

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное Государственное Автономное
 Образовательное Учреждение Высшего Образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 ООП/ОПОП: «Технология строительства нефтяных и газовых скважин»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Исследование процесса деструкции жидкостей ГРП различными кислотами

УДК: 622.276.66.

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович		13.06.2023

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова Валентина Николаевна	к.т.н.		14.06.2023

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения нефтегазового дела	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н.		14.06.2023

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения общетехнических наук	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		15.06.2023

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев Константин Мадестович	к.х.н.		14.06.2023

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК(У)-2	Способен осуществлять проектирование технологических процессов, объектов в нефтегазовой отрасли с использованием компьютерных технологий
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК(У)-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами строительства скважин
ПК(У)-2	Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию бурового оборудования
ПК(У)-3	Способен планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы
ПК(У)-4	Способен проводить анализ и обобщение научно-технической информации в области строительства скважин
ПК(У)-5	Способен разрабатывать методическое обеспечение для первичной периодической подготовки и аттестации специалистов в области строительства скважин

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное Государственное Автономное
 Образовательное Учреждение Высшего Образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 ООП/ОПОП: «Технология строительства нефтяных и газовых скважин»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП/ОПОП
 _____ Минаев К.М.
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович

Тема работы:

Исследование процесса деструкции жидкостей ГРП различными кислотами	
Утверждена приказом директора	№40-9/с от 09.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: процесс деструкции сшитого геля гидроразрыва.</p> <p>Предмет исследования: жидкость гидроразрыва на основе гуара.</p> <p>Область применения: системы жидкостей гидроразрыва пласта, позволяющих минимизировать загрязнение продуктивного горизонта.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор; <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения продуктивности скважины; 1.2 Разновидности ГРП 1.3 Классификация жидкостей для ГРП 1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе 1.5 Свойства жидкости разрыва на водной основе 1.6 Виды деструкции 1.7 Экологическая составляющая проведения ГРП 1.8 Заключение по литературному обзору 2. Проведение исследований по жидкостям ГРП <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Рецепттура жидкости ГРП 2.2 Приготовление жидкости ГРП 2.3 Контроль реологических параметров 2.4 Обработка экспериментальных данных 2.5 Вывод по экспериментальной части 2.6 Аналитическая часть
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Необходимость в графических материалах отсутствует</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Профессора отделения нефтегазового дела, д.э.н., Шарф И.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент отделения общетехнических дисциплин, д.т.н., Сечин А.А.</p>
<p>Часть на иностранном языке</p>	<p>Доцент отделения иностранных языков, к.ф.н., Айкина Т.Ю.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Study of the process of fluid degradation in hydraulic fracturing using various acids.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p style="text-align: center;">10.02.2023</p>
--	---

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент отделения нефтегазового дела</p>	<p>Глотова Валентина Николаевна</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>10.02.2023</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2БМ13</p>	<p>Шамсадов Изновр Ризванович</p>		<p>10.02.2023</p>

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело, ООП: Технология строительства нефтяных и газовых скважин

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на строительство эксплуатационной скважины на Рогожниковском нефтяном месторождении с применением формиатных буровых растворов, содержащих соль
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ul style="list-style-type: none"> • ФЕР 01-02-099-06 • ФЕР 01-02-100-06 • СНиП IV-5-82 Сборник 49. • РД 39-0148052-537-87 • ВСН 39-86 • ГЭСН 04-01-005-06 • ГЭСН 04-02-002-12
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации (1 часть) ФЗ №146 от 31.07.1998 в ред. от 28.03.2023 Налоговый кодекс Российской Федерации (2 часть) ФЗ №117 от 05.08.2000 в ред. от 28.04.2023

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспективности строительства скважины на Рогожниковском нефтяном месторождении с применением формиатных буровых растворов, содержащих соль
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при проведении операций по строительству эксплуатационной скважины на Рогожниковском нефтяном месторождении
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет сметной стоимости строительства скважины с применением формиатных буровых растворов, содержащих соль на Рогожниковском нефтяном месторождении Западной Сибири

Перечень графического материала

Таблица - Сводный сметный расчет

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н.		13.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович		13.03.2023

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2БМ13		ФИО (полностью) Шамсадов Изновр Ризванович	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело/Технология строительства нефтяных и газовых скважин

Тема ВКР:

Исследование процесса деструкции жидкостей ГРП различными кислотами

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение:

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

- **Объект исследования:** процесс деструкции сшитого геля на основе гуаровой смолы.
- **Область применения:** системы жидкостей гидроразрыва пласта, позволяющих минимизировать загрязнение продуктивного горизонта.
- **Рабочая зона:** лаборатория технических жидкостей
- **Размеры помещения (климатическая зона*):** 7*8 м.
- **Количество и наименование оборудования рабочей зоны:** электронные весы ЕК-6000Н, верхнеприводная мешалка ES-8300D, ротационный вискозиметр OFITE 800, металлические 4-шкальные рычажные весы OFITE, пикнометр алюминиевый ПК-100А (100 мл).
- **Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:** приготовление жидкостей гидроразрыва и составов брейкеров, замер и анализ реологических параметров жидкостей.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Инструкция №13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научноинновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы».
- Приказ Минтруда России от 09.12.2014 №997н "Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными

	<p>условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 № 426-ФЗ. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 № 197-ФЗ. • ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов • Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пониженная влажность воздуха; 2. Температура воздуха в лаборатории; 3. Отсутствие или недостаток естественного света; 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5. Загазованность воздуха рабочей среды; 6. Повышенная температура поверхности оборудования. <p><i>Опасные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Химические (раздражающие и токсические); 2. Электрический ток <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: фартук из полимерных материалов с нагрудником (дежурный); перчатки с полимерным или с точечным покрытием (12 пар; до износа); перчатки резиновые или из полимерных материалов (12 пар, до износа); очки защитные (до износа); средство индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующее или изолирующее (до износа).</p> <p>Расчет: производился расчет системы освещения</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Воздействие на селитебную зону:</i> разлив химических реагентов • <i>Воздействие на литосферу:</i> химическое загрязнение почв в результате разлива химикатов. • <i>Воздействие на гидросферу:</i> рост концентрации ионов тяжелых металлов в поверхностных водах в результате воздействия химических реагентов на почву и ее составляющие • <i>Воздействие на атмосферу:</i> испарение кислот

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	Возможные ЧС: Пожар Типичная ЧС: в пределах лаборатории также является пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО (полностью)	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		13.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО (полностью)	Подпись	Дата
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович		13.03.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное Государственное Автономное
 Образовательное Учреждение Высшего Образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Уровень образования: Магистратура
 ООП/ОПОП: «Технология строительства нефтяных и газовых скважин»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения: весенний семестр 2022/2023 учебного года

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович

Тема работы:

Исследование процесса деструкции жидкостей ГРП различными кислотами
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	14.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02.2023	1. Составление списка необходимых источников по тематике диссертации	5
25.02.2023	2. Проведение литературного обзора по тематике диссертации	35
29.03.2023	3. Проведение экспериментов по оценке влияния кислот в различных концентрациях на реологические свойства жидкостей ГРП	20
22.04.2023	4. Анализ полученных экспериментальных данных, промежуточная аттестация	10
15.05.2023	5. Формулирование выводов	10
28.05.2023	6. Предварительная защита	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова Валентина Николаевна	к.т.н.		10.02.2023

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев Константин Модестович	к.х.н.		10.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович		10.02.2023

Реферат

Магистерская квалификационная работа содержит 109 страниц, 12 рисунков, 12 таблиц, 50 литературных источников, 3 приложения.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта (ГРП), призабойная зона пласта (ПЗП), загрязнение проппантной пачки, жидкости ГРП, гуаровая смола, брейкеры, молочная кислота, лимонная кислота, деструкция жидкости ГРП, пластическая вязкость, щелочность, диспергирование. Объектом исследования является процесс деструкции сшитого геля ГРП на основе гуара. Цель работы – исследование влияния различных концентраций разных типов брейкеров на технологические характеристики жидкости ГРП на основе гуара. Задачи работы: - произвести литературный обзор источников по данной магистерской теме; - определить методику проведения экспериментальной части работы; - провести эксперименты с выбранными брейкерами; - обработать полученные экспериментальные данные; - сделать вывод. В роли основного оборудования в ходе работы использовали высокоскоростную мешалку ES-8300D и ротационный вискозиметр модели OFITE 800 для исследования реологических характеристик сшитого геля. В процессе исследования были изучены основные факторы, влияющие на процесс ГРП. Рассмотрены существующие разновидности химической деструкции. Описаны методики проведенных экспериментов, проведена обработка полученных данных. Проанализировано влияние различных концентраций кислот в качестве брейкера на пластическую вязкость сшитого геля на основе гуара.

В результате исследования предложены оптимальные концентрации брейкера на основе кислот, которые возможно использовать для разрушения сшитого геля на основе гуара. Область применения: системы жидкостей гидроразрыва пласта, позволяющих минимизировать загрязнение продуктивного горизонта. Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.

В данной работе использованы некоторые термины с соответствующими определениями: гидравлический разрыв пласта (ГРП) – механический способ воздействия на продуктивные пласты, при котором порода разрывается по плоскостям минимальной прочности под действием избыточного давления, создаваемого закачиваемой в скважину жидкостью гидроразрыва. гидропескоструйная перфорация – разрушение преграды в результате абразивного и гидромониторного воздействия на них высокоскоростных песчано-жидкостных струй, вылетающих из насадок пескоструйного перфоратора, прикрепленного к нижнему концу насосно-компрессорных труб. деструкция полимеров – разрушение макромолекул полимеров под действием одного или нескольких факторов,

таких как физические, химические, биологические. Химические связи в макромолекулах разрываются во время процесса деструкции, что приводит к снижению степени полимеризации и молекулярной массы полимера. скин-эффект – гидродинамический параметр, характеризующий дополнительное фильтрационное сопротивление течению флюидов в околоскважинной зоне пласта, приводящее к снижению добычи (дебита) по сравнению с совершенной (идеальной) скважиной.

В данной работе использованы некоторые обозначения и сокращения с соответствующими расшифровками:

ГРП – гидравлический разрыв пласта;

ПЗП – призабойная зона пласта;

ГПП – гидropескоструйная перфорация;

КРС – капитальный ремонт скважины;

ГИС – геофизические исследования скважины;

НКТ – насосно-компрессорные трубы;

АСУ – автоматизированная станция управления;

т.е. – то есть;

т.д. – так далее

др. – и другие.

Содержание

Введение.....	17
1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения продуктивности скважины.....	18
1.1 Что из себя представляет гидравлический разрыв пласта	18
1.2 Разновидности ГРП.....	19
1.3 Классификация жидкостей для ГРП	21
1.3.1 Функции жидкости ГРП	21
1.3.2 Жидкости разрыва на водной основе.....	23
1.3.3 Жидкости на нефтяной основе.....	23
1.3.4 Жидкости ГРП на основе многофазных смесей	24
1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе.....	27
1.4.1 Гуар	27
1.4.2 Сшиватели жидкости разрыва.....	28
1.4.3 Деструкторы.....	29
1.4.4 Стабилизаторы.....	30
1.4.5 Бактерициды	30
1.4.6 Ингибиторы глини.....	31
1.4.7 Буферы и регуляторы pH.....	31
1.4.8 Понижители водоотдачи.....	32
1.4.9 Понижители трения	32
1.4.10 Проппант	33
1.5 Свойства жидкости разрыва на водной основе	34
1.5.1 Способность удерживать и транспортировать проппант	35
1.5.2 Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи	36
1.5.3 Какие потери давления происходят из-за трения.....	36
1.5.4 Совместимость с горными породами.....	37
1.5.5 Удаление жидкости разрыва из скважины	38
1.6 Виды деструкций	39

1.6.1	Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантовой пачки.....	39
1.6.2	Кольматация порового пространства проппантной пачки, если жидкость разрыва на водной основе.....	39
1.6.3	Кольмотация порового пространства проппантной пачки, если жидкость разрыва на углеводородной основе.....	40
1.6.4	Виды химической и физической деструкции.....	41
1.6.5	Выбор самого эффективного процесса деструкции.....	41
1.7	Экологическая составляющая проведения ГРП.....	42
1.8	Заключение по литературному обзору.....	44
2	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
2.1	Расчет сметной стоимости подготовительных работ.....	46
2.2	Расчет сметной стоимости монтажных-демонтажных работ.....	46
2.3	Расчет продолжительности строительства скважины.....	47
2.4	Расчет сметной стоимости бурения и крепления скважин.....	49
2.5	Расчет стоимости освоения скважины.....	52
2.6	Сводный сметный счет.....	54
2.7	Итоги по финансовой части.....	56
3	Социальная ответственность.....	57
3.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	57
3.2	Профессиональная социальная безопасность.....	59
3.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект.....	59
3.2.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лабораторном помещении при проведении исследований.....	60
3.2.3	Обоснование мероприятий по снижению воздействий.....	68
3.3	Экологическая безопасность.....	68
3.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	68
3.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	69
3.3.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	70

3.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
3.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать жидкость гидроразрыва пласта	70
3.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	71
3.4.3	Мероприятия по предотвращению ЧС и разработка порядка действия.....	71
	Заключение.....	75
	Список литературы	77
	Приложение А.....	82
	Приложение Б	84
	Приложение В.....	85

Введение

В настоящее время, для повышения продуктивности и приемистости нагнетательных скважин путем вовлечения слабо дренируемых зон и пропластков, широко используется метод гидравлического разрыва пласта (ГРП). Этот метод включает закачку специальной жидкости ГРП под высоким давлением в скважину для формирования трещин в пласте, через которые флюиды могут проникать. Для поддержания трещин открытыми, в скважину также вводится проппант.

Однако, возникает проблема удаления субстанции жидкости ГРП из призабойной зоны пласта для обеспечения беспрепятственного притока флюида в скважину. В промышленности часто возникают сложности с крайне недостаточной степенью разрушения сшитого геля перед его непосредственным удалением из скважины.

Предотвратить ликвидацию жидкости ГРП может неправильный выбор специальных добавок (брейкеров) и их комбинаций, которые не оптимально соответствуют эффективному разрушению межмолекулярных связей конкретного геля; неправильная рецептура, приводящая к низкокачественным результатам деструкции; а также игнорирование необходимых рабочих условий, при которых брейкеры не могут полностью реализовать свой потенциал.

Особое внимание следует уделить правильному выбору оптимальной концентрации вводимых брейкеров, что также становится причиной затруднения контролируемого разложения вязкого геля в жидкий флюид. Это существенно влияет на эффективность разрушения сшитого геля и подчеркивает важность исследования данной темы. При проведении исследований будет произведен анализ технологической составляющей жидкости ГРП при добавлении в нее различных деструкторов и их комбинирования.

Анализирование, покажет в каком направлении следует продолжать исследования технологической составляющей различных аспектов жидкости гидроразрыва пласта. Которое в свою очередь имеет важное значение для оптимизации процесса разрушения сшитого геля и выбора наиболее эффективных концентраций брейкеров.

1 Гидравлический разрыв пласта как метод повышения продуктивности скважины

1.1 Что из себя представляет гидравлический разрыв пласта

Гидравлический разрыв пласта представляет собой эффективный метод для интенсификации добычи нефти и газа из скважин и увеличения приточной способности нагнетательных скважин [1]. Этот подход основан на гидромеханическом воздействии на продуктивный пласт, что приводит к формированию длинных трещин в породе под воздействием давления, создаваемого закачкой специальной жидкости.

Создание сети трещин благоприятно влияет на гидравлическую проводимость породы пласта и расширяет зону дренирования скважины. Это, в свою очередь, обеспечивает более свободный проток флюида через породу, значительно увеличивая дебит скважины. Благодаря этому увеличению производительности, скважина способна добывать несколько раз больше углеводородных запасов, что приводит к существенному увеличению выходной продуктивности скважины.

Таким образом, гидравлический разрыв пласта представляет собой инновационный подход, который способствует более эффективной добыче углеводородных ресурсов, обеспечивая увеличение притоков и максимальную выдачу запасов нефти и газа.

ГРП применяется в скважинах:

- при опробовании был слабый приток нефти;
- с высоким пластовым давлением, но с низкой проницаемостью коллектора;
- имеющие заниженный дебит по отношению к окружающим;
- с загрязненной призабойной зоной;
- с высоким газовым фактором для его снижения;
- нагнетательных с низкой приёмистостью;
- нагнетательных для расширения интервала поглощения.

Гидравлический разрыв пласта сложный и высокотехнологичный метод, требующий безошибочной реализации, поскольку даже небольшая ошибка может привести к отсутствию дебита скважины. Одним из критически важных факторов, влияющих на успешную реализацию гидравлического разрыва пласта, является использование специальной жидкости разрыва.

Технологическая жидкость для гидравлического разрыва должна соответствовать ряду требований. Прежде всего, минимальное количество жидкости должно использоваться для создания длинных трещин. Вязкость жидкости должна обладать высокой несущей способностью, чтобы эффективно доставить проппант или песок в

трещину и равномерно распределить их по всей ее длине.

Также жидкость разрыва должна иметь низкое гидравлическое сопротивление и достаточную сдвиговую устойчивость, чтобы обеспечить максимально возможную скорость закачки в соответствии с конкретными геолого-техническими условиями. Она должна обладать регулируемой способностью к деградации в пластовых условиях. При этом важно, чтобы не образовывался нерастворимый осадок, который может снизить проницаемость пласта и препятствовать равномерному распределению проппанта или песка в трещине.

Как выглядит гидроразрыв пласта в профиль (рис. 1).

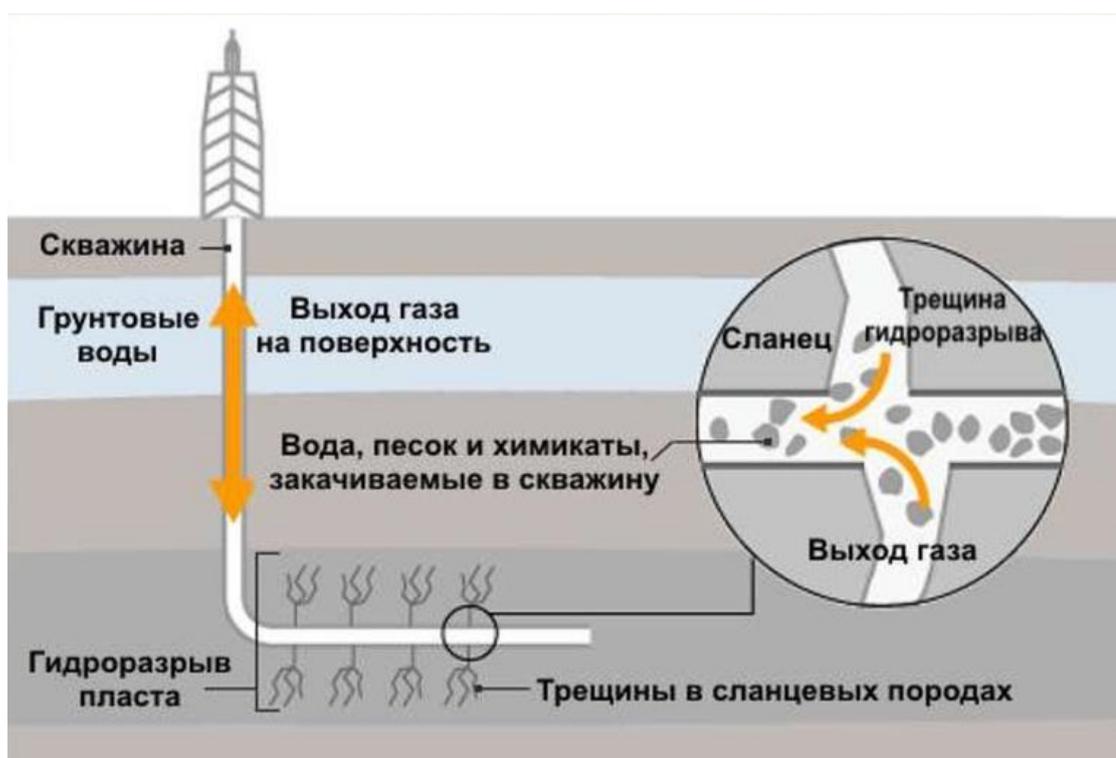


Рисунок 1 – Гидравлический разрыв пласта

Под давлением нагнетающим создаются трещины в горной породе, которые позволяют извлекать больше нефти.

Эти требования к жидкости разрыва являются ключевыми для обеспечения успешной реализации гидравлического разрыва пласта. Они обеспечивают эффективное формирование трещин и оптимальное использование скважины для максимального извлечения углеводородных запасов.

1.2 Разновидности ГРП

Существует множество видов ГРП, основные из которых [2]:

1. Стандартный ГРП (Standard Fracturing): Это наиболее распространенный и основной метод гидроразрыва пласта, при котором гидроразрывная жидкость под высоким давлением закачивается в скважину для создания трещин в

пласте.

2. **Объемный ГРП (Volume Fracturing):** Этот метод ГРП включает использование большого объема гидроразрывной жидкости, которая подается в скважину с высоким давлением для создания большого количества трещин и максимального покрытия пластовой зоны.
3. **Кислотный ГРП (Acid Fracturing):** В этом методе гидроразрывной жидкости добавляют кислоту, которая помогает разрушить и растворить породные материалы вокруг трещин, увеличивая их проницаемость. Кислотный ГРП особенно полезен в карбонатных пластах.
4. **Пенный ГРП (Foam Fracturing):** В этом методе гидроразрывной жидкости добавляют пенообразующие агенты, чтобы создать пену. Пенный ГРП обеспечивает лучшую контролируемость трещин и увеличивает эффективность пропантивования.
5. **Гибридный ГРП (Hybrid Fracturing):** Гибридный ГРП комбинирует различные методы и технологии гидроразрыва пласта, например, сочетание стандартного и объемного ГРП или других комбинаций для достижения оптимальных результатов.
6. **Направленный ГРП (Directional Fracturing):** В этом методе используются специальные техники и инструменты для создания трещин с определенным направлением. Направленный ГРП позволяет достичь целевых зон и управлять направлением распространения трещин.
7. **Поинтервально-направленный ГРП (Interval-Selective Fracturing):** Этот метод ГРП предполагает проведение разрыва пласта в определенных интервалах скважины, выбранных на основе геологических данных. Таким образом, трещины формируются исключительно в целевых пластовых зонах.
8. **Ненаправленный многократный ГРП (Non-Directional Multi-Fracturing):** В этом методе выполняется серия разрывов пласта без учета определенного направления трещин. Целью является создание множественных трещин в разных направлениях для максимального притока флюидов.
9. **Многостадийный ГРП (Multi-Stage Fracturing):** Этот метод ГРП предусматривает деление скважины на несколько секций или ступеней, где каждая ступень подвергается отдельному разрыву пласта. Это позволяет эффективно проработать разные участки пласта и максимизировать общий приток флюидов.

1.3 Классификация жидкостей для ГРП

1.3.1 Функции жидкости ГРП

Для эффективного создания трещин в процессе гидравлического разрыва пласта применяется последовательная закачка трех видов жидкостей: жидкости разрыва, жидкости-песконосителя и продавочной жидкости. Каждая из этих жидкостей выполняет свою функцию, важную для успешного проведения процедуры гидравлического разрыва.

Жидкость разрыва предназначена для нарушения целостности горной породы путем создания новых трещин или расширения уже существующих. Она нагнетается в призабойную зону пласта, где ее давление приводит к разрушению породы и формированию трещинного пространства.

Жидкость-песконоситель используется для транспортировки песка или других проппантовых материалов из поверхностного источника в трещину, созданную жидкостью разрыва. Она позволяет заполнить трещину проппантом, обеспечивая ее стабильность и предотвращая ее закрытие после снятия давления [3].

Продавочная жидкость применяется для задавки насосно-компрессорных труб в обрабатываемый пласт и в уже сформированную трещину, заполненную жидкостью разрыва и жидкостью-песконосителем. Она обеспечивает стабильность и герметичность трещин, поддерживая оптимальные условия для дальнейшей эксплуатации скважины.

Таким образом, последовательная закачка этих трех видов жидкостей играет ключевую роль в успешной реализации гидравлического разрыва пласта, обеспечивая формирование трещинного пространства и оптимальное использование ресурсов скважины для повышения дебита и добычи углеводородных запасов.

Основные параметры при выборе жидкости ГРП:

1. Тип жидкости: Выбор конкретного типа жидкости зависит от характеристик пласта и целей обработки. Могут использоваться водные растворы, гелевые или пенные жидкости, а также специальные полимерные композиции.
2. Требование вязкости: Необходимость достижения определенной вязкости жидкости для обеспечения эффективного разрыва пласта и создания трещин.
3. Реологические свойства жидкости: учитывается способность жидкости изменять свою вязкость и текучесть в зависимости от условий применения.
4. Экономический анализ жидкости: производится оценка затрат на приготовление и применение жидкости, а также ее влияние на общую стоимость процесса ГРП.
5. Опыт применения при ГРП на месторождении: изучаются данные о результатах применения конкретной жидкости на аналогичных

месторождениях и их эффективности.

6. Данные лабораторных исследований пласта: учитываются результаты лабораторных испытаний, которые позволяют определить взаимодействие жидкости с пластом и ее влияние на его характеристики.
7. Обеспеченность материалом: учитывается доступность и стоимость необходимых материалов для приготовления жидкости.
8. Выбор проппанта: рассматривается выбор проппанта, который будет использоваться для заполнения трещин и предотвращения их закрытия после разрыва пласта.
9. Совместимость с пластом: изучается влияние жидкости на физико-химические свойства пласта и возможность обратимого взаимодействия.
10. Совместимость с пластовым флюидом: рассматривается влияние жидкости на состав и свойства пластового флюида и его эффективность.
11. Способность удерживать проппант во взвешенном состоянии и транспортировать его в глубь трещины: определяется способность жидкости удерживать проппант и обеспечивать его равномерное распределение в трещине.
12. Обеспечение необходимой гидравлической ширины трещины для транспортировки проппанта: жидкость должна быть способна создать трещину достаточной ширины, чтобы обеспечить транспортировку проппанта.
13. Низкие фильтрационные характеристики: жидкость должна обладать низкой фильтрационной способностью, чтобы минимизировать потери давления и обеспечить эффективность разрыва пласта.
14. Легкое удаление из пласта после обработки: жидкость должна быть легко удалена из пласта после проведения ГРП, чтобы не создавать препятствий для добычи углеводородов.
15. Обеспечение как можно более низких потерь давления на трене для снижения нагрузки на оборудование ГРП и скважину: жидкость должна обладать хорошей гидравлической эффективностью и минимизировать потери давления во время процесса ГРП.
16. Простое и легкое выполнимое приготовление жидкости в промышленных условиях: учитывается простота и доступность процесса приготовления жидкости на месторождении.
17. Достаточная стабильность реологических свойств на протяжении всего времени обработки ГРП: жидкость должна сохранять стабильные

реологические свойства в течение всего процесса ГРП.

18. Экономическая эффективность, обеспечивающая приемлемую стоимость обработки: учитываются затраты на приготовление и применение жидкости, а также ее влияние на общую стоимость процесса ГРП и его экономическую целесообразность.

Все эти параметры совместно определяют наиболее подходящую жидкость для гидравлического разрыва пласта в конкретных условиях месторождения, обеспечивая эффективность процесса и оптимальное использование ресурсов.

1.3.2 Жидкости разрыва на водной основе

В настоящее время примерно 80% гидравлического разрыва пласта (ГРП) осуществляется с применением водных жидкостей, которые дополняются различными химическими добавками с целью достижения необходимых реологических характеристик. Этот подход отличается универсальностью и обладает целым рядом существенных преимуществ.

Жидкости на водной основе широко применяются в ГРП благодаря своей доступности и широкому спектру применения. Вода, как основной компонент, является дешевым и легко доступным ресурсом. Более того, водные жидкости в целом имеют низкую токсичность и минимальное воздействие на окружающую среду, что является важным аспектом с точки зрения экологической безопасности [4].

Дополнительные химические реагенты, добавляемые в жидкости на водной основе, способны значительно изменять их реологические свойства. Это позволяет адаптировать жидкости под конкретные геолого-технические условия и требования к ГРП. Например, добавление реагентов может улучшить вязкость жидкости, увеличить ее несущую способность или изменить поверхностное натяжение, что способствует более эффективному проникновению в породу пласта и формированию трещин.

Кроме того, жидкости на водной основе могут быть легко очищены и удалены из скважины после завершения ГРП. Это упрощает процесс последующей добычи и обслуживания скважины.

Таким образом, использование жидкостей на водной основе в ГРП обладает множеством преимуществ, включая доступность, экологическую безопасность, адаптивность к условиям и легкую утилизацию. Они являются широко применяемым и эффективным решением для выполнения ГРП и интенсификации работы нефтяных и газовых скважин.

1.3.3 Жидкости на нефтяной основе

На сегодняшний день около 10% гидравлического разрыва пласта (ГРП)

осуществляется с использованием нефтяных жидкостей. Применение нефтяных жидкостей, которые прошли ряд усовершенствований, считается эффективным во многих регионах мира. Для создания таких жидкостей в настоящее время наиболее распространены использование дизельного топлива или керосина.

Преимущества использования жидкостей на нефтяной основе в ГРП включают их хорошую совместимость с нефтяными флюидами и породами пласта [4]. Это обеспечивает более эффективную передачу давления на породу и создание трещин. Кроме того, жидкости на нефтяной основе обладают высокой стабильностью и устойчивостью к высоким температурам и химическим воздействиям. Это особенно важно в условиях сложных геологических формаций или при использовании агрессивных химических реагентов.

Однако, использование жидкостей на нефтяной основе также сопряжено с некоторыми недостатками. Во-первых, они обладают более высокой стоимостью по сравнению с жидкостями на водной основе, что может повлиять на экономическую целесообразность применения. Во-вторых, утилизация жидкостей на нефтяной основе требует специальных мер безопасности и контроля для предотвращения возможного негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, использование жидкостей на нефтяной основе в ГРП имеет свои преимущества, включая хорошую совместимость с нефтяными флюидами и породами пласта, а также высокую стабильность и устойчивость. Однако, необходимо учитывать их более высокую стоимость и требования по безопасности и экологической утилизации.

1.3.4 Жидкости ГРП на основе многофазных смесей

1.3.4.1 Жидкости на основе эмульсии

Стабилизированные водно-нефтяные дисперсии представляют собой доступные варианты жидкостей для осуществления гидравлического разрыва пласта (ГРП). Обычно при формировании таких дисперсий, водная фаза загущается путем добавления полимеров, а затем углеводороды, например, дизельное топливо или керосин, смешиваются с загущенной водой. Современные полиэмульсии представляют собой прямые дисперсии, где капельки нефти распределены равномерно в непрерывной водной фазе. Соотношение фаз, такие как 50/50, 60/40 и 70/30, может изменяться в зависимости от конкретных условий и требований.

Плюсы использования водонефтяных эмульсий в ГРП включают их доступность и относительную экономичность по сравнению с другими типами жидкостей. Эмульсии обладают хорошей стабильностью и реологическими свойствами, что обеспечивает эффективное формирование трещин и распределение проппанта в трещинах. Кроме того,

эмульсии могут быть настроены с различными соотношениями фаз для оптимальной адаптации к геологическим условиям и требованиям скважины. Обладает превосходным контролем водоотдачи и очистка скважины после ГРП обычно эффективна [5].

Однако у водонефтяных эмульсий есть некоторые недостатки. Они могут быть менее эффективными в некоторых условиях, таких как высокие температуры или глубокие скважины, где химические реакции могут замедляться. Кроме того, потери давления на трение могут быть значительными, особенно при использовании обратных эмульсий. Водонефтяные эмульсии также требуют особых мер по безопасности и контролю за утилизацией из-за их нефтяной основы. Также стоит подчеркнуть, что смешивание в полевых условиях влечет более сложный процесс, в отличие от жидкостей на водной основе, так как водная фаза загущается перед приготовлением эмульсии, которая зависит от времени и эмульгаторов.

Таким образом, использование стабилизированных водонефтяных эмульсий в ГРП имеет свои преимущества, такие как доступность и реологические свойства, но также сопряжено с некоторыми ограничениями в определенных условиях. Расширенное применение и эффективность эмульсий требуют тщательной оценки конкретных параметров и требований каждой конкретной скважины.

1.3.4.2 Пенные системы

Применение пенообразующих жидкостей в качестве разрывающей среды при гидравлическом разрыве пласта (ГРП) представляет себя сложный процесс. Формирование пены достигается путем добавления поверхностно-активных веществ в загустителем насыщенную воду или нефть, которая затем смешивается с жидким азотом (N₂) или двуокисью углерода (CO₂). При использовании азота проппант транспортируется в жидкой фазе до момента, когда высокодавлением насосы превращают ее в пену. В случае использования двуокиси углерода, смесь образует вязкую эмульсию, которая также обеспечивает транспортировку проппанта до образования пены [6].

Преимущества использования пен в ГРП заключаются в том, что они позволяют снизить плотность жидкости разрыва и уменьшить ее объем, что обеспечивает меньший контакт с породой и требует меньшего количества для удаления. Особенно пены могут быть полезны при работе с пластами низкого давления. Кроме того, пенам присущи хорошие свойства транспортировки проппанта и облегчение выноса жидкости разрыва на поверхность при очистке скважины после проведения ГРП.

Однако, использование пен также сопряжено с некоторыми недостатками. Проведение ГРП с использованием пен требует более сложной и технологически сложной обработки. Также следует отметить, что эффективность применения пен зависит от

конкретных условий скважины и пласта. Некоторые пласты могут не реагировать на пены также, как другие.

Для повышения эффективности использования пен рекомендуется максимально быстро открывать скважину после проведения ГРП, чтобы газ, растворенный в жидкости, не выделялся из нее. Таким образом, применение пен требует тщательной оценки и планирования, с учетом конкретных особенностей скважины и пласта.

Преимущества использования пен:

- Снижение плотности жидкости разрыва: пены позволяют существенно снизить плотность жидкости разрыва, что улучшает возможности транспортировки проппанта и его равномерное распределение в трещинах. Это способствует более эффективному формированию трещин и увеличению продуктивности скважины.
- Увеличение контактной площади: пены могут обеспечить более широкую и равномерную распределение проппанта в трещинах, что приводит к увеличению контактной площади между проппантом и породой. Это способствует повышению гидравлической проводимости и улучшению притока нефти или газа из пласта.
- Улучшенная эффективность очистки скважины: использование пен может облегчить вынос жидкости разрыва на поверхность при очистке скважины после ГРП. Более легкая и менее вязкая структура пены способствует более эффективному удалению остаточной жидкости из трещин и повышает эффективность процесса очистки.

Некоторые недостатки использования пен:

- Техническая сложность: применение пен требует более сложной и технологически сложной обработки. Подготовка и создание стабильной пены может быть вызовом, требующим определенных навыков и оборудования.
- Зависимость от условий пласта: эффективность использования пен может зависеть от конкретных условий скважины и пласта. Некоторые пласты могут не реагировать на пены также, как другие, что может ограничить их применение.
- Увеличение затрат: пены могут быть более дорогостоящими в использовании по сравнению с другими жидкостями разрыва, такими как водные эмульсии. Это может повлиять на экономическую целесообразность применения пен.

В целом, использование пен в ГРП имеет свои преимущества, такие как снижение

плотности жидкости разрыва и облегчение транспортировки проппанта. Однако, оно также требует дополнительных усилий и технологических знаний, а его эффективность зависит от конкретных условий и требований скважины.

1.4 Компоненты, входящие в состав жидкостей разрыва на водной основе

1.4.1 Гуар

Гуар, как компонент жидкости разрыва на водной основе, является растительным полимером, получаемым из семейства бобовых [7,17]. Изначально он нашел широкое применение в промышленности, но затем был использован в гидравлическом разрыве пласта (ГРП). Гуар представляет собой полимерную структуру, состоящую из молекул маннозы и галактозы, и обладает высокой молекулярной массой.

Главная функция гуара в составе жидкости разрыва на водной основе заключается в его способности загущать и повышать вязкость жидкости. Это необходимо для обеспечения эффективной транспортировки проппанта в трещину. Гуар образует полимерную сеть внутри жидкости, увеличивая ее вязкость и способствуя более равномерному распределению проппанта в трещине. Таким образом, гуар помогает достичь лучшей гидравлической проводимости пласта и повышает эффективность ГРП.

Концентрация гуара в жидкости разрыва может варьировать в зависимости от геологических и горных условий, в которых проводятся операции. Различные геологические формации и требования к ГРП могут потребовать различных концентраций гуара для достижения оптимальных результатов.

Таким образом, гуар, как компонент жидкости разрыва на водной основе, играет важную роль в загущении и повышении вязкости жидкости, что способствует эффективной транспортировке проппанта в трещину. Варьирующиеся концентрации гуара позволяют адаптировать жидкость разрыва под конкретные геологические условия и требования операций ГРП. Структура гуара приведена на рисунке 2.

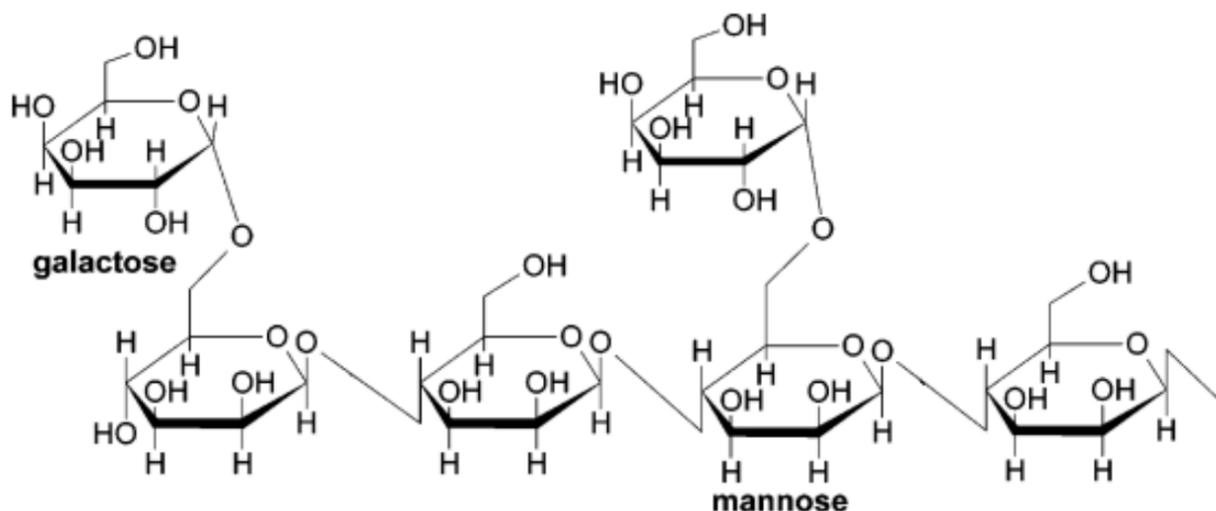


Рисунок 2 – Структура гуара

Согласно представленным данным на рисунке 2, полиманнозная цепь является основной структурой гуара, а галактоза служит ветвлениями от нее, что подтверждается исследованием Weaver и коллег [8]. Они отмечают, что при последовательном соединении шести и более маннозных элементов образуется полиманнозная спираль, которая становится нерастворимой. В результате такой реакции ожидается образование осадка, представляющего собой нерастворенный гуар, присутствующего в смеси на уровне от 6 до 10% по массе. Наличие такого осадка негативно сказывается на пропантной пачке, снижая проницаемость и проводимость.

Для решения этой проблемы, одним из частичных решений является использование полимеров, которые являются производными гуара, таких как гидроксипропилгуар (ГПГ) и карбоксиметилгидроксипропилгуар (КМГПГ). Применение этих производных гуара позволяет снизить содержание нерастворимого осадка до 2-4% по массе.

1.4.2 Сшиватели жидкости разрыва

Сшивка водорастворимых полимеров с использованием ионов металлов представляет собой важный процесс для оптимизации реологических свойств жидкости разрыва при гидравлическом разрыве пласта. Ряд металлов, включая бор, титан, цирконий, илюминий, хром, марганец и медь, широко применяются в этом процессе [9].

Сшивание происходит путем взаимодействия между ионами металлов и ОН-группами на боковых галактозных ответвлениях полимера, такого как гуар. Это приводит к изменению реологических свойств гуара и делает его более подходящим для целей гидравлического разрыва пласта.

Применение различных металлов для сшивки ограничено значениями рН, температурными диапазонами и типом полимера, который должен быть сшит [14,15]. Процесс сшивания может быть замедлен для минимизации поверхностных давлений при начальной закачке жидкости разрыва в скважину. Повышение рН жидкости разрыва является одним из способов замедления сшивания.

Один из самых распространенных и простых сшивателей - борат. Он используется в сочетании с гуаром или другими полимерами и образует высоковязкую термостабильную жидкость (с температурным ограничением около 150°C). При рН выше 8, ионы бората и гуар образуют крайне вязкую жидкость в течение нескольких секунд. Для обеспечения максимальной термостабильности и сшивки, рН и концентрация боратов должны быть оптимизированы. Оптимальный диапазон рН для высокотемпературного применения составляет 10-12, в зависимости от типа соединения бората и концентрации его ионов.

Таким образом, сшивка водорастворимых полимеров с использованием ионов металлов, включая борат, предоставляет возможность модифицировать реологические свойства жидкости разрыва и обеспечить оптимальные условия для гидравлического разрыва пласта. Однако требуется тщательное регулирование pH и концентрации сшивателей для достижения желаемых результатов в зависимости от конкретных условий и требований операции ГРП.

1.4.3 Деструкторы

Деструкторы являются важной добавкой в жидкости разрыва при проведении гидравлического разрыва пласта (ГРП) [10]. Их основная функция заключается в контролируемом разрушении вязкой жидкости разрыва до более жидкого флюида, который может быть отобран обратно из трещины. Деструкторы применяются до сшивки геля, то есть они добавляются в жидкость разрыва до формирования полимерной фильтрационной корки и проппантной пачки, чтобы обеспечить высокую гидравлическую проводимость трещины.

Деструкторы разрушают полимеры, присутствующие в жидкости разрыва, на более мелкие фрагменты с меньшим молекулярным весом. Для этой цели могут применяться различные вещества, такие как кислоты, окислители и ферменты, в зависимости от условий ГРП.

Применение растворов кислот основано на процессах гидролиза. Однако, применение неорганических кислот может вызывать активную коррозию оборудования и образование нерастворимого осадка при контакте с полимером и породами пласта. Кроме того, кислоты могут разрушать проппант, что может негативно сказаться на гидравлической проводимости трещины.

Окислители являются наиболее распространенным типом деструкторов. Они включают перкарбонат натрия, персульфат калия, гипохлорит натрия, пероксид мочевины, перманганат калия и перекись водорода. Окислители обладают замедленной активностью при температурах ниже 50°C, но их химическая активность увеличивается при повышении температуры.

Ферменты также могут использоваться в качестве деструкторов, и они способствуют снижению молекулярной массы полимера, такого как гуар. Важно отметить, что, в отличие от других типов деструкторов, ферменты не расходуются в процессе разрушения. Однако они могут подвергаться денатурации при высоких температурах и очень щелочных условиях.

Для предотвращения преждевременного разрушения жидкости разрыва, деструкторы могут быть введены в инкапсулированной форме. Это позволяет увеличить

их концентрацию в жидкости разрыва и обеспечить полное разрушение в нужный момент времени.

Таким образом, использование деструкторов является важным аспектом ГРП, позволяющим контролировать разрушение вязкой жидкости разрыва и обеспечить оптимальные условия для процесса.

1.4.4 Стабилизаторы

Для предотвращения разложения сшитых гелей на основе гуара под воздействием высоких температур, важно использовать стабилизаторы. Один из наиболее эффективных стабилизаторов, рекомендуемых в исследованиях, это тиосульфат натрия [11].

Некоторые исследователи утверждают, что стабилизаторы действуют как поглотители кислорода, растворенного в жидкости разрыва, и предотвращают разложение сшитого геля. Они также отмечают, что для обеспечения длительной стабильности жидкости разрыва рекомендуется использовать жидкости с высоким рН (от 9 до 11), поскольку при низком рН и высоких температурах (более 90°C) гуар и его производные подвержены гидролизу.

Лабораторные исследования и данные с промысловых операций показывают, что набухание и миграция глин может привести к закупорке пор коллектора и негативно сказаться на результате проведения ГРП. Глины оказывают негативное влияние на проницаемость породы из-за следующих факторов: набухание глинистых частиц, что приводит к снижению проницаемости породы, и разрушение глинистых минералов, что вызывает миграцию глинистых частиц и закупорку поровых каналов в пласте.

Следовательно, применение стабилизаторов и контроль глин важными факторами при проведении ГРП для обеспечения стабильности жидкости разрыва и минимизации негативного воздействия глин на проницаемость породы.

1.4.5 Бактерициды

Бактерициды - это добавки, которые используются в жидкостях для гидравлического разрыва пласта (ГРП) на водной основе с целью предотвращения бактериальной деградации полимера и потери вязкости. Полимеры, особенно на основе полисахаридов, являются источником питательных веществ для бактерий, что может привести к их активному размножению и деградации полимера.

Добавка бактерицидов помогает предотвратить разрушение геля путем уничтожения бактерий или подавления их активности. Бактерициды обычно содержат вещества, которые обладают антимикробными свойствами и могут убивать или ингибировать рост бактерий. Они могут быть органическими или неорганическими веществами [14,15].

Помимо предотвращения деградации полимера, использование бактерицидов в жидкостях ГРП также имеет важное значение для предотвращения образования сероводорода (H_2S) в пласте. Некоторые бактерии способны превращать сульфат-ионы в сероводород, который является токсичным и может негативно влиять на добычу углеводородов.

Таким образом, добавление бактерицидов в жидкости ГРП на водной основе является важным мероприятием для предотвращения бактериальной деградации полимера и образования сероводорода, что способствует поддержанию стабильности и эффективности ГРП.).

1.4.6 Ингибиторы глин

Ингибиторы глин - это добавки, которые используются в жидкостях для гидравлического разрыва пласта (ГРП) на водной основе с целью предотвращения набухания глин в пласте. Глины могут присутствовать в обрабатываемых зонах ГРП и вызывать различные проблемы, включая закупорку поровых каналов и снижение проницаемости породы.

Ингибиторы глин обычно представляют собой соли, такие как хлорид аммония (NH_4Cl) или хлорид калия (KCl). Они добавляются в состав жидкостей ГРП в концентрации от 1 до 3% (по массе). Эти вещества взаимодействуют с глинами, предотвращая их набухание и миграцию в поровом пространстве пласта.

Добавление ингибиторов глин в состав жидкостей ГРП помогает поддерживать проницаемость породы, предотвращая закупорку поровых каналов глинами. Это особенно важно во время ГРП, когда достижение максимальной проницаемости породы является одной из целей. Ингибиторы глин обеспечивают контроль над влиянием глин на эффективность ГРП и поддерживают стабильность процесса.

Таким образом, использование ингибиторов глин в жидкостях ГРП на водной основе является важным мероприятием для предотвращения набухания глин, обеспечивая сохранение проницаемости породы и эффективность разрыва пласта.

1.4.7 Буферы и регуляторы pH

Для регулировки pH в жидкостях гидравлического разрыва пласта (ГРП) и обеспечения эффективной работы сшивателей и брейкеров используется введение регуляторов pH. Для достижения необходимого диапазона pH могут быть добавлены дополнительные вещества, которые увеличивают или уменьшают его значение.

Одним из распространенных веществ для повышения pH является каустическая сода ($NaOH$), которая эффективно сшивает гель путем увеличения pH. Гидроксид натрия ($NaOH$) также может быть использован для этой цели.

Для снижения рН и деструкции сшитого геля используется соляная кислота (HCl). Она добавляется в жидкость разрыва для снижения рН [14,15].

В случаях, когда необходимо поддерживать постоянное значение рН в определенном диапазоне, используются буферы. Буферы обеспечивают стабильность рН и предотвращают его существенные изменения. Примерами буферов являются соли слабых кислот с сильными основаниями, такие как карбонаты натрия и калия, которые поддерживают высокие значения рН. Органические кислоты и их соли, например, уксусная кислота и диацетат натрия, могут также использоваться в качестве буферов для поддержания низких значений рН.

Использование регуляторов рН позволяет точно контролировать рН в жидкостях ГРП, обеспечивая оптимальные условия для работы шивателей и брейкеров, что в свою очередь способствует эффективному выполнению процесса ГРП.

1.4.8 Понижители водоотдачи

В жидкость разрыва пласта вводятся вещества, называемые понижателями водоотдачи, для регулировки уровня водоотдачи. Эти добавки могут иметь как твердое, так и жидкое состояние.

Твердые понижатели водоотдачи, такие как полимеры, растворимые в бензине, или кварцевая мука, иногда необходимы для контроля начальных потерь жидкости в пласте при формировании трещины [12].

Однако, необходимо учитывать, что твердые понижатели водоотдачи могут негативно сказаться на проницаемости трещины и вызвать ее повреждение. Поэтому их использование требует осторожности. В то же время, эффективная трещина с некоторым уровнем повреждения проницаемости, обеспеченная контролем водоотдачи, предпочтительнее короткой и недоразвитой трещины с минимальным количеством пропантанта, которая может возникнуть из-за повышенной водоотдачи.

Добавление понижателей водоотдачи в жидкость разрыва позволяет более эффективно контролировать потери жидкости в пласте и создавать более развитые и продуктивные трещины в процессе гидравлического разрыва пласта.

1.4.9 Понижители трения

Понижители трения вводятся в жидкость разрыва с целью снижения потерь давления на трение в процессе закачки. Это позволяет уменьшить сопротивление потоку жидкости в скважине и трубопроводах, что в свою очередь снижает энергозатраты и расходы заказчика [13].

Применение понижателей трения в жидкости разрыва позволяет улучшить эффективность процесса закачки. Они снижают трение между жидкостью и стенками

труб, что увеличивает скорость потока и позволяет достичь заданного объема закачки за более короткое время. Благодаря этому, заказчику удастся сократить расходы на оплату энергии, связанные с более эффективным использованием насосов и сокращением времени работы скважин.

Таким образом, использование понизителей трения в жидкости разрыва является важной стратегией для снижения энергозатрат и экономических затрат в процессе ГРП. Они способствуют более эффективному и экономичному проведению операций по разрыву пласта.

1.4.10 Проппант

Назначение проппанта в процессе гидроразрыва пласта заключается в поддержании открытой трещины в породе, после проведения операции гидроразрыва. Проппант — это специальный материал, обычно представлен в виде сферических частиц, который внедряется в трещины, созданные гидравлическим разрывом, с целью предотвращения их закрытия или смыкания. Проппант заполняет пространство в трещинах, обеспечивая поддержку трещин и предотвращая их закупорку [14,15].

Проппанты обладают высокой прочностью и стабильностью, чтобы выдерживать механические нагрузки и давление внутри пласта. Они также имеют определенный размер и форму, что способствует оптимальной проницаемости скважины и улучшению потока флюида через трещины. Различные типы проппанта могут использоваться в зависимости от геологических условий, характеристик пласта и требуемых параметров эксплуатации.

Главное назначение проппанта в процессе гидроразрыва пласта состоит в удержании трещин открытыми, обеспечении постоянной проводимости и увеличении дебита скважины. Проппанты позволяют улучшить дренирование нефти или газа из пласта и повысить его производительность. Они играют важную роль в успешной эксплуатации скважин и добыче углеводородов из различных геологических образований.

Проппант также имеет важное значение для обеспечения долгосрочной стабильности и эффективности гидроразрыва пласта. В процессе закачки проппанта в трещины он заполняет пространство между частицами породы, предотвращая их смещение и закрытие трещин. Это способствует сохранению гидравлической проводимости пласта на протяжении всего срока эксплуатации скважины.

Выбор оптимального типа проппанта и его размера зависит от ряда факторов, включая тип и характеристики пласта, глубину скважины, требуемый дебит и другие параметры. Проппанты могут быть изготовлены из различных материалов, таких как кварц, брузит, сферолит, керамика и другие. Каждый тип проппанта имеет свои особенности и преимущества в зависимости от условий эксплуатации и требований

проекта.

Одним из важных аспектов проппанта является его прочность. Проппанты должны выдерживать высокие давления и механические нагрузки внутри пласта, чтобы не разрушиться и не смяться под воздействием сжимающих сил. Кроме того, стабильность размера и формы проппанта играет роль в обеспечении оптимальной проницаемости трещин и эффективного потока флюида.

Проппанты являются важным компонентом технологии гидроразрыва пласта и способствуют увеличению добычи углеводородов из скважин. Они позволяют оптимизировать производительность скважины, улучшить гидравлическую проводимость пласта, предотвратить закупорку трещин и обеспечить стабильность процесса добычи. Благодаря применению проппанта гидроразрыв становится более эффективным и экономически целесообразным методом разработки месторождений углеводородов.

1.5 Свойства жидкости разрыва на водной основе

Для того чтобы жидкость разрыва соответствовала своему назначению, необходимо, чтобы она обладала рядом важных свойств [17,18,19]:

- способность удерживать проппант во взвешенном состоянии и транспортировать его в пласт. Жидкость должна обеспечивать эффективную дисперсию и распределение проппанта в трещине, чтобы обеспечить его удержание и создать пропускную способность.
- обеспечение требуемой гидравлической ширины трещины и низких фильтрационных характеристик для контроля водоотдачи. Жидкость должна быть способна создать трещину определенной ширины и иметь низкую фильтрацию, чтобы минимизировать потерю жидкости в пласт.
- снижение потерь давления на трение в процессе гидравлического разрыва пласта. Жидкость должна обладать низкой вязкостью и хорошей смазывающей способностью, чтобы снизить трение между жидкостью и стенками скважины, что позволит снизить нагрузку на оборудование.
- совместимость с горными породами и пластовыми флюидами. Жидкость должна быть совместимой с геологическими условиями, чтобы минимизировать негативное влияние на пластовые флюиды и породы.
- стабильность реологических свойств на протяжении всего времени проведения гидравлического разрыва пласта. Жидкость должна сохранять свои реологические свойства и эффективность во время операций ГРП.
- легкость удаления из пласта после завершения операций ГРП. Жидкость

должна быть легко удаляемой из трещины после завершения разрыва пласта, чтобы не оказывать негативного влияния на дальнейшую эксплуатацию скважины.

- простота приготовления в промысловых условиях. Жидкость должна быть легко приготавливаемой и управляемой в условиях реальной нефтяной или газовой месторождения.
- экономическая эффективность, выражающаяся в приемлемой стоимости проведения гидравлического разрыва пласта. Жидкость должна быть доступной по стоимости и обеспечивать оптимальное соотношение между затратами и получаемыми результатами.
- безопасность в обращении. Жидкость должна быть безопасной для работы персонала и окружающей среды, не содержать вредных или токсичных компонентов.

Все эти свойства в совокупности обеспечивают эффективное и безопасное выполнение гидравлического разрыва пласта.

1.5.1 Способность удерживать и транспортировать проппант

Для эффективного проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП) необходима жидкость, которая обладает способностью транспортировать проппант через поверхностное оборудование, насосно-компрессорные трубы (НКТ) и перфорационные отверстия в пласт.

Вязкость жидкости является одним из ключевых факторов, влияющих на ее способность транспортировать проппант. Жидкость должна иметь достаточную вязкость, чтобы проппант мог равномерно распределяться и не оседать во время закачки в трещину. Высокая вязкость жидкости помогает обеспечить устойчивое перемещение проппанта и предотвращает его слипание или сгущение.

Кроме вязкости, размер, плотность и концентрация проппанта также влияют на способность жидкости транспортировать его. Размер проппанта должен быть оптимальным, чтобы он мог свободно перемещаться в жидкости и не вызывал закупорку или перекрытие трещин. Плотность проппанта должна быть согласована с плотностью жидкости, чтобы обеспечить равномерное распределение проппанта и предотвратить его оседание. Концентрация проппанта должна быть достаточной для обеспечения нужного объема проппанта в трещине.

В целом, способность жидкости транспортировать проппант во взвешенном состоянии зависит от комплексного сочетания ее реологических свойств, таких как вязкость, плотность и текучесть, а также от свойств проппанта. Это позволяет достичь

эффективного закачивания проппанта в трещины и обеспечить его равномерное распределение для оптимального увеличения гидравлической проводимости пласта и увеличения дебита скважины.

1.5.2 Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи

Во время проведения гидравлического разрыва пласта, контроль водоотдачи играет критическую роль, поскольку он влияет на размеры трещин, которые могут быть созданы при заданном объеме жидкости разрыва. Высокая скорость фильтрации жидкости в пласте может снизить эффективность разрыва. Эффективность жидкости определяется отношением объема трещины к объему закачиваемой жидкости [12].

Низкая эффективность жидкости может привести к преждевременному закрытию трещины. Когда это происходит, устьевое давление резко повышается, и дальнейшая закачка жидкости становится невозможной, что приводит к преждевременному прекращению операции.

Фильтрация жидкости в пласте может значительно влиять на проницаемость и проводимость трещины. Высокие потери жидкости могут привести к снижению проводимости из-за образования фильтрационной корки на стенках трещины и образования полимерных сгустков в проппантной упаковке. Наличие твердых частиц также может снизить проводимость трещины. Однако, эти негативные эффекты могут быть минимизированы с помощью следующих подходов:

- Контроль водоотдачи, например, путем использования сшитых гелей, которые помогают уменьшить фильтрацию и удерживают жидкость в трещине.
- Оптимизация концентрации полимерных загустителей для обеспечения нужной вязкости и контроля над фильтрацией.
- Использование эффективных разрушителей вязкости, которые помогают уменьшить вязкость жидкости разрыва, улучшая ее поток и снижая фильтрацию.

Эти меры помогают улучшить эффективность гидравлического разрыва пласта, минимизировать потери жидкости и обеспечить лучшую проводимость трещины.

1.5.3 Какие потери давления происходят из-за трения

Вязкие жидкости, используемые в процессе гидравлического разрыва пласта (ГРП), обычно вызывают большие потери давления на трение по сравнению с разжижающимися жидкостями. В связи с этим применяется процесс сшивания, при котором химически замедленный сшиватель добавляется в гель, который будет закачиваться в скважину. Это позволяет контролировать процесс сшивания и достичь более высокой вязкости на входе в продуктивный пласт [12].

Процедура отложенного сшивания имеет ряд преимуществ. Она позволяет закачать в трещину большее количество проппантной смеси, что в свою очередь создает возможность формирования широкой трещины после ее закрытия. Широкая трещина способствует повышению продуктивности скважины, поскольку обеспечивает более широкую поверхность контакта между пластом и скважиной, что способствует увеличению потока нефти или газа. Таким образом, использование отложенного сшивания и закачка большого количества проппанта помогают поддерживать высокую продуктивность скважины.

Однако стоит отметить, что процесс сшивания и отложенного сшивания требуют тщательного контроля и оптимизации параметров. Неправильное сшивание или недостаточное количество проппанта могут привести к неэффективному разрыву пласта и снижению продуктивности скважины. Поэтому важно проводить подробные исследования и определение оптимальных условий для каждой конкретной скважины и геологических условий.

1.5.4 Совместимость с горными породами

В процессе выполнения ГРП особенно важно обеспечить совместимость рабочей жидкости с породой и пластовыми флюидами, с которыми она контактирует. Лабораторные исследования на основе образцов керна играют важную роль при планировании операции ГРП на новых месторождениях, позволяя определить совместимость используемой жидкости с породой и флюидами. Несовместимая жидкость может привести к таким проблемам, как разбухание и миграция глин, образование эмульсий и ухудшение проницаемости и проводимости трещины после проведения ГРП.

В целях обеспечения совместимости рабочей жидкости на водной основе с горными породами часто применяются различные добавки. Одним из распространенных вариантов является введение хлорида калия (KCl), хлорида аммония (NH_4Cl) или органических стабилизаторов глин [12].

Добавка хлорида калия (KCl) может быть полезной в случаях, когда жидкость разрыва взаимодействует с глинистыми породами. KCl помогает уменьшить негативные эффекты взаимодействия между жидкостью и глиной, что в свою очередь может минимизировать возможные проблемы, связанные с отложением глинистых частиц и плохой проницаемостью породы.

Хлорид аммония (NH_4Cl) также может быть добавлен в рабочую жидкость для стабилизации глин и предотвращения их негативного влияния. (NH_4Cl) обладает свойством уменьшать поглощение воды глинами, что помогает сохранять их структуру и предотвращать набухание и отекаание породы, что может привести к ухудшению

проницаемости.

Органические стабилизаторы глин также широко используются для обеспечения совместимости между жидкостью разрыва и глинистыми породами. Эти стабилизаторы помогают предотвратить адсорбцию жидкости на поверхности глины и сохранить ее структуру, что способствует поддержанию проницаемости породы.

Введение таких добавок в рабочую жидкость на водной основе позволяет достичь совместимости с горными породами, уменьшить негативные воздействия взаимодействия и обеспечить более эффективное проведение процесса гидравлического разрыва пласта. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) также часто добавляются в жидкости ГРП для предотвращения образования вторичных эмульсий в нефтяных скважинах. Эти вещества помогают разделить нефтяную фазу от водной фазы, уменьшая возможность образования эмульсий, которые могут затруднить процесс добычи.

Все эти меры направлены на обеспечение эффективности и безопасности операции ГРП, минимизируя негативное воздействие на породу и максимизируя проникновение флюидов через трещины.

1.5.5 Удаление жидкости разрыва из скважины

После успешной транспортировки проппанта в трещину, жидкость разрыва должна быть извлечена из пласта и удалена с поверхности в максимально возможном объеме. В этом процессе важную роль играют эффективные разрушители вязкости, или брейкеры, которые добавляются в состав жидкости ГРП на этапе ее приготовления. В предыдущем разделе была представлена краткая характеристика веществ, используемых в качестве брейкеров.

Поскольку условия пласта могут значительно отличаться, оптимальная процедура удаления рабочей жидкости с поверхности определяется после проведения нескольких ГРП на конкретной территории. В случае высокодебитных газовых скважин, где был проведен ГРП с использованием проппанта, возможна необходимость изменения процедуры удаления жидкости с целью оптимизации закрытия трещины и контроля количества проппанта, который будет извлечен на поверхность.

Анализ возможных процессов деструкции полимерных реагентов, включая брейкеры, представлен в соответствующем разделе. Этот анализ позволяет определить эффективность разрушения вязкости жидкости разрыва и контролировать процесс ее удаления с поверхности [12].

Путем оптимизации процедуры возврата рабочей жидкости и контроля количества проппанта, который будет извлечен, можно достичь лучших результатов в процессе ГРП и обеспечить эффективное закрытие трещины и максимальную продуктивность скважины.

1.6 Виды деструкций

Завершение операции гидравлического разрыва пласта (ГРП) включает важный этап - удаление жидкости ГРП из пласта. Этот процесс является критическим для поддержания проницаемости и проводимости проппантной пачки на необходимом уровне.

Для достижения данной цели требуется применение наиболее эффективного типа деструктора. Деструкторы, или брейкеры, жидкостей ГРП, которые используются в настоящее время, представляют различные методы деструкции.

Цели данного раздела включают:

- определение негативного воздействия жидкостей ГРП на проницаемость и проводимость проппантной пачки.
- изучение различных методов деструкции жидкостей ГРП, которые описываются в научной литературе.
- оценка эффективности этих методов деструкции для дальнейших исследований.

Анализ и понимание воздействия жидкостей ГРП на проппантную пачку являются ключевыми аспектами в контроле процесса удаления жидкости и обеспечении оптимальной производительности ГРП. Различные методы деструкции могут включать химические реагенты, термическую обработку или комбинацию этих подходов.

Исследования в этой области позволят определить наиболее эффективные и безопасные методы деструкции жидкостей ГРП, что приведет к повышению производительности и успешному завершению операции ГРП.

1.6.1 Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантовой пачки

При проведении операций гидроразрыва с использованием жидкостей ГРП на водной основе возникает существенная проблема, связанная с ухудшением фильтрационных свойств коллектора из-за кольматации порового пространства пласта и образовавшихся трещин остатками полимерного геля, которые не были полностью разрушены [13].

1.6.2 Кольматация порового пространства проппантной пачки, если жидкость разрыва на водной основе

Ограничение проводимости проппантовой пачки из-за остаточной жидкости разрыва является одной из основных проблем, препятствующих достижению максимального дебита добывающих скважин после гидравлического разрыва пласта. Более того, этот эффект снижения проводимости становится более значимым в пластах с высокой средней проницаемостью.

Жидкости, используемые при гидравлическом разрыве пласта, обычно готовятся на основе гелей на основе гуаровой смолы с добавлением сшивающих и разрушающих полимеров. Если полимеры не полностью разрушаются после размещения проппантовой пачки, образуется вязкая гелеобразная масса, которая трудно удаляется и блокирует как трещиновое пространство, так и поровое пространство продуктивного пласта.

Для успешной фильтрации геля из трещины путем разрушения жидкости разрыва необходимо достичь вязкости, сопоставимой с вязкостью воды.

Неполное разрушение остаточного геля приводит к снижению относительной проницаемости трещины и блокированию притока жидкостей к скважине. В такой ситуации требуется использование дополнительных методов очистки при разработке скважины.

Образование фильтрационной корки на поверхности трещины является одним из негативных факторов, которые могут снизить проводимость трещины после гидравлического разрыва. В процессе операции жидкость разрыва проникает в пласт через трещины, создавая высокое давление внутри трещины, которое превышает давление в коллекторе. Однако большие размеры молекул сшитого гуара, используемого в качестве загустителя, не позволяют им проникнуть в поровую матрицу пласта, что приводит к образованию плотной полимерной корки на поверхности трещины [14].

Кроме того, при закрытии трещины и снижении давления после проведения гидравлического разрыва происходит уплотнение проппантной пачки, что способствует дополнительному вытеснению воды из полимерной сетки в пласт. Это приводит к еще большей концентрации полимера и образованию сверхвязкой гелеобразной корки, которая блокирует поровое пространство трещины.

Для предотвращения образования фильтрационной корки и поддержания проводимости трещины необходимо применять эффективные методы деструкции полимерной сетки. Эти методы могут включать использование химических деструкторов, которые разрушают полимерный материал и уменьшают его вязкость, или применение термической обработки, которая способствует разложению полимера.

Такие методы деструкции полимерной сетки помогут поддерживать открытость трещины, улучшать проницаемость и обеспечивать более эффективную добычу ресурсов из пласта после проведения гидравлического разрыва.

1.6.3 Кольмотация порового пространства проппантной пачки, если жидкость разрыва на углеводородной основе.

Во время проведения данной операции сталкиваются с распространенной проблемой образования асфальто-смолистых и парафиновых отложений (АСПО) в

призабойной зоне пласта (ПЗП). В различных типах сырой нефти содержатся органические отложения, такие как парафины и асфальтены, присутствующие в разных количествах [15].

Характер и состав нефти, а также термобарические и геолого-технические условия эксплуатации нефтяных месторождений определяют разнообразие АСПО. При удалении этих отложений с использованием растворителей необходимо учитывать как термодинамические, так и кинетические аспекты процесса растворения.

Важно отметить, что парафины могут быть растворены в органических растворителях, в то время как асфальтены не обладают такой растворимостью.

1.6.4 Виды химической и физической деструкции

Виды химической и физической деструкции жидкости гидроразрыва пласта включают:

1. Химическая деструкция: Это процесс разрушения геля гидроразрыва пласта с использованием химических реагентов, известных как брейкеры. Брейкеры добавляются в состав геля и вызывают химическую реакцию, которая разрушает полимерную структуру геля, позволяя ему эффективно вымываться из трещины.
2. Физическая деструкция: Этот вид деструкции включает физические силы или процессы, которые приводят к разрушению геля гидроразрыва пласта. Некоторые методы физической деструкции включают механическое воздействие, такое как применение высокого давления или сдвиговых сил, для разрушения структуры геля. Также могут использоваться термические методы, например, нагревание геля для его разрушения.

Оба этих вида деструкции применяются для контролируемого разрушения геля гидроразрыва пласта, чтобы обеспечить эффективное освобождение газа или нефти из пластовых пород. Они играют важную роль в процессе гидроразрыва пласта и в оптимизации производительности скважин.

1.6.5 Выбор самого эффективного процесса деструкции

Среди многих химическая деструкция кислотного типа проявляет наибольшую эффективность по сравнению с другими видами деструкции. Далее по значимости следуют термическая, окислительная и механическая деструкция полимеров.

Однако, стоит отметить, что в процессе проведения операций ГРП термическая и механическая деструкция выступают в роли нежелательного воздействия, вызванного внешними условиями рабочей области. Например, термическая деструкция проявляется при постепенном повышении температуры до уровней, характерных для продуктивного

пласта. Механическая деструкция может быть связана с нарушением технологии приготовления жидкости ГРП и процессом ее продавливания через перфорационные отверстия в эксплуатационной колонне малого диаметра.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о возможности рассмотрения двух различных видов химической деструкции: кислотной и окислительной. При этом можно сочетать и комбинировать их друг с другом, а также учитывать термическую деструкцию как дополнительный фактор, влияющий на процесс разрушения полимеров под воздействием пластовых условий. Кроме того, стоит рассмотреть механическую деструкцию как средство оценки стойкости сшитой жидкости ГРП к высоким значениям сдвиговых напряжений.

1.7 Экологическая составляющая проведения ГРП

Следует отметить, что отработанные жидкости ГРП обладают высокой токсичностью, поэтому правильность решения вопросов их захоронения или утилизации имеет первостепенное значение для охраны окружающей среды.

Отработанные жидкости ГРП, извлекаемые при освоении скважин, должны вывозиться на очистные сооружения, либо закачиваться в глубокозалегающие поглощающие пласты. Жидкости, содержащие неорганические кислоты (или другие активные вещества), подлежат нейтрализации. Жидкости, содержащие нефтепродукты, должны проходить очистку на локальных нефтеловушках, где предусматриваются сбор и удаление всплывших нефтепродуктов и выпавшего осадка. Все работы по обращению с 3 отходами должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденных приказом 46 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

При проведении ГРП очень важно обращать внимание на техническое состояние скважины. Для исключения возможности попадания пластовых флюидов в результате использования ГРП в пресные водоносные горизонты эксплуатационные колонны должны быть герметичны. До начала работ (на стадии планирования и выбора объектов) рекомендуется проводить оценку природной защищенности подземных вод «снизу» для территории расположения объекта ГРП. Пути для подъема высокоминерализованных вод снизу вверх могут быть как незацементированное затрубное пространство нефтяных скважин, так и тектонически разуплотнённые зоны, раскрытые под действием повышенных относительно естественных пластовых давлений при проведении ГРП.

Отрицательные последствия ГРП проявляются не только в виде возможного загрязнения поверхностных и подземных вод, а также возможного загрязнения различными вредными примесями атмосферного воздуха. Применение множества

химических реагентов в различных технологических процедурах, прежде всего при выполнении гидроразрыва, ухудшает состояние окружающей среды. Возможно загрязнение атмосферного воздуха выбросами углеводородов и веществами, входящими в состав жидкости ГРП.

При проведении гидроразрыва пласта, существует риск случайных разливов жидкости разрыва на поверхности земли. Также возможно заражение почвы от слива отработанной воды и других технологических факторов, разрушительные процессы в грунтах (сейсмическая нестабильность, возможность землетрясений, проседание поверхности). При производстве ГРП выделяют два вида техногенного воздействия на геологическую среду: «сверху» и «снизу». Техногенное воздействие «сверху» [39,41]:

- загрязнение поверхностных и пресных подземных вод в результате попадания продуктов ГРП с поверхности в случае проливов, аварий, негерметичности устьевого арматуры и т.д.;

- загрязнение воздушного бассейна при накоплении газов в результате ГРП и его прорыв на поверхность;

- загрязнение почв в результате разливов, утечек реагентов ГРП;

- истощение ресурсов пресных вод в результате их интенсивного отбора для ГРП. Техногенное воздействие «снизу» и сопровождающие его изменения геологической среды:

- интенсификация перетоков соленых вод по возможным природным и техногенным путям перетоков (тектонические трещины, скважины различного назначения с некачественным техническим состоянием), при этом возможно увеличение концентраций хлоридов, сульфатов, минерализации, натрия, бромидов;

- переформирование гидрогеологических условий в результате создания локальных областей питания и разгрузки вод вышележащих и нижележащих отложений в результате интенсификации развития трещиноватости пород;

- активизация, главным образом, эндогенных процессов и впоследствии, связанная с ними, активизация экзогенных процессов. Резюмируя все вышесказанное, отметим, что при проведении операций ГРП могут происходить следующие негативные процессы относительно влияния на окружающую и геологическую среду:

- загрязнение поверхностных и подземных вод «сверху» и «снизу»:

- а) при гидроразрыве пласта используется не только вода, но и химические вещества, которые поступают в пласт и могут вызвать заражение подземных, грунтовых вод химическими реактивами;

- б) возможность попадания пластовых флюидов в результате использования ГРП в пресные водоносные горизонты при плохом состоянии цемента за колонной;
- в) при утилизации «отработанной» воды;
- г) истощение водных ресурсов; – загрязнение атмосферного воздуха выбросами углеводородов и веществами, входящими в состав раствора, закачиваемого для ГРП;
 - заражение почвы от слива отработанной воды и других технологических факторов;
 - разрушительные процессы в грунтах (сейсмическая нестабильность, возможность землетрясений, проседание поверхности).

1.8 Заключение по литературному обзору

В ходе анализа соответствующей литературы, связанной непосредственно или косвенно с темой магистерской диссертации, были получены следующие результаты:

1. Был изучен гидравлический разрыв пласта в качестве метода, используемого для повышения проницаемости зоны призабойного пласта.
2. Были идентифицированы факторы, оказывающие влияние на эффективность проведения гидроразрыва пласта.
3. Были проанализированы различные виды жидкостей, применяемых в гидроразрыве пласта, и определены основные компоненты, составляющие такие жидкости.
4. Были выделены основные характеристики жидкостей гидроразрыва, которые имеют важное значение для успешной реализации данного процесса.
5. Были исследованы существующие процессы деструкции и оценена их эффективность.

Эти результаты подчеркивают важность гидроразрыва пласта и его потенциал в улучшении производительности нефтяных и газовых скважин. Гидроразрыв пласта является перспективным методом, позволяющим увеличить проницаемость пласта и улучшить приток нефти или газа из скважины. Изучение различных видов жидкостей и процессов деструкции помогает оптимизировать этот процесс и повысить его эффективность. По результатам проведенного литературного обзора можно отметить следующее:

- гидравлический разрыв пласта является востребованным и эффективным методом для активного разработки сложных и труднодоступных запасов углеводородов, особенно в низкопроницаемых, слабо проницаемых, неоднородных и многослойных коллекторах.;

– на завершающей стадии проведения ГРП наиболее важным является процесс удаления жидкости гидроразрыва из трещины без нанесения значительного ущерба проницаемости и проводимости пропантной пачки;

– существует несколько разновидностей полимерных реагентов, применение которых возможно в качестве структурообразователей рабочей жидкости ГРП, однако, наиболее подходящими по физико-химическим и технико-экономическим показателям являются гуар и его производные;

– среди физических и химических процессов деструкции полимеров возможно обнаружить некоторые разновидности, разрушающее воздействие которых позволяет целенаправленно подвергать полимеры деградации; однако, оно может иметь побочное или негативное значение для операции ГРП;

– среди физических процессов наиболее перспективными будут являться механическая и термическая разновидности деструкции;

– разновидности химической деструкции, являющиеся наиболее эффективными: кислотная и окислительная.

2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основной целью данного раздела является расчет сметной стоимости строительства горизонтальной эксплуатационной скважины, глубиной 3387 м Рогожниковского месторождения, расположенного в 400 км от города Сургут. Данная скважина была выбрана для расчета, так как она может быть отождествлена со средними значениями основных параметров для скважин Западной Сибири. Расчет сметной стоимости включает расчет стоимости подготовительных и монтажных-демонтажных работ, бурения и крепления скважины, а также ее освоения. Помимо стоимости строительства скважины производится расчет времени на строительство скважины.

2.1 Расчет сметной стоимости подготовительных работ

Подготовительные работы включают в себя: изучение геологических особенностей территории, составление проектной документации на бурение скважины, налаживание связи, водо- и электроснабжения, прокладка дороги, обеспечение необходимой бурильной техникой, начало строительства вышки, монтаж оборудования и других вспомогательных элементов. Их стоимость напрямую зависит от площади территории, на которой будет идти строительство скважины.

Данные о размере отводимого участка выбираются согласно СН-462-74 «Нормы отвода земель для сооружения геологоразведочных скважин». На основании площади отводимого земельного участка под строительство скважины определяем стоимость подготовительных работ: валки и трелевки деревьев. Расценку для валки деревьев мягких пород с корнями, диаметром стволов до 28 см принимаем согласно ФЕР 01-02-099-04 [30], а для трелевки древесины – ФЕР 01-02-100-02 [31]. Количество деревьев определяем исходя из густоты леса и рассчитанной площади земельного участка. Коэффициент пересчета принимаем в соответствии с региональными индексами изменения сметной стоимости строительства. Индекс изменения стоимости изыскательских работ для строительства (по отношению к базовым ценам по состоянию на 1 января 1991 года) – 61,09. Результаты расчета представлены в разделе сводный сметный счёт в таблице 15.

2.2 Расчет сметной стоимости монтажных-демонтажных работ

Комплекс монтажных и демонтажных работ при строительстве скважины состоит из ряда соответствующих работ:

1. Сооружение и подготовка фундамента под основание и дополнительное оборудование;
2. Сооружение конструктивных узлов вышки и привышечных сооружений;

3. Сооружение буровой установки;
4. Установка дополнительного оборудования;
5. Установка блока циркуляционной и пневмосистем;
6. Обвязка емкостей трубопроводами.

Каждый перечень операций на данном этапе строительства скважины формирует сметную стоимость монтажных и демонтажных работ. Перечень операций включает монтаж и демонтаж технологических элементов.

Расчет сметной стоимости монтажных-демонтажных работ производился согласно СНиП IV-5-82 Сборник 49, РД 39-0148052-537-87 и ВСН 39-86 [32, 33, 34].

Строительство скважины производится в ЯНАО, что в соответствии с частью I разделом I СНиП IV-5-82 Сборник 49 (Приложения 1,2 разделы 1,2) относится к району 5б. Далее по части II разделу II СНиП IV-5-82 Сборник 49 определяем коэффициенты для расчета расценок на подготовительные (монтажные) работы при строительстве нефтяных и газовых скважин: 0,97 для прямых затрат и 0,94 – для основной заработной платы рабочих. По этим же разделам будут определяться коэффициенты к расценкам на строительство (монтаж) для расчета стоимости разборки (демонтажа) в соответствии с расценками.

Стоимость строительства и основную заработную плату рабочих определяем согласно СНиП IV-5-82 Сборник 49 согласно выбранному району для строительства скважины и соответствующим расценкам на монтажные (демонтажные) работы. Индекс изменения стоимости изыскательских работ для строительства (по отношению к базовым ценам по состоянию на 1 января 1991 года) – 61,09. Результаты расчетов приведены в разделе сводный сметный счёт в таблице 11.

2.3 Расчет продолжительности строительства скважины

Для расчета продолжительности строительства скважины произведём стандартный расчёт конструкции скважины:

- количество обсадных колонн,
- диаметры долот и обсадных колонн,
- глубины спуска обсадных колонн.

Также надо выбрать оборудование для строительства скважины (буровая установка, оснастка талевого системы, производительность насосов) и способ бурения под каждую колонну (роторный, с помощью забойного двигателя, комбинированный).

- 1 Направление: диаметр колонны – 323,9 мм; диаметр долота – 393,7 мм; глубина спуска 50 м;

- 2 Кондуктор: диаметр колонны 244,5 мм; диаметр долота – 300 мм; глубина спуска – 1038 м по вертикали (1056 м по стволу).
- 3 Эксплуатационная колонна: диаметр колонны – 168,3 мм; диаметр долота 220,7 мм; глубина спуска 2689 по вертикали (2873 по стволу)
- 4 Хвостовик: диаметр колонны – 114,3 мм; диаметр долота 146 мм; глубина по вертикали 2873 м (по стволу 3387 м).

На основе выбора оборудования и полученным в результате расчета конструкции скважины данным, составляем сводную таблицу с исходными данными для расчета временных затрат на строительство скважины (таблица 2).

Таблица 2 – Данные для расчета продолжительности строительства скважины

Наименование показателей	Величины показателей
Буровая установка (тип)	БУ 3900/225
Проектная глубина, м	2873 м (верт.) 3387 м (гориз.)
Способ бурения: - направление - под кондуктор - под эксплуатационную колонну - под хвостовик	роторный комбинированный комбинированный забойный двигатель
Конструкция скважины - направление - кондуктор - эксплуатационная колонна - хвостовик	d 323,9 мм на глубину 50 м d 244,5 мм на глубину 1056 м d 168,3 мм на глубину 2720 м d 114,3 мм на глубину от 2510 до 3387 м
Оснастка талевой системы	5х6
Производительность насосов, л/с	Направление - 64 Кондуктор – 64 Эксплуатационная колонна – 32 Хвостовик - 16
Утяжеленные бурильные трубы (НУБТ)	203 – 12 м 178 – 24 м 146 – 28м
Бурильные трубы: диаметр, мм	127 88,9
длина свечи средняя, м	24,55
Забойный двигатель (тип) - в интервале 0-50 м - в интервале 50-1056 м - в интервале 1056-2720 м - в интервале 2720-3387 м	не требуется (используем ротор) ДВ-240 ДРУ2-178 ДВ-120

Продолжительность строительства скважины формируется из совокупности

производственных процессов:

- подготовка к строительству;
- монтажные работы;
- подготовка к бурению;
- бурение и крепление скважины;
- испытание на продуктивность.

Продолжительность строительно-монтажных работ формируется на основе наряда на производство работ. Продолжительность подготовительных работ к бурению и самого процесса бурения рассчитывается при составлении нормативной карты. Основными документами для расчета нормативного времени для сооружения скважины являются «Единые нормы времени на бурение скважин на нефть, газ и другие полезные ископаемые» [35] и «Единые нормы времени на монтаж и демонтаж вышек и оборудования для бурения» [36].

В таблице 3 представлены результаты расчета временных затрат на строительство скважины.

Таблица 3 – Нормативная продолжительность строительства скважины

	Интервал бурения, м		Время на бурение, сут	Время на заканчивание	Время на прочие работы, сут	Время на ремонтные работы, сут	Время на прием и сдачу вахты, сут	Итого по скважине, сут
	от	до						
Направление	0	50	0,34	0,46	18,57	59,73	0,53	35,55
Кондуктор	50	105 6	4,54	0,94				
Эксплуатационная колонна	105 6	272 0	9,33	1,60				
Хвостовик	272 0	338 7	10,03	1,67				

2.4 Расчет сметной стоимости бурения и крепления скважин

Для расчёта стоимости бурения скважины необходимо вычислить стоимость следующих операций: бурение скважины, крепление скважины (то есть прокачка цемента или тампонажного раствора, а также откачка излишек, если таковые имеются), спуск и подъём обсадных труб и ряд других операций. На данном этапе производится расчет сметной стоимости бурения и крепления скважины на основании государственных элементных сметных норм на строительные работы (таблица 4).

Таблица 4 – Расчет стоимости бурения и освоения

Затраты на бурение					
Шифр ресурса	Наименование элемента затрат	Ед. измер.	Расход	Стоимость за ед, руб.	Итого, руб.
ОПЛАТА ТРУДА РАБОЧИХ					
	Затраты труда рабочих-строителей	чел.-ч	468,72	174,34	81716,6448
	Затраты труда машинистов	чел.-ч	237,64	151,11	35909,7804
МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ					
21141	Краны на автомобильном ходу при работе на других видах строительства 10 т	маш.-ч	7,25	1453,42	10537,295
60337	Экскаваторы одноковшовые дизельные на пневмоколесном ходу при работе на других видах строительства 0,25 м ³	маш.-ч	3,23	886,43	2863,1689
70149	Бульдозеры при работе на других видах строительства 79 кВт (108 л.с.)	маш.-ч	2,4	920,61	2209,464
100203	Установки и агрегаты буровые на базе автомобилей для роторного бурения скважин на воду глубина бурения до 500 м, грузоподъемность 12,5 т	маш.-ч	137,76	6545,23	901670,885
110501	Глиномешалки, 4 м ³	маш.-ч	87	432,12	37594,44
400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	10,87	1674,54	18202,2498
МАТЕРИАЛЫ					
103-0592	Трубы бурильные из стали группы Д с высаженными внутрь концами и муфты к ним наружный диаметр 89 мм, толщина стенки 7 мм	м	4,97	1374,84	6832,9548
103-9211	Трубы бурильные утяжеленные	м	0,18	0	0
109-9031	Долота трехшарошечные	шт.	3,83	0	0
ИТОГО				Стоимость бурения	28907358,5
				Заработная плата	3469979,54

Результаты расчета стоимости крепления скважины представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сметная стоимость крепления скважины

Затраты на крепление						
Шифр ресурса	Наименование элемента затрат	Ед. измер.	Расход	Стоимость за ед., руб.	Итого, руб	
ОПЛАТА ТРУДА РАБОЧИХ						
	Затраты труда рабочих-строителей	чел.-ч	14,87	9,62	143,0494	

	Затраты труда машинистов	чел.-ч	3,66	13,86	50,7276
МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ					
21141	Краны на автомобильном ходу при работе на других видах строительства 10 т	маш.-ч	0,16	111,99	17,9184
40202	Агрегаты сварочные передвижные с номинальным сварочным током 250 - 400 А с дизельным двигателем	маш.-ч	1,17	14	16,38
100203	Установки и агрегаты буровые на базе автомобилей для роторного бурения скважин на воду глубина бурения до 500 м, грузоподъемность 12,5 т	маш.-ч	3,5	340	1190
400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,23	87,17	20,0491
МАТЕРИАЛЫ					
101-0782	Поковки из квадратных заготовок, масса 1,8 кг	т	0,0003	5989	1,7967
101-1518	Электроды диаметром 4 мм Э50А	т	0,0012	11524	13,8288
103-9001	Трубы	м	0	0	0
109-9058	Башмаки колонные для обсадных труб	шт.	0	0	0
109-9180	Центраторы пружинные для обсадных труб	шт.	0	0	0
ИТОГО				Стоимость бурения	371692,035
				Заработная плата	57164,215

2.5 Расчет стоимости освоения скважины

Освоение скважины является важной процедурой в процессе строительства скважины. От качества выполнения освоения скважины зависит эффективность работы скважины.

Сметная стоимость освоения скважины включает в себя стоимость выполнения операций по вторичному вскрытию пласта и вызову притока (таблица 6).

Таблица 6 – Затраты на освоение

N	Номер расценки ЕРЕР и коэффициенты, др обосновывающие источники	Затраты	Освоение			
			измерения	Единицы	кол-во	Всего
				Основная зарплата		Основная зарплата

N	Номер расценки ЕРЕР и коэффициенты, др обосновывающие источники	Затраты	Освоение			
			измерения	Единицы	кол-во	Всего
				Основная зарплата		Основная зарплата
		<u>Затраты, зависящие от времени</u>				
1	49-2008	Оплата труда буровой бригады	сут.	26,50	7,40	196,10
				26,50		196,10
2	49-2046, κ=0,89 п 1.14	Оплата труда слесаря по обслуживанию буровой и электромонтера	сут.	8,86	7,40	65,53
				8,86		65,53
3	49-4369	Спецтранспорт автомобильный на 40 км	сут.	28,45	7,40	210,53
4	См. расчет №2.1.2	Амортизация	сут.	415,68	7,40	3076,03
5	Приложение №1 к см.р.3.1 и 3.2 с κ=0,189	Стоимость материалов и запасных частей	сут.	14,32	7,40	105,94
6	49-2424	Содержание бурового оборудования и инструмента (3 станка)	сут.	284,40	7,40	2104,56
				94,37		698,34
7	49-2676 т.7стр.10, κ=0,62	Эксплуатация ДВС ((236,86-32,42)/1,3*1,396+32,42)*0,5*0,6 2	сут.	78,11	7,40	577,99
				32,42		239,91
8	49-2705	Эксплуатация ПЭС АСДА-200	сут.	74,17	7,40	548,86
9	49-2443	Содержание средств контроля и диспетчеризации	сут.	30,40	7,40	224,96
				12,60		93,24
10	49-4432	Дежурный бульдозер	час	6,76	59,20	400,19
11	49-2417 с κ=0,63	Износ инструмента	сут.	3,42	7,40	25,31
12	49-2420 с κ=0,63	Износ ловильного инструмента	сут.	1,70	7,40	12,59
13	См. Р. №4.4.1	Транспортировка грузов	руб			76,00
		Итого по затратам, зависящим от времени, без транспортировки вахт:	руб			7624,59
		7624,59				1293,12
		1293,12				
		Корректировка зарплаты				
		основная зарплата рабочих				1293,12
		дополнительная зарплата рабочих 7,9%				102,16
		отчисления от ФОТ 30,4%				424,16
		Итого зарплата с учетом корректировки				1819,44
		ИТОГО по затратам, зависящим от времени с учетом корректировки зарплаты				8150,91
		8150,91				1819,44
		1819,44				

Продолжение таблицы 6

		Стоимость одних суток испытания	руб			1030,35
						174,75
		Стоимость одних суток испытания с учетом корректировки зарплаты				1101,47
						245,87
		<u>Затраты, зависящие от объема работ</u>				
25	49-2740, к=0,6	Дежурство ЦА-320	сут.	15,74	88,80	1397,53
		(26,23*0,6*12)		9,16		20,00
		Итого по затратам, зависящим от объема работ	руб			1397,53
						20,00
		Всего по затратам, зависящим от объема работ	руб			
		1397,53				
		20,00				
		Корректировка зарплаты				
		основная зарплата рабочих				20,00
		дополнительная зарплата рабочих 7,9%				1,58
		отчисления от ФОТ 30,4%				6,56
		Итого зарплата с учетом корректировки				28,14
		ИТОГО по затратам, зависящим от объема работ с учетом корректировки зарплаты				1405,67
		1405,67				28,14
		28,14				
		ИТОГО по сметному расчету без транспортировки вахт	руб			9022,13
		9022,13				1313,12
		1313,12				
		ИТОГО по сметному расчету без транспортировки вахт с учетом корректировки зарплаты				9556,59
		9556,59				1847,58
		1847,58				

2.6 Сводный сметный счет

Смета на строительство скважины определяет предельную стоимость выполнения всех операций, которые в совокупности формируют процесс строительства и освоения скважины. Индекс изменения стоимости изыскательских работ для строительства (по отношению к базовым ценам по состоянию на 1 января 1991 года) – **61,09**.

Сводный сметный расчет строительства скважины, включающий подготовительные работы, строительство и разбор вышки, монтаж и демонтаж бурового

оборудования, процесс бурения и заканчивания скважины, освоение скважины и ряд других работ и затрат представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Сводный сметный счет

№ п/п	№ сметных расчетов и др. обосновывающие источники	Наименование работ или затрат	Сметная стоимость выполнения операции в ценах 1984г/ с учетом корректирующего коэффициента.	в том числе заработная плата рабочих
1	2	3	4	5
ГЛАВА 1				
		Подготовительные работы к проведению мероприятий по строительству скважины		
1	1.1.	Подготовка площадки (валка, трелевка древесины)	275072,87	25599,24
		ИТОГО по главе 1:	275072,87	25599,24
		ИТОГО по главе 1 с учетом коэффициента перерасчета сметной стоимости (K1=1,445, K2=61,09) Kп=85,526:	19905923,31	1852514,602
ГЛАВА 2				
		Строительство и разборка вышки, привышечных сооружений, монтаж и демонтаж бурового оборудования, монтаж и демонтаж установки для испытания скважины		
2	2.1.	Строительство и монтаж	21695	1603
3	2.1.	Разборка и демонтаж	1690	459
		ИТОГО по главе 2:	23385	2062
		ИТОГО по главе 2 с учетом коэффициента перерасчета сметной стоимости (K1=1,445, K2=61,09):	2000025,51	149218,692
ГЛАВА 3				
4	3.1.	Работы по строительству скважины	28907358,50	3469979,54
5	3.2.	Работы по креплению скважины	371692,04	57164,22
		ИТОГО по главе 3:	29279050,54	3527143,76
		ИТОГО по главе 3 с учетом коэффициента перерасчета сметной стоимости (K1=1,445, K2=61,09):	29279050,54	3527143,76
ГЛАВА 4				
		Освоение скважины на продуктивность		
6	4.1.	Освоение скважины на продуктивность в эксплуатационной колонне	9556,59	1847,58
		ИТОГО по главе 4:	9556,59	1847,58
		ИТОГО по главе 4 с учетом коэффициента перерасчета сметной стоимости:	691572,1919	133701,9743
ГЛАВА 5				
		Дополнительные затраты при строительстве скважины в зимнее время		
	пп.6.1., 6.2. (ВСН 39-86) приложение 2 зона к=1	Дополнительные затраты при производстве строительных и монтажных работ в зимнее время		
7		Зимнее удорожание при СМР от суммы 1,6%х1,0*1,08	343974,3548	32011,45232
		ИТОГО по главе 5:	343974,3548	32011,45232
		ИТОГО по главам 1-5	52220545,90	5694590,48
ГЛАВА 6				
		Накладные расходы		
8	Пояснительная записка	Накладные расходы на итог прямых затрат по главам 1-5 (20%)	10444109,18	1138918,095
		ИТОГО по главам 1-6	62664655,08	6833508,57

Продолжение таблицы 7

ГЛАВА 7				
9	Пояснительная записка	Плановые накопления (8%) на итог прямых затрат по главам 1-5 и главы 6	5013172,407	546680,6856
		ИТОГО по главам 1-7	67677827,49	7380189,26
ГЛАВА 8				
		Прочие работы и затраты		
10	Расчет-обоснование ООО "Геосервис"	Затраты на выплату премий, льготы и надбавки за работу в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, полевое довольствие - 23,5%	15904289,46	1734344,475
11	П. 9.6. (ВСН 39-86) Пояснительная записка	Лабораторные работы (0,15%) по итогам глав 3 и 4 ССР	44955,93409	5491,268594
		ИТОГО по главе 8	15949245,39	1739835,744
		ИТОГО по главам 1-8	83627072,88	9120025,00
ГЛАВА 9				
		Авторский надзор		
12	п. 10 пр. 12 ВСН 39-86	Авторский надзор - 0,2%	167254,1458	
ГЛАВА 10				
		Проектные и изыскательские работы		
		Проектные работы, без НДС в ценах 1985 г.		
		ИТОГО по главам 1-10	83794327,03	9120025,00
ГЛАВА 11				
13	ВСН 39-86	Резерв средств на непредвиденные работы и затраты - 2%	1675886,541	182400,5
		Всего с учетом резерва	85470213,57	9302425,50
	Мин. нефт. пром-ти.	Возврат материалов - всего	533017,5623	
		Прочие работы и затраты в текущих ценах		
14	Коммерческое предложение от ООО "Геофизсервис"	Промыслово-геофизические работы	2924576	
15	Локальный сметный расчет	Обустройство скважины	3072737	
		ИТОГО прочих работ и затрат в текущих ценах	5997313	
		ВСЕГО по сводному сметному расчету	92000544,13	9302425,50
		Кроме НДС 18%	16560097,94	
		Всего с НДС	108560642,08	9302425,50

2.7 Итоги по финансовой части

По результатам произведенного расчета, сметная стоимость строительства эксплуатационной наклонно-направленной скважины глубиной 3387 м Юрской свиты в Рогожниковском месторождении составляет **108,56млн руб.**

3 Социальная ответственность

Данная магистерская диссертация посвящена исследованию реологических свойств жидкостей гидравлического разрыва пласта (жидкостей ГРП) на основе полимерных реагентов после их обработки деструкторами. Так же был проведен анализ российских компаний в данной отрасли и дальнейшие перспективы. В связи с этим в данном разделе магистерской диссертации произведен анализ возможных опасных и вредных факторов при работе с деструкторами в лабораторных условиях.

Рассматривать будет лаборанта, рабочим местом которого является лаборатория специализирующая на приготовление буровых, промывочных и тампонажных растворов.

В обязанности лаборанта входит выполнение лабораторных испытаний и измерений при проведении исследования. Согласно принятым инструкциям лаборант производит проверку, подготовку и регулировку необходимых для проведения экспериментов приборов. При этом он принимает и непосредственное участие в проведении экспериментов: проводит наблюдения, снимает показания, осуществляет все описанные в методике вспомогательные операции, ведет рабочий журнал. В соответствии с рекомендациями научного руководителя лаборант обрабатывает и систематизирует результаты измерений на заключительном этапе.

В качестве модельной жидкости ГРП принята смесь солевого раствора KCl и гуаровой камеди, дополнительно в данную смесь вводится боратный сшиватель. В качестве основных деструкторов выбран кислотный раствора на основе лимонной плюс молочной кислоты (4...8%).

Целью данного раздела является описание мероприятий по обеспечению безопасности человека в процессе ведения производственной деятельности с сохранением его нормальной работоспособности и производительности, а также составление рекомендаций, выполнение которых необходимо для соблюдения требований по охране окружающей среды

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При работе с химическими веществами работающие должны руководствоваться правилами инструкции №13-107 “По охране труда для работающих с химическими веществами”. Так же необходимо ознакомиться с инструкцией по пожарной безопасности и рабочей инструкцией по выполнению деятельности [37].

Порядок приема на работу, нормы выдачи средств индивидуальной защиты, а также общие требования, предъявляемые к соискателям на должность лаборанта, в число которых входят: уровень профессионального образования, стаж работы по специальности, требуемый объем знаний и умений по профессии, приведены в Инструкции № 13-107 [38].

Отсеки лаборатории, в которых проводятся эксперименты с химическими веществами первого и второго класса опасности, изолируются от других помещений, при этом обязательно создается специальный вход вентиляции для вытяжных шкафов, отделенный от основной вентиляционной системы здания.

Пол лабораторного помещения покрывается кислотоупорными материалами, например, керамической плиткой; потолок и стены окрашиваются краской.

Внутренние двери, предназначенные для перемещений между отдельными отсеками лаборатории, должны иметь прозрачное остекление и открываться в сторону выхода.

Рабочие столы и вытяжные шкафы, используемые для работы с токсичными химическими реагентами кислотного-щелочного типа должны иметь бортики, предотвращающие стекание жидкости на пол, и быть химически стойкими к воздействию всех применяемых реагентов. Дверцы вытяжных шкафов следует держать закрытыми с небольшим зазором внизу во время работ для обеспечения оптимальной тяги. В химической лаборатории должно быть энергоснабжение, подводка горячей и холодной воды. Все электрооборудование должно быть заземлено. Разводка коммуникаций к переносным приборам и нестационарному оборудованию должна производиться открыто с применением гибких проводов и шлангов.

Электроосвещение помещения и вытяжных шкафов должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении. Активирующие их выключатели устанавливаются вне зоны вытяжных шкафов. Металлические шкафы (сейфы), предназначенные для безопасного хранения химических веществ должны быть зарыты на ключ и опечатаны. Включенные в состав производственного оборудования специальные технические средства (экраны, ограждения, вентиляторы), обеспечивающие снижение уровней вредных и опасных производственных факторов до допустимых значений или их полное устранение, не должны мешать выполнению основных работ [37].

В лабораторном помещении должны быть в наличии:

- аптечка с необходимым набором средств для оказания первой помощи при несчастном случае;
- первичные средства пожаротушения (огнетушители углекислотные и пенные, сухой песок);
- индивидуальные, а также коллективные средства защиты от воздействия применяемых химических веществ (халаты, респираторы, спецобувь, защитные очки, защитные перчатки).

3.2 Профессиональная социальная безопасность

Вредные производственные факторы подразделяют на:

- факторы, приводящие к возникновению у работника хронических заболеваний; к данной группе также относятся факторы, которые усугубляют уже имеющиеся заболевания;
- факторы, приводящие к появлению у работника заболеваний, протекающих в острой форме (отравления, поражения), или травм вследствие кратковременного характера воздействия.

Опасные производственные факторы подразделяют на:

- факторы, действие которых создает условия для получения работником несовместимых с жизнью травм;
- факторы, действие которых создает опасность для получения работником травм, не являющихся смертельными, но выводящих его из строя на продолжительный промежуток времени [39].

3.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект

Гидроразрыв продуктивного пласта (ГРП) является одной из сложнейших операций в нефтегазодобывающей промышленности. В центре процесса гидроразрыва находится рабочая жидкость – жидкость гидроразрыва (жидкость ГРП). Так как объектом данного исследования является осуществляемый на заключительном этапе операции гидроразрыва процесс деструкции (разрушения) рабочей жидкости ГРП, при котором неизбежно взаимодействие с химическими веществами 3-го класса токсичности, то, согласно ГОСТ 12.0.003- 2015 [39].

Опасное и вредное воздействие химических веществ заключается в:

- прямом поражении кожных покровов, органов дыхания и пищеварения (окисление, обугливание, химические ожоги);
- токсическом воздействии на организм человека (данный тип воздействия зависит от природы химических веществ, класса их опасности, агрегатного состояния и структуры данных веществ, а также путей их проникновения в организм человека);
- пожаро- и взрывоопасности [37].

Как уже было сказано ранее, в качестве типичных деструкторов полимеров, являющихся основой рабочей жидкости ГРП, применяются такие неорганические кислоты, например, соляная, азотная и серная. Химические вещества данного типа относятся к третьему классу токсичности, поэтому они являются общетоксическими химическими веществами. Это означает, что данные химические реагенты могут вызывать

мышечные судороги, расстройства нервной системы, влияют на кровеносные органы, взаимодействуют с гемоглобином. При значительной дозе они могут вызывать резкое ухудшения самочувствия, что может привести к травме, или даже к летальному исходу.

Согласно ГН 2.2.5.3532-18 [40] установлены следующие значения предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны:

- азотная кислота – 2 мг/м³;
- серная кислота – 1 мг/м³;
- соляная кислота – 5 мг/м³.

3.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лабораторном помещении при проведении исследований.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [39] можно выделить следующие вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 8.

Таблица 8 – Вредные и опасные факторы при осуществлении исследований деструкторов полимеров в лаборатории

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изготовлен ие	Эксплуат ация	
1. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	-	ГН 2.1.5.1315-03 ГН 2.2.5.3532-18 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 ГОСТ 12.1.038-82 [67] ГОСТ Р 12.1.019-2017 СанПиН 2.2.4.548-96
2. Отсутствие или недостаток освещаемости рабочей зоны	-	+	+	
3. Отклонения показателей микроклимата	+	+	+	
4. Проблемы в электрической цепи	+	+	+	
5. Раздражение и токсические факторы	-	+	+	

Нерациональная расстановка рабочих столов в лаборатории может привести к тому, что в рабочей зоне будет пониженная естественная освещенность. Негативно скажется и недостаточное количество источников искусственного освещения рабочего места лаборанта.

Плохое качество освещения оказывает отрицательное воздействие на функцию зрительного аппарата работника лаборатории, за счет чего определяет его зрительную

работоспособность. При этом также дополнительно оказывается влияние на эмоциональное состояние и психику работника.

Результатом прилагаемых усилий для опознания нечетких символов и световых сигналов является перенапряжение и 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.

Коэффициент естественной освещенности (КЕО) представляет собой отношение освещенности, создаваемой в данной точке помещения светом неба, к одновременной освещенности точки, расположенной на горизонтальной плоскости вне этого помещения и освещенной рассеянным светом неба, выраженное в процентах. Нормативы искусственного, естественного и смешанного типов освещений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [41] представлены в таблице 10.

Для подтверждения соответствия с нормами был произведен расчет системы искусственного освещения. За основу расчета принят метод коэффициента использования светового потока. Расчет проводят для определения светового потока светильника $F_{\text{расч}}$ по формуле 1:

$$F_{\text{расч.}} = \frac{E_n S k z}{N \eta}, \quad (1)$$

где $F_{\text{расч}}$ – световой поток одного светильника, лм;

E_n – нормированная освещенность, лк;

S – площадь помещения, м²;

k – коэффициент запаса;

z – коэффициент минимальной освещенности ЕСП/ЕМИН;

N – количество светильников;

η – коэффициент использования светового потока, %

Нормированная освещенность для аналитической лаборатории составляет 500 лк.

Далее следует высчитать площадь помещения S по формуле:

$$S = A * B, \quad (2)$$

где A – ширина помещения, м; B – длина помещения, м.

$$S = 7 * 8 = 56 \text{ м}$$

Находят коэффициент запаса k по таблице 1 в зависимости от величины запыленности производственного помещения (табл. 9), при этом значение коэффициента принимают как среднее.

Таблица 9 – Коэффициент запаса k

Запыленность помещения, мг/м ³	Значение коэффициента
<1	1,4-1,5
1-5	1,6-1,8
>5	1,8-2,0

Выбираем коэффициент минимальной освещенности z в зависимости от типа ламп, принимая z для: люминесцентных ламп ЛЛ = 1,1; ламп накаливания ЛН = 1,15; дугозарядных ламп ДРЛ = 1,2. Проводим расчет необходимого количества ламп N из условия их параллельного расположения в плане и обеспечения равномерного освещения, при этом должны быть соблюдены следующие отношения:

- Для ЛЛ:

$$\frac{L}{H_p} = 1,0, \quad (3)$$

- Для ЛН и ДРЛ:

$$\frac{L}{H_p} = 0,6, \quad (4)$$

где L – расстояние между лампами в рядах и между рядами, м;

H_p – расстояние от лампы до рабочей поверхности, м, определяемое по формуле:

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (5)$$

где H – высота помещения (цех, участок, лаборатория, кабинет);

h_c – высота свеса лампы от потолка помещения (фермы цеха), м;

h_p – высота рабочей поверхности от пола, м.

$$H_p = 4 - (0,1 + 1,2) = 2,7\text{ м}$$

Число рядов R светильников при их параллельном расположении определяют по формуле:

$$R = \frac{A-x}{L}, \quad (6)$$

где x – расстояние от края помещения, м.

$$R = \frac{7-2,5}{2,25} = 2,$$

Число светильников в ряду L_R находят по формуле:

$$L_R = \frac{8-1,25}{2,25} = 3,$$

Тогда количество светильников N в рассматриваемом помещении вычисляют по формуле:

$$N = R * L_R,$$

$$N = 2 * 3 = 6$$

Определяем коэффициент использования светового потока η с учетом коэффициентов отражения света от потолка и стен и индекса помещения i , при этом индекс помещения i рассчитывают по формуле:

$$i = \frac{A*B}{H_p(A+B)}, \quad (7)$$

$$i = \frac{7 * 8}{2,7 * (7 + 8)} = 1,38$$

Далее вычисляем расчетный световой поток $F_{\text{раст.}}$.

$$F_{\text{раст.}} = \frac{500 * 56 * 1,5 * 1}{6 * 1,4} = 5000 \text{Лм}$$

Таким образом, уже установленное освещение в лаборатории (светильники «Армстронг», каждый из которых содержит по 4 электролюминесцентные лампы, 5200 Лм) соответствует нормам и незначительно превышает рассчитанный световой поток. Лаборатория является оборудованным помещением для проведения исследований опытным путем. Для этого имеется различное оборудование, в том числе и нагревательного действия (плитка), которое может привести к ожогу при несоблюдении техники безопасности. Также возможен нагрев воздуха в лаборатории и, как следствие, пониженная влажность и повышенная температура воздуха.

Оптимальные и допустимые нормативные значения показателей микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [42] приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 10 – 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		При общем освещении	Показатель дискомфорта (не более)	Коэффициент пульсации освещенности, % (не более)	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	Всего	От общего				
Аналитическая лаборатория	Г*-0,8	4,0	2,4	600	400	500	40	10	
		1,5	0,9						

Таблица 11 – Оптимальные величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат,	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с

	Вт				
Холодный	16 (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	16 (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Таблица 12 – 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 величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	16 (140-174)	19 – 20	23,1 - 24	18 - 25	15-75	0,1	0,2
Теплый	16 (140-174)	20 – 21,9	24,1 - 28	19 - 29	15-75	0,1	0,3

В качестве категории работ выбрана категория Ib, к которой относятся работы с интенсивностью энергозатрат от 121 до 150 ккал/ч (от 140 до 174 Вт), сопровождаемые незначительными физическими напряжениями и производимые в положениях сидя, стоя, либо связаны с ходьбой. Период года называется холодным в том случае, если среднесуточная температура наружного воздуха принимает значение меньшее, чем 10, либо равна ему.

Аналогично этому, период года называется теплым, если среднесуточная температура наружного воздуха превышает величину 10. Оптимальные

микроклиматические условия установлены согласно критериям оптимального функционального и теплового состояния человека.

Оптимальные микроклиматические условия поддерживают ощущение теплового комфорта в период рабочей смены (продолжительностью 8 часов) с обеспечением минимальной работы механизмов терморегуляции. Оптимальные условия предпочтительны для всех рабочих мест, так как не приводят к проявлению отклонений в состоянии здоровья, а также позволяют поддерживать требуемый уровень работоспособности. Критерии допустимого теплового и функционального состояния человека определяют допустимые микроклиматические условия на период рабочей смены с продолжительностью 8 часов. Допустимые микроклиматические условия не вызывают существенных негативных изменений в состоянии здоровья работника, однако, они могут стать причиной возникновения у работающего человека ощущений выхода за пределы оптимального теплового режима.

Также в данном случае возможно ухудшение общего самочувствия, дополнительные затраты энергии на терморегуляцию организма работающего и, как следствие этого, снижение его производительности и работоспособности. Любое электрическое оборудование может ударить работника током. Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования. Ток в теле человека оказывает электролитическое, термическое и биологическое действие.

Электролитическое воздействие проявляется через разложение крови на фракции. Термическое воздействие выражается в ожогах, нагреве и повреждении сосудов. Биологическое воздействие проявляется через спазмы, нервные судороги, а также раздражение тканей [44]. Значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки согласно ГОСТ 12.1.038-82 [43] имеют следующие значения (не более): 1) переменный ток, 50 Гц: - напряжение – 2 В; - сила тока – 0,3 мА. 2) постоянный ток: - напряжение – 8 В; - сила тока – 1 мА.

Согласно ПУЭ [45] по классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, так как в данном помещении отсутствуют создающие повышенную или особую опасность условия. Работа в лаборатории предполагает взаимодействие с различными реагентами и химическими веществами, в том числе с кислотой и сшивателями, пары которых при проведении опытов могут привести к сильной загазованности воздуха на рабочем месте. Концентрированные пары и газы химикатов могут привести к токсическому отравлению лаборанта. Также едкие химические вещества вполне могут привести к раздражению

кожных покровов, слизистой и даже к химическому ожогу.

Гидроразрыв продуктивного пласта (ГРП) является одной из сложнейших операций в нефтегазодобывающей промышленности. В центре процесса гидроразрыва находится рабочая жидкость – жидкость гидроразрыва (жидкость ГРП). Так как объектом данного исследования является осуществляемый на заключительном этапе операции гидроразрыва процесс деструкции (разрушения) рабочей жидкости ГРП, при котором неизбежно взаимодействие с химическими веществами 3-го и 4-го класса токсичности. Опасное и вредное воздействие химических веществ заключается в: - прямом поражении кожных покровов, органов дыхания и пищеварения (окисление, обугливание, химические ожоги); - токсическом воздействии на организм человека (данный тип воздействия зависит от природы химических веществ, класса их опасности, агрегатного состояния и структуры данных веществ, а также путей их проникновения в организм человека); - пожаро- и взрывоопасности. При приготовлении модельной жидкости при засыпании химических реагентов в смесительную емкость, вероятно поднятие в воздух мелкодисперсной пыли, содержащей как инертные, так и оказывающие вредное воздействие вещества. Твердые частицы, содержащиеся в мелкодисперсной пыли, оказывают кратковременное влияние на дыхательную систему, а также могут привести к легочным и сердечнососудистым заболеваниям, например, обострение респираторных симптомов и астмы.

При постоянной повышенной запыленности рабочей зоны возможно развитие профессиональных болезней. Во избежание запыленности, рекомендуется засыпать химические реагенты с небольшой скоростью, небольшими порциями. Или, как это было предложено в работе, с применением предварительного диспергирования в жидкости, инертной по отношению к суспендируемому веществу. Как уже было сказано ранее, в качестве исследованного деструктора полимеров, являющихся основной рабочей жидкости ГРП, применяется молочная кислота в различных концентрациях. Химические вещества данного типа относятся к четвертому классу токсичности, поэтому они являются малоопасными химическими веществами. У них низкая степень вредного воздействия опасных отходов на окружающую среду. Эти вещества приводят к определенным нарушениям экологической системы, но она способна восстановиться в течение 3 лет в среднем.

Утверждены следующие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, применяемых в ходе данного исследования, в воздухе рабочей зоны:

- гуаровая смола: 1 мг/м³ , 4 класс опасности;
- хлорид калия: 5 мг/м³ , 4 класс опасности;
- молочная кислота: 10 мг/м³ , 4 класс опасности;

- боратный сшиватель на углеводородной основе: 900 мг/м³, 4 класс опасности.

3.2.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействий

Значения естественного и искусственного освещений необходимо довести до регламентных значений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [41]. 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 оборудована светильниками «Армстронг», каждый из которых содержит по 4 электролюминесцентные лампы. Каждый светильник имеет световой поток равный 5200 Лм. Все 6 светильников создают благоприятную для работы освещенность рабочей зоны. Исследования в лаборатории предполагают работу с кислотами, пары которых могут привести к отравлению работников лаборатории. Также высока вероятность выделения газов в результате химических реакций химикатов, которые через дыхательные пути могут попасть в организм человека и нанести ему вред. В качестве коллективных средств защиты выступает шкаф с принудительной приточно-вытяжной вентиляцией, устройство которого позволяет добиться соблюдения нормативных ПДК паров кислот в рабочей зоне согласно ГН 2.2.5.3532-18 [40].

Для предотвращения получения химических ожогов и раздражения кожных покровов согласно ГОСТ 12.4.011-89 [46], всех работников лаборатории при проведении экспериментов необходимо обеспечить индивидуальными средствами защиты в виде:

- Халат
- Резиновые перчатки
- Защитные очки
- Респираторы

Данные средства защиты также применимы для работников, осуществляющих закачку кислот в скважину. Для исключения поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 12.1.019-2017 [47] в качестве коллективных средств защиты необходимо применить усиленную изоляцию токоведущих частей электрооборудования. Также по всей лаборатории обязательно к применению защитное заземление всех электроустановок. Для соблюдения поддержания показателей микроклимата на оптимальном уровне необходимо использовать систему кондиционирования, увлажнитель воздуха.

3.3 Экологическая безопасность

3.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Процесс разрушения полимерной составляющей жидкости гидроразрыва

предполагает применение химических реагентов, которые закачиваются в скважину для достижения целевой точки обработки – призабойной зоны пласта и трещины ГРП. В случае некачественно проведенных подготовительных работ возможен разлив химикатов в непосредственной близости от фонтанной арматуры, установленной на устье скважины.

При этом под воздействием на литосферу будет пониматься химическое загрязнение почвы, что приведет к повышению их кислотности. Закисленные почвы будут иметь заниженную скорость разложения органических веществ, поскольку большая часть грибов и почвенных бактерий погибают в кислой среде.

Также повышенная кислотность приводит к растворению соединений алюминия и переходу их в раствор, соединения в котором оказывают токсическое воздействие на корневые системы растений. В результате химического выщелачивания в почве выделяются атомы тяжелых металлов, которые будут поступать в поверхностные воды, что приведет к их загрязнению. К тяжелым металлам относятся свинец, ртуть, марганец, железо, медь, цинк, кадмий и другие [48]. Особо опасными для человека считаются свинец, ртуть и кадмий. Загрязнение атмосферы при испарении кислот и конденсировании взвеси в воздухе незначительно, поскольку в лаборатории используются очень малые концентрации кислот, а производственные условия на месторождении предполагают работы на открытой местности.

Все это обеспечивает быстрое разбавление паров воздушными массами.

3.3.2 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, гидросферу, атмосферу и литосферу. Воздействие, которое оказывают отходы, ведет к разрушению и гибели флоры и фауны, загрязнению воздуха, почвы и воды. Примерами могут служить кислотные осадки, возникающий парниковый эффект, разрушение озонового слоя, нарушение кислотности почв и другие явления.

Воздействие на атмосферу при работе в лаборатории происходит при вытягивании химических испарений через вытяжную вентиляцию. Однако, стоит отметить, что объемы реагентов, применяемых при одном эксперименте, не генерируют большое количество вредных газов/аэрозолей по сравнению, например, с промышленным предприятием.

На гидросферу оказывается значительное воздействие, так как весь объем химических реагентов утилизируется через сплавную систему бытовых стоков. При отсутствии надлежащей обработки данных стоков, велика вероятность попадания химикатов в водную систему жилой местности (города), что вызовет отравление гражданского населения. Воздействие на литосферу является следственным фактором от

вышеописанного.

Загрязненные сточные воды попадая в водную систему местности также начинают оказывать негативное влияние на почвы, вызывая отравление растительности, изменяя кислотный состав почв.

3.3.3 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 следует применять угольный фильтр в канале вытяжной вентиляции.

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. Поскольку площади помещения лаборатории недостаточно для установки полноценных очистных сооружений, то предполагается установка емкости объемом суточного потребления воды в подвальном помещении, куда будут поступать стоки из лаборатории. Далее стоки будут забираться специальной машиной для проведения очистки сточных вод от химикатов и загрязнений.

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать жидкость гидроразрыва пласта

Процесс разрушения полимерной составляющей жидкости гидроразрыва пласта может привести к некоторым чрезвычайным ситуациям. Ниже приведены возможные риски и их вероятности:

Потеря эффективности разрушения пласта: если полимерная составляющая жидкости не разрушается должным образом, трещины в горной породе могут быть менее эффективными или не образовываться вообще. Это может снизить потенциальную добычу нефти или газа и привести к неудовлетворительным результатам операций.

Вероятность: Вероятность зависит от качества полимерной составляющей жидкости, ее соответствия условиям пласта и правильного применения технологии разрушения.

Образование нежелательных отложений: Неконтролируемое разрушение

полимерной составляющей жидкости может привести к образованию нежелательных отложений в трещинах или скважинах. Это может привести к забиванию скважин, снижению проницаемости пласта и ухудшению производительности скважины.

Вероятность: Вероятность зависит от свойств полимерной составляющей жидкости, ее стабильности в условиях пласта и правильного контроля процесса разрушения.

Загрязнение пласта: Разрушение полимерной составляющей жидкости может привести к загрязнению пласта. Если полимерные материалы попадут в пласт, они могут снизить проницаемость или вызвать реакции, которые негативно скажутся на производительности скважины и качестве добываемого нефти или газа.

Вероятность: Вероятность зависит от свойств полимерной составляющей жидкости, взаимодействия с пластом и правильного контроля процесса разрушения.

Технические проблемы: Разрушение полимерной составляющей жидкости может создать технические проблемы в скважине, такие как засорение оборудования или трубопроводов. Это может вызвать остановку операций, требовать дополнительных работ по очистке или привести к нежелательным затратам.

Вероятность: Вероятность зависит от свойств полимерной составляющей жидкости, состояния оборудования и правильного контроля процесса разрушения.

Оценка вероятности чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением полимерной составляющей жидкости гидроразрыва, будет влиять только на пласт под огромной толщиной земли.

3.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Согласно СП 12.13130.2009 [49] исследовательскую лабораторию можно отнести к категории помещения В «пожароопасные», так как в ней находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (деревянная мебель, бумага и прочее).

К числу ЧС, возникновение которых возможно в лаборатории, следует отнести пожар. Данная ситуация может возникнуть в случае короткого замыкания электропроводки, либо при неисправности электроприборов. Пожароопасная ситуация может возникнуть при работе с определенными типами химических веществ, склонными к возгоранию; такие вещества могут являться продуктами химических реакций других веществ, не отличающихся подобными пожароопасными свойствами.

3.4.3 Мероприятия по предотвращению ЧС и разработка порядка действия

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 в случае возникновения ЧС.

Возможность возникновения пожара непосредственно в лаборатории связана с применением электрических приборов, неисправностями электропроводки помещения, а также с проведением химических реакций с веществами, склонными к возгоранию; также пожаро- и взрывоопасные вещества могут образовываться в результате таких реакций (например, кислород и водород). Работы, связанные с выделением таких веществ, должны производиться только в исправных вытяжных шкафах.

Правила работы с электрическими приборами в помещении должны быть вывешены на видном месте. Перед включением электроприборов сеть необходимо тщательно осмотреть электрошнур: проверить исправность изоляции, устранить резкие перегибы, перекручивания. Работать следует исключительно на исправных электроприборах и оборудовании. Электрические приборы запрещается включать без необходимости. Электронагревательные приборы можно устанавливать только на теплоизоляционный слой. Перед включением печей следует убедиться в том, что внутри нет посторонних предметов. Запрещается оставлять без присмотра действующее оборудование, аппаратуру, поточные линии, газовые и спиртовые горелки, включенные электронагревательные приборы. Если в процессе работы в лаборатории произошло возгорание проводов или электроприборов, их следует немедленно отключить от сети, а затем погасить огонь, применив огнетушитель углекислотного типа, либо использовав покрывала из негорючих материалов, которые способны обеспечить надежное прекращение доступа кислорода к источнику возгорания [37].

Сотрудники лаборатории обязаны знать расположение электрощитка, с помощью которого возможно отключение электропроводки лаборатории от общей сети, а также места расположения средств пожаротушения. Немаловажным является умение правильно применять данные средства в случае возникновения пожара.

В лаборатории запрещается:

- загромождать проход, а также проход к средствам пожаротушения;
- сушить горючие предметы на отопительных радиаторах;
- мыть полы и оборудование с использованием горючих жидкостей (бензин, керосин, различного рода растворителей);
- оставлять в рабочей зоне бумагу и ветошь, в том числе пропитанные горючими жидкостями;
- хранить в помещении лаборатории какие-либо вещества с неизвестными

пожароопасными свойствами;

- пользоваться электронагревательными приборами с открытой спиралью;
- убирать случайно пролитые горючие жидкости при зажжённых горелках, включенных электронагревательных приборах;
- хранить химические вещества в немаркированной посуде;
- производить работы на оборудовании с неисправностями, которые могут привести к пожару.

Технические мероприятия предполагают монтаж и эксплуатацию электроустановок в соответствии с правилами устройства электроустановок. 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 (типа ОУ-2) применяются при тушении возгораний различных веществ, кроме тех, горение которых происходит без доступа кислорода, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Порошковые огнетушители (типа ОП10) применяются при тушении нефтепродуктов и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. 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.

К режимным мероприятиям относятся запрет курения в лаборатории. Порядок действий в случае возникновения ЧС:

- остановить 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 (огнетушитель, вода, песок);
- при необходимости удалить с места возгорания горючие вещества и материалы [50].

Заключение

В результате изучения и анализа доступных литературных источников, можно сделать определенный вывод о критической важности и сложности проблемы недоразрушения сшитого геля ГРП в пустотном пространстве проппантной пачки. Недоразрушение геля приводит к уменьшению проницаемости и проводимости пачки, что негативно сказывается на производительности скважины и всей сети скважин в целом.

Для минимизации загрязнения пустотного пространства необходимо использование эффективных брейкеров, способных качественно разрушать полимерную основу жидкости ГРП с минимальными временными затратами. Однако преждевременное действие брейкеров может вызвать нежелательные последствия, такие как преждевременное разрушение геля. Это может привести к недостаточному заполнению трещины проппантом и снижению проникновения трещины в породу-коллектор.

Поэтому, выбор наиболее эффективного брейкера с точки зрения как технологии, так и экономии средств является важным аспектом в процессе проектирования и выполнения операций гидроразрыва пласта.

Предложенные составы жидкости ГРП обладают необходимыми технологическими свойствами, которые способствуют эффективной обработке пласта. Кроме того, правильно подобранные соотношения компонентов обеспечивают стабильность и контролируемость процесса обработки, что является важным фактором для достижения желаемых результатов.

В дальнейших исследованиях можно рассмотреть несколько перспективных направлений, которые позволят расширить знания и получить более глубокое понимание проблемы недоразрушения геля ГРП. Некоторые из этих направлений включают:

1. Исследование других видов деструкторов: стоит изучить и опробовать альтернативные деструкторы, которые могут обеспечить эффективное разрушение геля с минимальными негативными последствиями.
2. Проведение экспериментов с более реалистичными рецептурами жидкости ГРП: следует использовать более приближенные к реальным условиям составы жидкости ГРП и проводить эксперименты, чтобы получить более точные и применимые результаты.
3. Расширение интервалов концентраций брейкеров: следует исследовать области концентраций брейкеров, которые не были рассмотрены в предыдущих исследованиях, чтобы определить их эффективность и возможные ограничения.
4. Более подробная оценка влияния механической и термической деструкции:

проведение более глубокого анализа влияния механической и термической деструкции на свойства геля и его взаимодействие с трещиной и породой-коллектором.

Эти направления дальнейших исследований могут значительно внести вклад в понимание и решение проблемы недоразрушения геля ГРП, а также помочь в разработке более эффективных и контролируемых методов деструкции геля в процессе гидроразрыва пласта.

Вместе с этим, в процессе исследования была уделена особая внимание безопасности. Была представлена информация о необходимых нормативных документах, которые регулируют обеспечение безопасности в процессе работы. Также были представлены средства индивидуальной защиты для работников, такие как специальная одежда, средства защиты глаз и дыхания, и другие.

Кроме того, был проведен расчет системы искусственного освещения лаборатории с целью соответствия показателя освещенности нормам, которые требуются для обеспечения комфортных условий работы в помещении. Это гарантирует, что работники будут работать в оптимальных условиях освещения, что влияет на их работоспособность и производительность.

Соблюдение мероприятий по обеспечению безопасности и соблюдение требований по охране окружающей среды создают благоприятные условия для работы в лаборатории. Это гарантирует, что исследования проводятся в безопасной и экологически ответственной среде, способствуя здоровью и благополучию работников, а также соблюдению норм окружающей среды.

Список литературы

1. Зюзько А.Н., Забоева М.И. ГРП как метод повышения интенсификации добычи углеводородов [Текст] / Зюзько А.Н., Забоева // Академический журнал Западной Сибири. — 2018. — № 6. — стр. 51-52.
2. Громовая, Л. А. Классификация видов ГРП / Л. А. Громовая [Текст] // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых. — Курск:, 2021. — стр. 23-24.
3. Паникаровский Е.В., Паникаровский В.В. Жидкость-песконоситель для гидравлического разрыва пласта / Паникаровский Е.В., Паникаровский В.В. [Электронный ресурс] // eLibrary.ru : [сайт]. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37780871_51982552.pdf (дата обращения: 02.06.2023).
4. Бухарина М. Обзор основных характеристик работы деструкторов в жидкостях ГРП на водной и нефтяной основе [Текст] / Бухарина М. // Бурение и нефть. — 2006. — № 11. — стр. 42-45.
5. Салимов, В. Г., Ибрагимов, Н. Г. Гидравлический разрыв кабанатных пластов [Текст] / В. Г. Салимов, Н. Г. Ибрагимов, — Бугульма: ЗАО "Издательство "Нефтяное хозяйство", 2013 — 472 стр.
6. Долгов, С. В. Сравнение различных сценариев для жидкостей ГРП (гели на водной основе и пены) [Текст] / С. В. Долгов // Булатовские чтения. — 2017. — № 2. — стр. 150-155.
7. Дзюбенко, Н. И., Дзюбенко, Е. А. Гуар, характеристика, применение, генетические ресурсы и возможности интродукции в России [Текст] / Н. И. Дзюбенко, Е. А. Дзюбенко // Сельскохозяйственная биология. — 2017. — № 52. — стр. 1116-1128.
8. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E. Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. — 2002.
9. Илюшин П.Ю., Мартюшев Д.А. Жидкость для глушения нефтяных и газовых скважин / Илюшин П.Ю., Мартюшев Д.А. [Электронный ресурс] // eLibrary : [сайт]. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38268954_94620492.pdf (дата обращения: 02.06.2023).
10. Способы и составы для разрушения загущенных жидкостей: патент РФ №2338872 / ГРИФФИН Дэвид Е. (US), ПОЛС Ричард В. (US), ХЭЙНС Роберт Э. мл. (US); Заявл. 27.06.2006; Оpubл. 20.11.2008; Бюл. №32.
11. Верисокин, А. Е., Зиновьева, Л. М. Способы снижения выноса проппанта при

- проведении ГРП [Текст] / А. Е. Верисокин, Л. М. Зиновьева // Евразийский союз ученых. — 2015. — № 7. — стр. 103-104.
12. Гуторов Ю.А. Технология повышения нефтеотдачи посредством гидродинамического воздействия на продуктивный коллектор: практическое пособие / Ю.А. Гуторов, Л.Р. Фурсова. – РКНТЦ. – 2013. – 119 стр.
 13. Беспolyмерная технологическая жидкость для гидроразрыва пласта на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ / М.А. Силин; Л.А. Магадова, Д.Н. Малкин, П.К. Крисанова, С.А. Бородин, Фан Ву Ань // Территория Нефтегаз. – 2017. – № 5. – стр. 36-43.
 14. Economides M. J. Reservoir Stimulation / M. J. Economides, K. G. Nolte. – John Wiley & Sons, Inc., 2000.
 15. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E. Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. – 2002.
 16. Никитин А.Н. Контроль качества материалов гидроразрыва пласта в ООО «РН-Юганскнефтегаз» / А.Н. Никитин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2012. – №11. – С. 41–43.
 17. Cheng Y. Enzymatic Degradation of Guar and Substituted Guar / Y. Cheng, R. K. Prud'homme // Biomacromolecules. – 2000. – № 1 (4). – P. 782-788.
 18. Магадова Л.А. Разработка жидкостей разрыва на водной и углеводородной основах и технологий их применения для совершенствования процесса гидравлического разрыва пласта [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 02.00.11 / РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – М., 2007. – 370 с.
 19. Деструкция геля для ГРП с применением окислительного деструктора и соляной кислоты / Л.А. Магадова, Л.А. Федорова, О.Ю. Ефанова, Д.Н. Малкин, В.Р. Магадов // Территория Нефтегаз. – 2010. – № 10. – С. 60-61.
 20. Muhammad Usman Sarwar. Degradation of guar-based fracturing gels: a study of oxidative and enzymatic breakers / Master's thesis. – Texas A&M University, USA. – 2010.
 21. Патент № 2793051 Российская Федерация МПК C09K 8/68 (2006.01). Состав полисахаридного геля для гидравлического разрыва пласта : № 2022115643 : заявл. 09.06.2022 : опубл. 28.03.2023 / Чертенков М.В., Бородин С.А. – 9 с.
 22. Reza Barati Ghahfarokhi. Fracturing fluid cleanup by controlled release of enzymes from polyelectrolyte complex nanoparticles / PhD dissertation. – University of Kansas, USA. – 2010.
 23. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E.

- Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. – 2002.
24. Патент № 2745034 Российская Федерация МПК C09K 8/524 (2006.01) C09K 8/68 (2006.01) E21B 43/22 (2006.01). Способы и составы для обработки скважин : № 2018130648 : заявл. 25.01.2017 : опубл. 18.03.2021 / Писанова Е., Ровисон Д.М. – 31 с.
 25. Патент № 2758828 Российская Федерация МПК C09K 8/62 (2006.01) E21B 43/26 (2006.01). Жидкость для гидроразрыва пласта на высокоминерализованной воде, способ её приготовления и способ обработки пласта с её использованием : № 2020135421 : заявл. 28.10.2020 : опубл. 02.11.2020 / Чураков А.В., Пичугин М.Н., Файзуллин И.Г. – 24 с.
 26. Патент № 2381252С1 Российский патент 2008 года по МПК C09K 8/68. Жидкий гелеобразующий агент для полисахоридной жидкости разрыва, способ его получения и его применение : № 2008129792/03 : заявл. 22.07.2008 : опубл. 10.02.2010 / Магадова Л.А., Силин М.А. – 9 с.
 27. Шумилкина, О.В. Исследование механодеструкции полимерных реагентов буровых промывочных жидкостей [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. 97 канд. техн. наук (25.00.15) / Шумилкина Оксана Васильевна; Общ. С огр. Ответств. «Волго-Уральский научно-исследовательский и проектный институту нефти и газа». – Москва, 2012. – 28 с.
 28. Карасева С. Я. Химические реакции полимеров: учебное пособие / С.Я. Карасева, В.С. Саркисова, Ю.А. Дружинина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 125 с.
 29. Магадова, Л. А., Малкин, Д. Н. Исследование энзимов в качестве деструкторов полисахаридных жидкостей ГРП [Текст] / Л. А. Магадова, Д. Н. Малкин // НЕФТЬ.ГАЗ.НОВАЦИИ. — 2017. — № 8. — стр. 21-25.
 30. ФЕР 01-02-099-06 Валки деревьев мягких пород с корнями, диаметром стволов до 32 см
 31. ФЕР 01-02-100-06 Трелевка древесины на расстояние до 300 м тракторами мощностью: 79 кВт (108 л.с.), диаметр стволов свыше 30 см
 32. СНиП IV-5-82 Сборник 49. Скважины на нефть и газ. Часть I и II
 33. РД 39-0148052-537-87 «Макет рабочего проекта на строительство скважин на нефть и газ»
 34. ВСН 39-86 "Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство скважин на нефть и газ"

35. Единые нормы времени на бурение скважины на нефть и газ и другие полезные ископаемые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293743/4293743208.pdf>
36. Единые нормы времени на монтаж и демонтаж вышек и оборудования для бурения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293743268>
37. Инструкция № 13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы»
38. 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: 24.02.2023)
39. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
40. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
41. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
42. СанПиН 2.2.4.548-96 Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
43. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
44. Воздействие тока на организм человека / АО Энергетик (электронный ресурс). Режим доступа: свободный. URL: http://www.energetik-ltd.ru/statii/statii6/vozdeystvie_toka_na_organizm_cheloveka (дата обращения: 24.02.2023)
45. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)
46. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
47. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
48. 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.
49. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных

установок по взрывопожарной и пожарной опасности

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

Приложение А



Рисунок А.1 – Разрушение геля при добавлении 4% лимонной и молочной кислоты



Рисунок А.2 – Разрушение геля с добавлением 8% молочной и лимонной кислоты.

Приложение Б

№	Виды работ	Исполнители	Тк1, кал. Дня	Продолжительность выполнения работ															
				Февраль				Март				Апрель				Май			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	6																
2	Выбор направления исследований	Научный руководитель	7																
3	Подбор и изучение литературы по теме магистерской диссертации	Магистрант	21																
4	Календарное планирование работ по теме магистерской диссертации	руководитель, магистрант	2																
5	Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	Магистрант	10																
6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Магистрант	35																
7	Аналитика различных патентов на их успешность в данной тематике	Магистрант	7																
8	Оценка результатов исследований	Научный руководитель,	4																
9	Подготовка пояснительной записки	Научный руководитель,	9																

Рисунок Б.1 – Календарный план-график проведения НИР по теме магистерской диссертации

Приложение В

Study of the process of fluid degradation in hydraulic fracturing using various acids.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ13	Шамсадов Изновр Ризванович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глотова Валентина Николаевна	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		

Introduction

Currently, the hydraulic fracturing method (fracking) is widely used to increase the productivity and injectivity of injection wells by involving low-permeability zones and reservoir rocks. This method involves the injection of a specialized fracking fluid into the well at high pressure to create fractures in the reservoir, allowing fluids to flow through. To keep the fractures open, proppants are also introduced into the well.

However, a challenge arises in removing the fracking fluid substance from the near-wellbore area to ensure unimpeded fluid flow into the well. In the industry, difficulties often arise with incomplete breaking of the crosslinked gel before its removal from the well.

The prevention of fracking fluid removal can be attributed to the incorrect selection of specialized additives (breakers) and their combinations, which do not optimally correspond to efficient breaking of the intermolecular bonds of the specific gel. Incorrect formulation leading to low-quality degradation results and the failure to adhere to necessary operating conditions, where breakers cannot fully realize their potential, can also contribute to this issue.

Particular attention should be given to the incorrect selection of the optimal concentration of introduced breakers, which can also hinder the controlled decomposition of the viscous gel into liquid fluid. This significantly impacts the effectiveness of breaking the crosslinked gel and underscores the importance of researching this topic. In this study, the technological characteristics of the fracking fluid will be analyzed under the influence of different concentrations of breakers and their combinations. Graphs depicting the dependencies of key parameters will be compiled to determine the optimal concentration options for breaking the crosslinked gel.

Thus, this research aims to examine the technological aspects of the fracking fluid, investigate the influence of various concentrations of breakers and their combinations. It holds significant value for optimizing the process of breaking the crosslinked gel and selecting the most effective concentrations of breakers.

1.1 Hydraulic fracturing as a method of increasing well productivity

Hydraulic fracturing, also known as fracking, is an effective method for enhancing oil and gas production from wells and increasing the flow capacity of injection wells [1]. This approach is based on the hydro-mechanical stimulation of the productive formation, which leads to the creation of long fractures in the rock under the pressure exerted by the injection of a specialized fluid.

The creation of a fracture network positively affects the hydraulic conductivity of the

formation and expands the drainage zone of the well. This, in turn, allows for a freer flow of fluids through the rock, significantly increasing the well flow rate. Due to this improved productivity, the well is capable of extracting multiple times more hydrocarbon reserves, resulting in a substantial increase in the well output.

Therefore, hydraulic fracturing represents an innovative approach that contributes to more efficient extraction of hydrocarbon resources, providing increased inflows and maximizing the recovery of oil and gas reserves.

Hydraulic fracturing (HF) is applied in wells:

- that showed weak oil flow during testing;
- with high reservoir pressure but low permeability of the reservoir rock;
- having low production rates compared to surrounding wells;
- with a contaminated near-wellbore zone;
- with a high gas-to-oil ratio in order to reduce it;
- injection wells with low injectivity;
- injection wells for expanding the sweep interval.

Hydraulic fracturing is a complex and highly advanced method that requires flawless execution, as even a minor mistake can result in the well failure to produce. One critical factor influencing the successful implementation of hydraulic fracturing is the use of a specialized fracturing fluid.

The fracturing fluid for hydraulic fracturing must meet several requirements. Firstly, it should utilize the minimum amount of fluid necessary to create long fractures. The viscosity of the fluid should possess high carrying capacity to effectively deliver proppants or sand into the fractures and evenly distribute them along their length.

The fracturing fluid should also have low hydraulic resistance and sufficient shear stability to enable the maximum pumping rate in accordance with specific geotechnical conditions. It should possess adjustable degradability in reservoir conditions. Importantly, it should not form insoluble precipitates that can reduce reservoir permeability and hinder the uniform distribution of proppants or sand within the fracture.

This is what a hydraulic fracturing profile looks like (Figure 1).

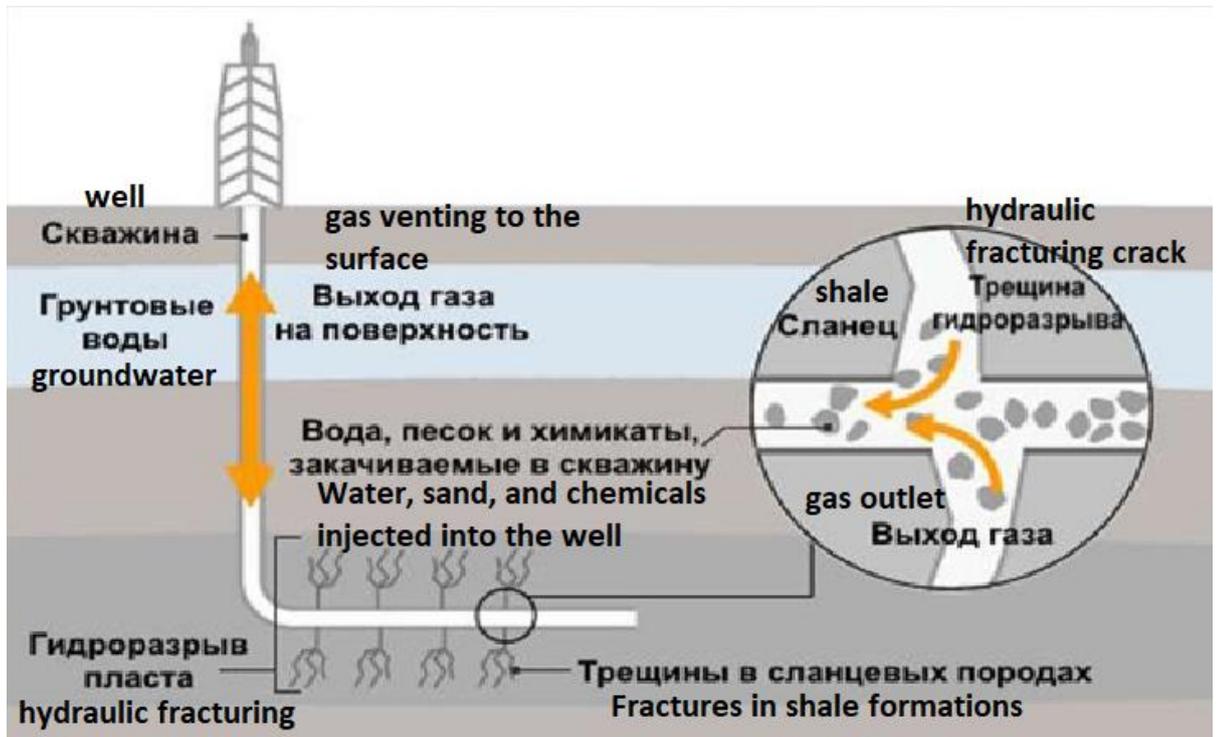


Figure 1 - Hydraulic Fracturing (The figure shows a well in which hydraulic fracturing has been performed, resulting in the formation of cracks through which reservoir fluid flows)

These requirements for fracturing fluid are crucial to ensure the successful implementation of hydraulic fracturing. They enable effective crack formation and optimal utilization of the well for maximizing the extraction of hydrocarbon reserves.

1.2 Types of Hydraulic Fracturing

There are various types of hydraulic fracturing, the main ones being [2]:

Standard Fracturing. This is the most common and fundamental method of hydraulic fracturing, where hydraulic fracturing fluid is injected into the well under high pressure to create fractures in the formation.

Volume Fracturing. This method of hydraulic fracturing involves the use of a large volume of fracturing fluid, which is pumped into the well at high pressure to create a large number of fractures and maximize the coverage of the formation.

Acid Fracturing. In this method, acid is added to the fracturing fluid to help dissolve and break down the rock materials around the fractures, increasing their permeability. Acid fracturing is particularly useful in carbonate formations.

Foam Fracturing. In this method, foam-forming agents are added to the fracturing fluid to create foam. Foam fracturing provides better control over the fractures and increases the efficiency of proppant placement.

Hybrid Fracturing. Hybrid fracturing combines different methods and technologies of hydraulic fracturing, such as standard and volume fracturing or other combinations, to achieve

optimal results.

Directional Fracturing. In this method, special techniques and tools are used to create fractures with a specific direction. Directional fracturing allows targeting specific zones and controlling the direction of fracture propagation.

Interval-Selective Fracturing. This method of fracturing involves conducting fractures in specific intervals of the well, selected based on geological data. Thus, fractures are formed exclusively in the targeted formation zones.

Non-Directional Multi-Fracturing. In this method, a series of fractures are performed without considering a specific fracture direction. The objective is to create multiple fractures in different directions to maximize fluid influx.

Multi-Stage Fracturing. This method involves dividing the well into several sections or stages, with each stage undergoing a separate fracturing operation. This allows for effective treatment of different sections of the formation and maximizes overall fluid influx.

1.3 Classification of Fracturing Fluids

1.3.1 Functions of Fracturing Fluids

To effectively create fractures during the hydraulic fracturing process, a sequential injection of three types of fluids is employed: fracturing fluid, proppant-carrying fluid, and flush fluid. Each of these fluids serves its own function, crucial for the successful execution of the hydraulic fracturing procedure.

Fracturing fluid is designed to disrupt the integrity of the rock formation by creating new fractures or expanding existing ones. It is injected into the downhole zone of the formation, where its pressure leads to rock breakdown and the formation of a fracture network.

Proppant-carrying fluid is used to transport sand or other proppant materials from the surface source into the fractures created by the fracturing fluid. It fills the fractures with proppant, ensuring their stability and preventing closure after pressure is released [3].

Flush fluid is used to pack the pump-compressor pipes into the treated formation and into the already formed fracture filled with fracturing fluid and proppant-carrying fluid. It ensures the stability and sealing of the fractures, maintaining optimal conditions for further well operation.

Thus, the sequential injection of these three types of fluids plays a crucial role in the successful implementation of hydraulic fracturing, facilitating the creation of a fracture network and the optimal utilization of well resources to enhance flow rates and hydrocarbon recovery.

Key parameters for selecting fracturing fluids include:

1. Fluid type;
2. Viscosity requirements;
3. Rheological properties of the fluid;
4. Economic analysis of the fluid;
5. Field application experience;
6. Laboratory research data on the formation;
7. Material availability;
8. Proppant selection;
9. Compatibility with the formation;
10. Compatibility with formation fluids;
11. Ability to retain proppant in suspension and transport it deep into the fracture;
12. Provision of the necessary hydraulic fracture width for proppant transport;
13. Low filtration characteristics;
14. Easy removal from the formation after treatment;
15. Minimization of pressure losses along the flow path to reduce the load on fracturing equipment and the well;
16. Simple and easy preparation of the fluid under field conditions;
17. Sufficient stability of rheological properties throughout the fracturing treatment;
18. Economic efficiency, ensuring acceptable treatment costs.

1.3.2 Water-Based Fracturing Fluids

Currently, around 80% of hydraulic fracturing operations are performed using water-based fracturing fluids, which are enriched with various chemical additives to achieve the desired rheological properties. This approach is versatile and offers significant advantages.

Water-based fluids are widely used in hydraulic fracturing due to their availability and broad applicability. Water, as the main component, is a cost-effective and easily accessible resource. Furthermore, water-based fluids generally exhibit low toxicity and minimal environmental impact, which is crucial for ensuring environmental safety [4].

Chemical additives incorporated into water-based fluids can significantly alter their rheological properties. This allows for the customization of fluids to specific geological and technical conditions and hydraulic fracturing requirements. For example, the addition of reagents can improve fluid viscosity, increase its carrying capacity, or modify surface tension, enhancing its penetration into the formation and fracture formation.

Moreover, water-based fluids can be easily cleaned and removed from the well after

the completion of hydraulic fracturing. This simplifies the subsequent production and well maintenance processes.

Thus, the use of water-based fracturing fluids offers numerous advantages, including availability, environmental safety, adaptability to conditions, and easy disposal. They are widely applied and provide an effective solution for hydraulic fracturing and the enhancement of oil and gas well operations.

1.3.3 Oil-Based Fluids

Currently, approximately 10% of hydraulic fracturing (fracking) operations are performed using oil-based fracturing fluids. The use of oil-based fluids in fracking has undergone several advancements and is considered effective in many regions worldwide. Diesel fuel or kerosene are commonly used to create such fluids.

The advantages of using oil-based fluids in fracking include their good compatibility with oil-based fluids and formation rocks [4]. This ensures more efficient pressure transmission to the rock and fracture creation. Additionally, oil-based fluids exhibit high stability and resistance to high temperatures and chemical exposure. This is particularly important in complex geological formations or when aggressive chemical reagents are employed.

However, the use of oil-based fluids also comes with certain drawbacks. Firstly, they tend to be more expensive compared to water-based fluids, which may impact the economic feasibility of their application. Secondly, the disposal of oil-based fluids requires special safety measures and control to prevent potential negative environmental impacts.

Thus, the use of oil-based fluids in fracking offers advantages such as good compatibility with oil-based fluids and formation rocks, as well as high stability and resistance. However, their higher cost and requirements for safety and environmental disposal should be taken into account.

1.3.3 Multiphase-Based Fracturing Fluids

1.3.4.1 Multiphase-Based Fracturing Fluids

Stabilized oil-in-water emulsions are available fluids for hydraulic fracturing (fracturing fluid) operations. Typically, in the preparation of an emulsion, the aqueous phase is thickened using polymers, and then hydrocarbons such as diesel or kerosene are blended with the thickened water. Modern polyemulsions are direct emulsions where oil droplets are dispersed in a continuous aqueous phase. The phase ratio, such as 50/50, 60/40, or 70/30, can vary depending on specific conditions and requirements.

The advantages of using oil-in-water emulsions in hydraulic fracturing include their

availability and relative cost-effectiveness compared to other types of fluids. Emulsions exhibit good stability and rheological properties, ensuring efficient fracture formation and proppant distribution within the fractures. Additionally, emulsions can be tailored with various phase ratios to optimize adaptation to geological conditions and well requirements. They offer excellent water control, and post-fracturing well cleanup is typically effective [5].

However, oil-in-water emulsions have some drawbacks. They may be less effective under certain conditions, such as high temperatures or deep wells, where chemical reactions can slow down. Additionally, frictional pressure losses can be significant, especially when using reverse emulsions. Oil-in-water emulsions also require special safety measures and disposal control due to their oil-based nature. It is also worth noting that mixing in field conditions is a more complex process compared to water-based fluids since the aqueous phase is thickened before emulsion preparation, which depends on time and emulsifiers.

Therefore, the use of stabilized oil-in-water emulsions in hydraulic fracturing (fracking) has its advantages, such as availability and rheological properties, but it also comes with certain limitations under specific conditions. The extended application and effectiveness of emulsions require careful evaluation of specific parameters and requirements for each individual well.

1.3.4.2 Foamed Systems

The use of foams as fracturing fluids is a complex process in hydraulic fracturing (HF). Foam formation is achieved by adding liquid nitrogen (N_2) or carbon dioxide (CO_2) to a gelled water or oil base, which contains surfactants. When nitrogen is used, proppant is transported in the liquid phase until high-pressure pumps convert it into foam. When carbon dioxide is used, the mixture forms a viscous emulsion that also transports proppant until foam formation [6].

The advantages of using foams in HF include reducing the fluid density and volume, resulting in less contact with the formation and requiring less fluid to be recovered. Foams are particularly useful when dealing with low-pressure reservoirs. Additionally, foams have good proppant transport properties and facilitate fluid recovery during post-fracturing well cleanup.

However, the use of foams also comes with some drawbacks. Conducting HF with foams requires more complex and technologically challenging treatment. It is also worth noting that the effectiveness of foam applications depends on the specific well and reservoir conditions. Some formations may not respond to foams as effectively as others.

To enhance the effectiveness of foam utilization, it is recommended to open the well as quickly as possible after HF to prevent gas dissolved in the fluid from escaping. Thus, the

application of foams requires careful assessment and planning, considering the specific characteristics of the well and reservoir.

Advantages of using foams:

- **Reduced fracturing fluid density:** Foams significantly lower the density of the fracturing fluid, improving proppant transport capabilities and facilitating its uniform distribution within the fractures. This promotes more efficient fracture propagation and increased well productivity.
- **Increased contact area:** Foams can provide wider and more uniform proppant distribution within the fractures, leading to an increased contact area between the proppant and the formation. This enhances hydraulic conductivity and improves the inflow of oil or gas from the reservoir.
- **Improved well cleanup efficiency:** The use of foams can facilitate the removal of fracturing fluid from the well during the cleanup process. The lighter and less viscous structure of the foam aids in more effectively displacing residual fluid from the fractures, enhancing the efficiency of the cleanup process.

Some drawbacks of using foams:

- **Technical complexity:** The application of foams requires more complex and technologically challenging treatments. Preparing and creating a stable foam can be a demanding task that requires specific skills and equipment.
- **Dependence on reservoir conditions:** The effectiveness of foam applications may depend on the specific well and reservoir conditions. Some formations may not respond to foams as effectively as others, which can limit their application.
- **Increased costs:** Foams can be more expensive to use compared to other fracturing fluids, such as water-based emulsions. This can impact the economic feasibility of foam utilization.

Overall, the use of foams in hydraulic fracturing offers advantages such as reducing the density of the fracturing fluid and facilitating proppant transport. However, it also requires additional effort and technological knowledge, and its effectiveness depends on specific well conditions and requirements.

1.4 Components of Water-Based Fracturing Fluids

1.4.1 Guar

Guar, as a component of water-based fracturing fluids, is a vegetable polymer derived from the legume family [7]. Originally, it found wide application in the industry but was later adopted for hydraulic fracturing. Guar is a polymer structure composed of mannose and

galactose molecules and has a high molecular weight.

The main function of guar in water-based fracturing fluids is its ability to thicken and increase the viscosity of the fluid. This is necessary to ensure the effective transport of proppants into the fracture. Guar forms a polymer network within the fluid, increasing its viscosity and promoting a more even distribution of proppants in the fracture. Thus, guar helps achieve better hydraulic conductivity of the formation and enhances the efficiency of hydraulic fracturing.

The concentration of guar in fracturing fluids can vary depending on the geological and reservoir conditions in which operations are conducted. Different geological formations and requirements for hydraulic fracturing may necessitate varying concentrations of guar to achieve optimal results.

Thus, guar, as a component of water-based fracturing fluids, plays an important role in thickening and increasing the viscosity of the fluid, which facilitates the effective transport of proppants into the fracture. The varying concentrations of guar allow for the adaptation of the fracturing fluid to specific geological conditions and the requirements of hydraulic fracturing operations. The structure of guar is shown in Figure 2.

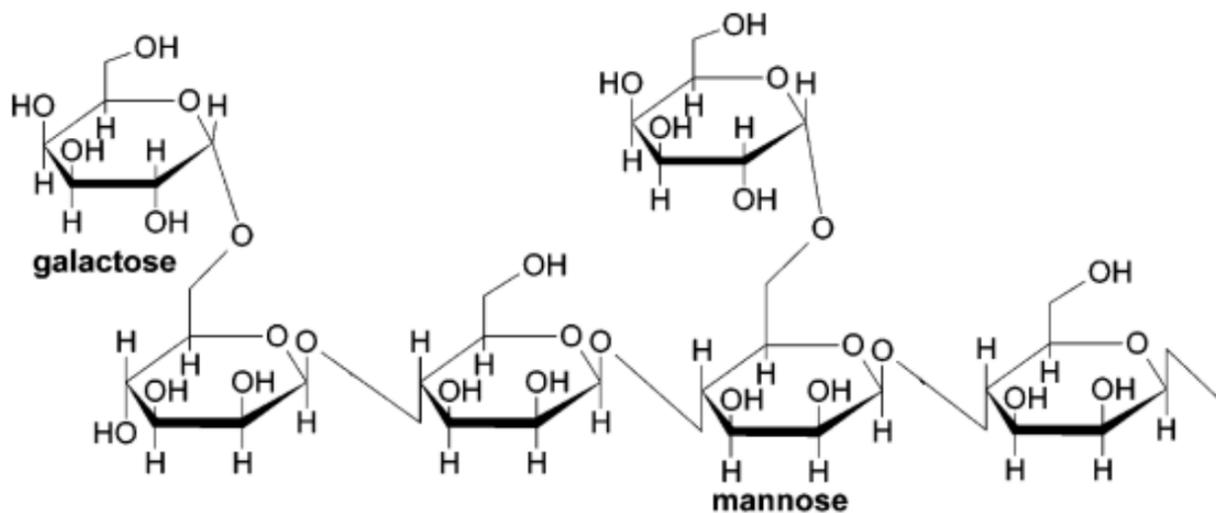


Figure 2 - Structure of guar

As seen in Figure 2, the structure of guar is based on a polymannose chain, with galactose branching from it. Weaver et al. [8] conclude in their work that when six or more mannose units are sequentially connected, a polymannose spiral is formed, which is insoluble. In this case, a precipitate representing insoluble guar is expected to be present in the mixture, ranging from 6 to 10% (by mass). The presence of this precipitate negatively affects the proppant pack. The presence of precipitates is caused by fluid breakers. Both types of precipitates reduce the permeability and conductivity of the proppant pack.

A partial solution to this problem is the use of polymers derived from guar. These include hydroxypropyl guar (HPG) and carboxymethylhydroxypropyl guar (CMHPG). The use of guar derivatives allows for reducing the amount of soluble precipitate to 2-4% (by mass).

1.4.2 Fluid Crosslinkers

Crosslinking of water-soluble polymers using metal ions is an important process for optimizing the rheological properties of the fracturing fluid in hydraulic fracturing. Several metals, including boron, titanium, zirconium, aluminum, chromium, manganese, and copper, are widely used in this process [9].

Crosslinking occurs through the interaction between metal ions and OH groups on the side galactose branches of the polymer, such as guar. This leads to a modification of the rheological properties of guar, making it more suitable for hydraulic fracturing purposes.

The choice of metals for crosslinking is limited by pH values, temperature ranges, and the type of polymer to be crosslinked. The crosslinking process can be delayed to minimize surface pressures during the initial fluid injection into the wellbore. Increasing the pH of the fracturing fluid is one way to slow down the crosslinking process.

One of the most common and simple crosslinkers is borate. It is used in combination with guar or other polymers to form a high-viscosity and thermally stable fluid (with a temperature limit of around 150°C). At a pH above 8, borate ions and guar form an extremely viscous fluid within a few seconds. To achieve maximum thermal stability and crosslinking, the pH and concentration of borates need to be optimized. The optimal pH range for high-temperature applications is between 10 and 12, depending on the type of borate compound and its ion concentration.

Therefore, crosslinking water-soluble polymers using metal ions, including borate, provides the ability to modify the rheological properties of the fracturing fluid and create optimal conditions for hydraulic fracturing. However, careful control of pH and crosslinker concentration is required to achieve desired results based on specific conditions and requirements of the fracturing operation.

1.4.3 Destructors

Destructors are an important additive in hydraulic fracturing fluids during the process of hydraulic fracturing (fracking) [10]. Their main function is the controlled breakdown of the viscous fracturing fluid into a more liquid form that can be recovered back from the fracture. Destructors are applied prior to gel crosslinking, meaning they are added to the fracturing fluid before the formation of a polymer filter cake and proppant pack to ensure high hydraulic

conductivity of the fracture.

Destructors break down the polymers present in the fracturing fluid into smaller fragments with lower molecular weight. Various substances such as acids, oxidizers, and enzymes can be used for this purpose, depending on the fracking conditions.

The use of acid solutions is based on hydrolysis processes. However, the use of inorganic acids can cause active corrosion of equipment and the formation of insoluble precipitates when in contact with polymers and reservoir rocks. Additionally, acids can damage the proppant, which can have a negative impact on fracture conductivity.

Oxidizers are the most common type of destructors. They include sodium percarbonate, potassium persulfate, sodium hypochlorite, urea peroxide, potassium permanganate, and hydrogen peroxide. Oxidizers have a delayed activity at temperatures below 50°C, but their chemical activity increases with temperature elevation.

Enzymes can also be used as destructors, and they contribute to reducing the molecular weight of polymers such as guar. It is important to note that, unlike other types of destructors, enzymes are not consumed in the destruction process. However, they may undergo denaturation at high temperatures and highly alkaline conditions.

To prevent premature destruction of the fracturing fluid, destructors can be introduced in encapsulated form. This allows for an increased concentration of destructors in the fracturing fluid and ensures complete destruction at the desired moment.

Thus, the use of destructors is an important aspect of hydraulic fracturing, allowing for control over the destruction of viscous fracturing fluid and providing optimal conditions for the process.

1.4.4 Stabilizers

To prevent the degradation of crosslinked guar gels under high temperatures, it is important to use stabilizers. One of the most effective stabilizers recommended in studies is sodium thiosulfate.

Some researchers suggest that stabilizers act as oxygen scavengers in the fracturing fluid, preventing the degradation of the crosslinked gel. They also note that to ensure long-term stability of the fracturing fluid, it is recommended to use fluids with high pH levels (ranging from 9 to 11), as guar and its derivatives are susceptible to hydrolysis at low pH and high temperatures (above 90°C).

Laboratory research and field data demonstrate that clay swelling and migration can lead to reservoir pore plugging and negatively impact the outcome of hydraulic fracturing operations. Clays have a detrimental effect on reservoir permeability due to the following

factors: the swelling of clay particles, which reduces the permeability of the rock, and the breakdown of clay minerals, which causes the migration of clay particles and the plugging of pore channels within the formation.

Therefore, the use of stabilizers and clay control is crucial in hydraulic fracturing operations to ensure the stability of the fracturing fluid and minimize the adverse effects of clays on reservoir permeability.

1.4.10 Proppant

The purpose of proppant in the hydraulic fracturing process is to maintain an open fracture in the formation after the fracturing operation. Proppant is a specialized material, typically in the form of spherical particles, that is injected into the fractures created by hydraulic fracturing to prevent their closure or collapse. Proppant fills the space in the fractures, providing support and preventing their closure [11].

Proppants have high strength and stability to withstand mechanical stresses and pressures within the formation. They also have specific sizes and shapes that promote optimal well permeability and enhance fluid flow through the fractures. Different types of proppants can be used depending on geological conditions, formation characteristics, and desired operational parameters.

The main purpose of proppant in the hydraulic fracturing process is to keep the fractures open, maintain continuous conductivity, and increase the well production rate. Proppants help improve the drainage of oil or gas from the formation and enhance its productivity. They play a crucial role in the successful operation of wells and the extraction of hydrocarbons from various geological formations.

Proppant is also essential for ensuring long-term stability and effectiveness of hydraulic fracturing. During the injection of proppant into the fractures, it fills the space between the rock particles, preventing their displacement and closure of the fractures. This helps preserve the hydraulic conductivity of the formation throughout the life of the well.

The selection of the optimal type and size of proppant depends on several factors, including the type and characteristics of the formation, well depth, desired production rate, and other parameters. Proppants can be made from various materials such as quartz, bauxite, sintered bauxite, ceramics, and others. Each type of proppant has its own features and advantages depending on the operating conditions and project requirements.

One important aspect of proppant is its strength. Proppants need to withstand high pressures and mechanical loads within the formation to prevent fracturing or crushing under compressive forces. Additionally, the stability of proppant size and shape plays a role in

ensuring optimal fracture conductivity and efficient fluid flow.

Proppants are a crucial component of hydraulic fracturing technology and contribute to increased hydrocarbon production from wells. They allow for optimizing well performance, improving the hydraulic conductivity of the formation, preventing fracture closure, and ensuring the stability of the production process. The use of proppants makes hydraulic fracturing a more efficient and economically viable method for developing hydrocarbon reservoirs.

1.5 Properties of Water-Based Fracturing Fluid

To fulfill its intended purpose, the fracturing fluid should possess the following properties:

- Ability to suspend and transport the proppant in a suspended state into the formation;
- Provision of the required hydraulic fracture width (fracturing fluid effectiveness) and low filtration characteristics (fluid loss control);
- Minimal frictional pressure losses during the hydraulic fracturing process to reduce equipment strain;
- Compatibility with the reservoir rocks comprising the productive formation, as well as reservoir fluids.
- Maintenance of stable rheological properties throughout the entire duration of hydraulic fracturing.
- Ease of removal from the formation after completion of fracturing operations.
- Simplicity of preparation under field conditions.
- Economic efficiency, expressed by an acceptable cost of hydraulic fracturing.
- Safety in handling.

Conclusion

After studying and analyzing the available literature sources, a definite conclusion can be drawn about the critical importance and complexity of the non-destruction problem of crosslinked gel in the void space of the proppant pack during hydraulic fracturing. Non-destruction of the gel leads to a reduction in permeability and conductivity of the pack, which negatively impacts well productivity and the entire well network.

To minimize contamination of the void space, it is necessary to use effective breakers capable of qualitatively breaking down the polymer base of the hydraulic fracturing fluid with minimal time consumption. However, premature action of the breakers can cause undesirable consequences, such as premature gel breaking. This can result in insufficient filling of the fracture with proppant and reduced fracture penetration into the reservoir rock.

Therefore, the selection of the most effective breaker, considering both technology and cost-saving aspects, is an important aspect in the design and execution of hydraulic fracturing operations.

The proposed compositions of the hydraulic fracturing fluid possess the necessary technological properties that contribute to effective reservoir treatment. Additionally, properly selected component ratios ensure stability and controllability of the treatment process, which is a crucial factor in achieving desired outcomes.

In further research, several promising directions can be considered to expand knowledge and gain a deeper understanding of the non-destruction problem of hydraulic fracturing gel. Some of these directions include:

1. Investigation of alternative types of breakers: It is worth studying and testing alternative breakers that can provide effective gel breaking with minimal negative consequences.
2. Conducting experiments with more realistic formulations of hydraulic fracturing fluid: It is advisable to use compositions of hydraulic fracturing fluid that are more representative of real conditions and conduct experiments to obtain more accurate and applicable results.
3. Expansion of breaker concentration ranges: It is necessary to explore breaker concentration ranges that have not been considered in previous studies to determine their effectiveness and potential limitations.
4. More detailed assessment of the influence of mechanical and thermal destruction: Conducting a more in-depth analysis of the impact of mechanical and thermal destruction on the properties of the gel and its interaction with the fracture and

reservoir rock.

These directions for further research can significantly contribute to the understanding and resolution of the non-destruction problem of hydraulic fracturing gel, as well as assist in the development of more efficient and controllable methods for gel destruction during the hydraulic fracturing process.

Alongside this, special attention has been paid to safety throughout the research process. Information has been provided on the necessary regulatory documents that govern safety measures during operations. Personal protective equipment for workers, such as specialized clothing, eye and respiratory protection, and others, has also been presented.

Furthermore, a calculation of the artificial lighting system in the laboratory has been conducted to ensure compliance with illumination standards required for providing comfortable working conditions. This guarantees that workers will operate under optimal lighting conditions, which affect their performance and productivity.

Adherence to safety measures and compliance with environmental protection requirements create favorable conditions for working in the laboratory. This ensures that research is conducted in a safe and environmentally responsible environment, promoting the health and well-being of workers, as well as the preservation of environmental norms.