in relative permeability for oil and gas, plugging of the formation with the smallest particles of the solid phase or swelling of clays in situ); incorrect results obtained from filtration tests; difficulties in assessing the parameters of a productive formation (excessive introduction of filtrate, weak transfer of electrical properties through a thick filter cake); probability of non-detection of oil-bearing and gas-bearing zones.

When drilling an oil well, there are two types of filtration.

- static and dynamic. Dynamic filtration occurs under conditions of circulation of drilling fluid, while static filtration occurs under other conditions - during build-up, tripping and in the absence of circulation. The filtration properties of drilling fluids are usually evaluated and controlled by the American Petroleum Institute (API) filtration loss test. API testing - low pressure, low temperature filtration loss, high pressure high temperature filtration, and filter cake thickness measurements - are all conducted under static conditions.

1.2.1 Filtration theory

At the initial stage of the action of the mud on permeable rock, when solid particles are deposited, forming a low-permeability filter cake on the walls of the wellbore, filtration losses are high, and the smallest particles of drilling mud quickly penetrate into the rock. This type of filtration is called instant loss (instant filtration).

Static filtration occurs under static conditions, i.e. while the solution is not circulating. The filtration rate under these conditions is regulated by several factors. Using Darcy's Law, a classical fluid flow model, it is possible to determine the factors influencing filtration (Figure 27).

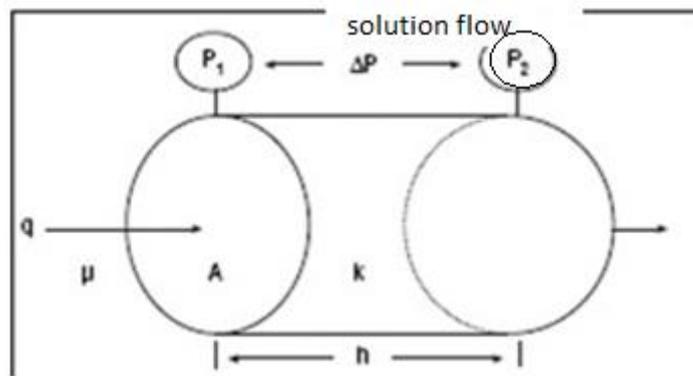


Figure 27 - Fluid inflow according to Darcy's law

Darcy's law can be represented as the following equation:

$$q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta P}{\mu h}, \quad (1)$$

where q is the filtration rate, cm^3 / sec ;

k - permeability, darcy;

A - cross-sectional area, cm^2 ;

ΔP - pressure drop, atm;

μ is the viscosity of the filtrate, cP;

h is the thickness of the filter cake, see.

Based on this equation, filtration losses will be low with low filter cake permeability and low pressure differential. Filtration will decrease with increasing filtrate viscosity and increasing filter cake thickness if a thicker filter cake has the same permeability value.

The filter cake thickness generated under static conditions increases over time, but the rate of formation decreases over time. As mentioned above, a thick filter cake can cause complications and accidents during well construction. For this reason, static filtration regulation is a top priority. It is desirable that this value to be kept as low as possible.

Dynamic filtration is different from filtration that occurs under static conditions, and its speed is usually significantly faster than static filtration. Filter cakes formed under dynamic and static conditions are distinguished by the fact that the former are thinner and stronger. There is no direct correlation between filtration losses under static conditions, which is determined by the API method and the values of high temperature high pressure filtration (HTHP) under static and dynamic conditions. Experience has shown that a drilling fluid that has good filtration properties and stability under static filtration will also be effective under dynamic filtration conditions in the well.

1.2.2 Influence of various factors on the filtration properties of water-based drilling fluids containing CMC and PAC

To regulate the filtration properties of the drilling fluid, it is treated with polymeric reagents - filtration reducers. Reducing fluid loss when using them is achieved due to:

- overlapping the hole in the filter cake with polymer particles;
- encapsulation of the solid particle, creating a larger, deformable shell or film, which reduces the permeability of the filter cake;
- thickening of the liquid phase of the drilling mud.

The effectiveness of filtration reducers, like polyelectrolytes, depends on the amount of charges in the polymer chain. In turn, the number of charges depends on the following factors:

- polymer concentration;
- concentration and distribution of ionizable groups;
- salt content and water hardness;
- pH of the liquid.

If the number of charges is large enough, the polymer tends to unfold the chain due to mutual repulsion. As a result, the polymer is completely unfolded, and the distances between like charges are maximized. When unfolding, the polymer opens out the maximum number of charges, which allows it to bind clay particles and thicken the liquid phase of the solution.

Effect of polymer concentration

When dissolved in the aqueous phase of the drilling fluid, the polymers are in an unfolded state, while they have the form of not a rod, but a curl, which makes it possible to remove the same polymer charges to the maximum distance. At low concentrations, the polymer forms a shell around itself of 3-4 water molecules in thickness. An electrostatic repulsive force acts between the shells; the surface area of the shells increases as the polymer unfolds. The size of the surface area of the water shell contributes to the effect of the polymer on the viscosity of the solution. As the concentration of the polymer increases, the shell around it decreases. As more and more polymer tends to form a water shell from less water, the viscosity of the solution increases. This occurs when polymers are intertwined with each other under conditions of a limited amount of free water.

the change in viscosity depends on the increase in the polymer concentrations. This confirmed by the analysis of experimental data in numerous studies, for example, in [10] with an increase in the concentration of CMC and PAC in mineralized, polymer-clayey and mineralized polymer-clay solutions, the viscosity increases due to an increase in the intermolecular interaction of polymer chains, which is therefore reduces filtration of drilling mud. The work [17, 26] also confirms an increase in viscosity and a decrease in filtration with an increase in the concentration of CMC in salt-saturated polymer-clay and biopolymer solutions.

Effect of pH

The solubility of polymers depends on the pH level, which often determines the degree of ionization of functional groups located along the polymer chain. The ionized carboxyl group is a characteristic feature of most anionic polymers, including CMC, CMC.

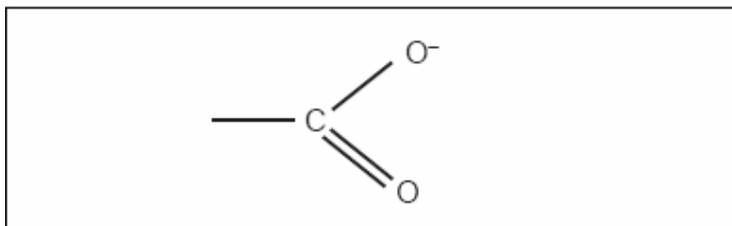


Figure 28 - Ionized carboxyl group

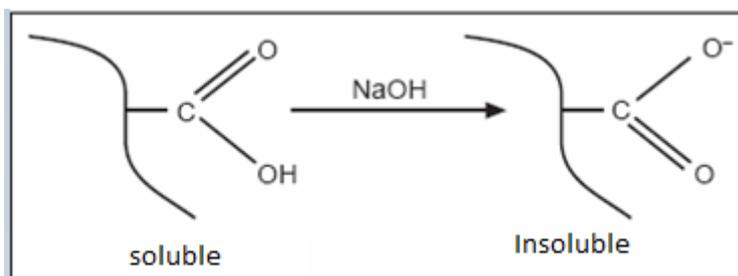


Figure 29 - Solubility of the polymer

As shown in Figure 28, an ionized carboxyl group has one oxygen atom with a double bond and one with a single bond at the final carbon atom. Ionization occurs through a reaction between a carboxyl group and an alkaline material such as caustic soda. The polymer becomes soluble when the previously insoluble carboxyl group is ionized (Figure 29). The sodium carboxyl group attracts water due to electric charges located along the polymer chain. When a polymer is added to water, a sodium ion is released from the polymer chain, leaving behind a negative charge. The polymer has become anionic, it is capable of hydration. As the polymer hydrates, a water shell grows around it and the viscosity increases.

Carboxyl groups are most soluble at pH 8.5 to 9.5. If the pH level is in the acid region (less than 7), the carboxylate group will return to its original form - carboxyl - and the polymer will lose solubility. At pH = 11 or more, CMC coagulates

from an excess of alkali and precipitates [6]; however, work [27] indicates that CMC at pH = 13 remains completely dissolved. Loss of polymer solubility will lead to a decrease in viscosity, increased filtration. Also, at a neutral pH level, the growth of bacteria is accelerated, with biodegradation, the concentration of the polymer decreases and, therefore, the viscosity decreases and the filtration increases.

Influence of the salt contents and bivalent cations in solution

The salinity of the drilling mud plays a very significant role in determining the effectiveness of the polymer. The salt limits the unfolding and expansion of the polymers, instead they take on a compact spherical shape, which decreases the solubility of the polymer. This phenomenon is the result of the “fight” of polymer molecules for water, since salt reduces the amount of free water required to hydrate and expand the polymer. When salt is added to a fresh drilling fluid with fully exposed polymers, there is an abrupt increase in viscosity. The salt, dissolving, takes water from the polymers, so the solution will lose stability for a short time and the viscosity will increase. The polymers begin to intertwine with the sludge particles and other polymers, whereupon they become smaller and regain their initial spherical shape and a significant decrease in viscosity occurs. The effectiveness of polymers in saline conditions is reduced, but this disadvantage is eliminated by increasing the concentration of the polymer. For example, to use PAC under conditions of high salt content, the concentration of these polymers must be doubled.

Bivalent ions such as calcium and magnesium have a huge impact on the parameters of the drilling fluid. Like sodium ion, which also hydrates and reduces the amount of free water available, calcium and magnesium ions hydrate even more intensely. This reduces the degree of hydration of the polymers.

In [10], studies of the salt resistance of reagents based on CMC and PAC were carried out. It was found that CMC can be effectively used in mineralized solutions containing Ca and Mg salts in a concentration of 0.5%, while PAC - 1-1.5%, while with the addition of Ca and Mg salts, the viscosity of aqueous solutions of CMC and

PAC decreases. The superiority of PAC in comparison with CMC in resistance to the aggression of salts of mono- and bivalent metals in fresh, salt-saturated and highly mineralized solutions was also confirmed in [12].

According to [18], CMC, CMC are classified as salt-resistant reagents resistant to more than 10% NaCl in terms of their content in solutions.

Temperature

With increasing temperatures, the rheological and filtration properties of drilling fluids undergo significant changes. The plastic viscosity decreases due to a decrease in the viscosity of the dispersion medium, a decrease in the degree of hydration, an intensification of Brownian motion, etc., and the filtration of the liquid phase increases. This can be seen from the experimental data in working with a biopolymer solution containing CMC [22] and CMC [24] - with an increase in temperature and pressure, the rheological properties of the solution decrease and filtration increases.

This also leads to the deterioration of the properties of filtration reducers as a result of their thermal destruction. After prolonged exposure to high temperatures and pressures, drilling fluids, as a rule, do not recover their performance. Temperature limit of stability for starch, cellulose ethers with a degree of polymerization of 300 - 130 ° C; for cellulose ethers with polymerization of 500 and more - 160 ° C; for cellulose ethers with a degree of polymerization of 500 or more and antioxidants - 190 ° C [18].

Also, the multiplication of bacteria accelerates with increasing temperatures.

Influence of microorganisms, acids

The main advantages of polysaccharides, in comparison with other classes of chemical reagents (acrylic, lignosulfonate) for drilling fluids, are their minimal impact on the reservoir properties of a productive formation due to easy and complete destruction during acidic BHT or biological destruction. However, this

advantage is also one of the significant disadvantages. With the biodegradation of the solution, the indicators of rheological properties and filtration values simultaneously deteriorate. To reduce the susceptibility of the solution to biodegradation, bactericides are additionally applied [19].

According to the results of experimental studies [12], PAC, in comparison with CMC, has an increased resistance to biodegradation in fresh, saline and highly mineralized solutions. Also, the biostability of various cellulose-containing reagents was studied in [25]. CMC is more susceptible to bacterial destruction than CMC and PAC due to alpha oxygen bonds between starch elements.

1.3 Conclusion from the literature review

Summarizing the above review, the following conclusions can be drawn:

1. At present, a significant part of the used drilling fluids are polymer-clay and biopolymer solutions, where polysaccharide modified reagents based on starch and cellulose are used to control the filtration properties.

2. The properties of CMC and CMC reagents (salt resistance and heat resistance, resistance to biodegradation, solubility) depend on the quality of the feedstock, the degree and uniformity of substitution, the use of special additives in their manufacture and the purity of the final product. Thermal and biostability of CMC is lower than that of CMC and PAC (while these properties of PAC are superior to those of CMC); CMC and CMC are salt-resistant reagents.

3. The higher the permeability of the filter cake, the higher the filtration and its thickness. It is necessary to keep filtration and cake permeability as low as possible to avoid formation contamination, accidents and complications during well construction. For these purposes, KMC and KMC filtration reducers are used. A decrease in fluid loss when using them is achieved by blocking the hole in the filter cake with increased deformable encapsulated solid particles and polymer particles;

thickening of the liquid phase of the drilling mud. The effectiveness of CMC and CMC in solutions is influenced by the polymer concentration, pH level, the content of salts, microorganisms, and temperature.

The problem posed is the need to reduce the cost of polysaccharide reagents used in drilling fluids.

To solve this problem, it is necessary to investigate the possibility of using carboxymethyl starch (CMC) in modern formulations of drilling fluids as a filtration reducer and as an alternative to more expensive reagents based on carboxymethyl cellulose (CMC and PAC). The study of various literary sources allows us to conclude that there have been no full-fledged studies confirming the effectiveness and the possibility of replacing PAC and CMC at CMC. In accordance with the purpose of the work, as well as taking into account the questions that arose during the review, the main research tasks were identified:

1. To determine the field of application of CMC and CMC, it's important to assess the stability of these reagents to the effects of salts, temperatures and biological destruction in polymer-clay fresh, polymer-clay mineralized, biopolymer clay-free potassium chloride solutions by measuring the filtration and rheological properties of drilling muds after the corresponding impacts.

2. The properties of CMC and CMC reagents (salt resistance and heat resistance, resistance to biodegradation, solubility) depend on the quality of the raw material, the degree and uniformity of substitution, the use of special additives in their manufacture and the purity of the final product. The thermal and biostability of CMC is lower than that of CMC and PAC (while these properties of PAC are superior to those of CMC); CMC and CMC are salt-resistant reagents.