

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование эффективности брейкеров для жидкостей гидроразрыва пласта
УДК 622.276.66.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2021 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич

Тема работы:

Исследование эффективности брейкеров для жидкостей гидроразрыва пласта
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: процесс деструкции сшитого геля гидроразрыва. Область применения: системы жидкостей гидроразрыва пласта, позволяющих минимизировать загрязнение продуктивного горизонта.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	1 Литературный обзор 1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод интенсификации работы нефтяных и газовых скважин 1.2 Проведение ГРП 1.3 Порядок работ при гидравлическом разрыве пласта 1.4 Оборудование для проведения

	гидравлического разрыва пласта 1.5 Виды ГРП 1.6 Классификация жидкостей для ГРП по назначению 1.7 Типы жидкостей ГРП 1.8 Свойства жидкостей разрыва на водной основ 1.9. Контроль качества жидкости ГРП 1.10. Проблема загрязнения трещины после ГРП 1.11. Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП 1.12. Выявление процессов физической и химической деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП 1.13. Деструктор ФЛАКСОР 110 1.14. Заключение по литературному обзору 2 Экспериментальная часть 2.1 Методика эксперимента 2.2 Обработка полученных экспериментальных данных 2.3 Вывод по экспериментальной части
--	---

Перечень графического материала

(с точным указанием обязательных чертежей)

Необходимость в графических материалах отсутствует

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Профессор отделения общетехнических дисциплин, д.т.н., Сечин А.И.
Часть на иностранном языке	Доцент отделения иностранных языков, к.п.н., Гутарева Н.Ю.

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языках:

Research on the effectiveness of breakers for fracturing fluids

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

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич

Школа	ИШПР	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.	<i>1. Работа с информацией, представленной в аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах. 2. Подбор методики расчета показателей. 3. Выбор исходных данных, в том числе: норм расхода материалов, тарифных ставок заработной платы, а также размера страховых отчислений.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	<i>SWOT-анализ проекта</i>
2. Планирование и формирование график научных научно-исследовательской работы.	<i>Линейный календарный график выполнения работы</i>
3. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательской работы	<i>1. Материальные затраты научно-технического исследования (НТИ); 2. Основная заработная плата исполнителей темы; 3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы; 4. Социальные взносы; 5. Бюджет НТИ.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. Матрица SWOT 2. Линейный календарный график проведения НТИ 3. Бюджет НТИ</i>	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич

ШКОЛА	ИШПР	Отделение	Нефтегазовое дело
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема дипломной работы: « Исследование эффективности брейкеров для жидкостей гидроразрыва пласта »

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<ul style="list-style-type: none"> • Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения) <p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Объект исследования – процесс деструкции сшитого геля на основе гуаровой смолы. Область применения – системы жидкостей гидроразрыва пласта, позволяющих минимизировать загрязнение продуктивного горизонта.</p> <p style="text-align: center;">Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указать ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений: перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты. При отклонении показателя предложить мероприятия.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>Анализ показателей шума и вибрации</p> <ul style="list-style-type: none"> • установление соответствие показателей нормативному требованию; <p>Анализ показателей микроклимата</p> <ul style="list-style-type: none"> • показатели температурные, скорости движения воздуха, запыленности. <p>Анализ освещенности рабочей зоны</p> <ul style="list-style-type: none"> • типы ламп, их количество, соответствие нормативному требованию освещенности; • при расчете освещения указать схему размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету. <p>Анализ электробезопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> • наличие электроисточников, характер их опасности; • установление класса электроопасности помещения, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления. • при расчете заземления указать схему размещения заземлителя согласно проведенному расчету. <p>Анализ пожарной безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> • присутствие горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности. • категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение. • Разработать схему эвакуации при пожаре. 	<p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указать ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты; • привести классы электроопасности помещений, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления, • категорию пожароопасности помещения, • марки огнетушителей, их назначение. <p>При отклонении показателя предложить мероприятия.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • защита селитебной зоны • анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p>Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера, обрезки электромонтажных проводов) потребовали</p>

<ul style="list-style-type: none"> • анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); • разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов.</p> <p>Наличие радиоактивных отходов также требует разработки их утилизации.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассматриваются 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильные морозы зимой;</p> <p>2) техногенная – исключить несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (большая вероятность проведения диверсии).</p> <p>Предусмотреть мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Приведены:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень НТД, используемых в данном разделе, • схема эвакуации при пожаре, • схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич		

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

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

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы	
---	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
31 декабря 2020	1. Проведение литературного обзора	
1 марта 2021	2. Утверждение методики проведения исследования и обработки данных	
10 марта 2021	3. Проведение экспериментов по оценке влияния молочной кислоты в различных концентрациях на реологические свойства жидкостей ГРП	
15 апреля 2021	4. Анализ полученных экспериментальных данных, промежуточная аттестация	
	5. Предварительная защита диссертации	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

Реферат

Магистерская выпускная квалификационная работа содержит 137 страниц, 27 рисунков, 21 таблицу, 75 литературных источников, 3 приложения.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта (ГРП), призабойная зона пласта (ПЗП), жидкости ГРП, гуаровая смола, брейкеры, деструкторы, молочная кислота, олигомер полилактида, деструкция жидкости ГРП, пластическая вязкость.

Объектом исследования является процесс деструкции сшитого геля ГРП на основе гуаровой смолы.

Цель работы – исследование влияния биоразлагаемых брейкеров на реологические характеристики жидкости ГРП.

Задачи работы:

- произвести литературный обзор источников по данной магистерской теме;
- определить методику проведения экспериментальной части работы;
- провести эксперименты с выбранными деструкторами;
- обработать полученные экспериментальные данные;
- сделать вывод.

В качестве основного оборудования в ходе работы использовали ротационный вискозиметр модели OFITE 800 для исследования реологических характеристик сшитого геля.

В процессе исследования были рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс ГРП. Изучены существующие разновидности химической деструкции. Описаны методики проведенных экспериментов, проведена обработка полученных данных. Проанализировано влияние различных концентраций кислот в качестве деструктора на пластическую вязкость сшитого геля на основе гуаровой смолы.

В результате исследования предложены оптимальные концентрации деструктора на основе кислот, которые возможно использовать для разрушения сшитого геля на основе гуаровой смолы.

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) – один из самых эффективных методов нефтеотдачи и интенсификации притока жидкости и газа к скважинам, заключающийся в создании высоко-проводимой трещины в целом пласте для интенсификации притока флюида к забою скважины.

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. Изменение структуры полимеров приводит к изменению их физических и химических свойств, т.е. к старению полимеров.

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

ГРП – гидравлический разрыв пласта; ПЗП – призабойная зона пласта; т.е. – то есть; т.д. – так далее; др. – и другие.

Оглавление

Введение.....	15
1. Литературный обзор.....	16
1.1. Гидравлический разрыв пласта как метод интенсификации работы нефтяных и газовых скважин.....	16
1.2. Проведение ГРП.....	17
1.3. Порядок работ при гидравлическом разрыве пласта.....	18
1.4. Оборудование для проведения гидравлического разрыва пласта.....	20
1.5. Виды ГРП.....	21
1.6. Классификация жидкостей для ГРП по назначению.....	30
1.7. Типы жидкостей ГРП.....	32
1.7.1. Жидкости на водной основе.....	38
1.7.2. Линейный гель.....	34
1.7.3. Сшитый гель.....	36
1.7.3.1. Боратный сшитый гель.....	36
1.7.3.2. Органометаллический сшитый гель.....	37
1.7.4. Жидкости на нефтяной основе.....	38
1.7.5. Жидкие гелевые концентраты.....	41
1.7.6. Вспененные жидкости.....	41
1.7.7. Жидкости на спиртовой основе.....	43
1.7.8. Деструкторы (брейкеры).....	43
1.7.9. Стабилизаторы.....	44
1.7.10. Бактерициды.....	45
1.7.11. Ингибиторы глин.....	45
1.7.12. Буферы и регуляторы pH.....	45
1.8. Свойства жидкостей разрыва на водной основе.....	46
1.8.1. Способность удерживать и транспортировать проппант.....	46
1.8.2. Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи.....	46
1.8.3. Потери давления на трение.....	47
1.8.4. Совместимость с горными породами и пластовыми флюидами.....	48
1.8.5. Удаление жидкости разрыва из трещины.....	48
1.9. Контроль качества жидкости ГРП.....	49
1.10. Проблема загрязнения трещины после ГРП.....	51
1.11. Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП.....	52
1.11.1. Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантной пачки и продуктивного пласта.....	52

1.11.2. Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на водной основе.....	53
1.11.3. Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на углеводородной основе	54
1.12. Выявление процессов физической и химической деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП.....	54
1.12.1. Физическая деструкция.....	55
1.12.2. Термическая деструкция	55
1.12.3. Механическая деструкция	55
1.12.4. Фотодеструкция	56
1.12.5. Радиационная деструкция.....	57
1.12.6. Химическая деструкция	58
1.12.7. Деструкция при обработке неорганическими и органическими кислотами.....	58
1.12.8. Деструкция под действием энзимов	59
1.12.9. Деструкция под влиянием биологических организмов	62
1.13. Деструктор ФЛАКСОР 110.....	63
1.14. Заключение по литературному обзору	67
2. Экспериментальная часть	68
2.1. Методика эксперимента	68
2.1.1. Средства и материалы для проведения экспериментов.....	68
2.1.2. Порядок проведения экспериментов	71
2.1.2.1. Методика приготовления сшитого геля.....	71
2.1.2.3. Методика приготовления брейкера	71
2.1.2.2. Методика определения реологических параметров	72
2.2. Обработка полученных экспериментальных данных.....	72
2.2.1. Определение пластической вязкости жидкости ГРП при добавлении кислот концентрации 15%.....	72
2.2.2.1. Исследование пластической вязкости с лимонной кислотой в качестве деструктора	72
2.2.2.2. Исследование пластической вязкости с винной кислотой в качестве деструктора	73
2.2.2.3. Исследование пластической вязкости с молочной кислотой в качестве деструктора	74
2.2.2.4. Исследование пластической вязкости с гликолевой кислотой в качестве деструктора	74

2.2.3. Определение пластической вязкости жидкости ГРП при добавлении кислот концентрации 8%.....	75
2.2.3.1. Исследование деструкции сшитого геля при обработке гликолевой кислотой	75
2.2.3.2. Исследование деструкции сшитого геля при обработке винной кислотой	76
2.2.3.3. Исследование деструкции сшитого геля при обработке молочной кислотой	77
2.2.3.1. Исследование деструкции сшитого геля при обработке лимонной кислотой	77
2.2.3.1. Исследование деструкции сшитого геля при обработке гликолевой кислотой	78
2.2.3.1. Исследование деструкции сшитого геля при обработке смесью лимонной и гликолевой кислот.....	78
2.3. Вывод по экспериментальной части	79
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	80
3.1. SWOT-анализ	81
3.2. Планирование научно-исследовательской работы.....	82
3.2.1. Структура работы в рамках научного исследования	82
3.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	83
3.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	84
3.2.4. Бюджет научно-технического исследования	88
3.2.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования	88
3.2.4.2. Основная заработная плата исполнителей темы	88
3.2.4.3. Страховые взносы.....	90
3.2.4.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	91
3.2.5. Оценка эффективности применения различных брейкерных систем	91
4. Социальная ответственность	93
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	93
4.1.1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	93
4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	93
4.2. Производственная безопасность	96
4.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	96
4.2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.....	99

4.3. Экологическая безопасность	100
4.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	100
4.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	101
4.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	102
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования.....	104
4.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	104
Заключение.....	106
Список использованных источников.....	107
Приложение А.....	114
Приложение Б	117
Приложение В.....	120

Введение

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) – один из методов интенсификации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения приёмистости нагнетательных скважин. [4]. Широко используется нефтегазовыми компаниями в виду высокой рентабельности.

Метод ГРП состоит в том, что в продуктивном пласте на больших глубинах (ниже 500 м от поверхности земли) создаются трещины, облегчающих путь в пласт воде, закачиваемой в нагнетательные скважины, или облегчающих приток нефти из пласта в эксплуатационные скважины. При закачке в скважину рабочей жидкости с высокой скоростью на ее забое создается высокое давление. Если оно превышает горизонтальную составляющую горного давления, то образуется вертикальная трещина. В случае превышения горного давления формируется горизонтальная трещина. [2]

После проведения гидравлического разрыва пласта, прежде чем начать добычу, обработка призабойной зоны является важнейшим фактором, связанным с удалением жидкости ГРП и извлечением остатка расклинивающего материала с забоя скважины. Это необходимо для повышения относительной проницаемости и предупреждения препятствия на пути притока углеводородов. К обработке подземных произведенных трещин относятся состав для разрушения жидкостей ГРП.

Удаление жидкости ГРП может быть затруднено неполной деструкцией сшитого геля и образованием остаточного значительного количества хлопьевидного осадка, ухудшая проводимость трещины пласта. Данная проблема связывается с рядом причин:

- неправильный выбор рецептуры жидкости ГРП;
- неправильный выбор деструкторов;
- неправильный выбор концентрации деструкторов;
- несоблюдение конкретных рабочих условий.

Кроме того, использование составляющих агентов в составе жидкости ГРП без воздействия на окружающую среду также заслуживает внимания.

Исходя из этого, можно сказать что, правильный выбор типа деструкторов является важным фактором в процессе удаления жидкости ГРП из пласта.

Данная тема исследования относится к способам и составам, используемым для обработки подземных формаций в процессе ГРП, в частности для разрушения загущенных жидкостей биоразлагаемыми полимерами в качестве деструкторов.

1. Литературный обзор

1.1 Гидравлический разрыв пласта как метод интенсификации работы нефтяных и газовых скважин.

На сегодняшний день гидравлический разрыв пласта является одним из самых эффективных методов интенсификации притока и повышения нефтеотдачи. [5].

Метод ГРП состоит в том, что в продуктивном пласте на больших глубинах (ниже 500 м от поверхности земли) создаются трещины, облегчающих путь в пласт воде, закачиваемой в нагнетательные скважины, или облегчающих приток нефти из пласта в эксплуатационные скважины. При закачке в скважину рабочей жидкости с высокой скоростью на ее забое создается высокое давление. Если оно превышает горизонтальную составляющую горного давления, то образуется вертикальная трещина. В случае превышения горного давления формируется горизонтальная трещина. [1, 2].

Сеть созданных трещин улучшает гидравлическую проводимость породы пласта и увеличивает зону дренирования скважины. Данный метод приводит к интенсификации выработки запасов, соответственно к достижению более высокой конечной нефтеотдачи и увеличению эффективности.

Технология гидроразрыва пласта активно применяется с середины XX века: в США — с 1948 года, в СССР — с 1952-го. Однако в нашей стране с открытием крупных нефтегазовых месторождений отпала необходимость искусственно увеличивать дебит скважин и метод в больших масштабах не применялся. Практика использования гидроразрыва пласта в СССР возродилась

с конца 1980-х годов для увеличения добычи в связи с выработкой многих месторождений. [1].

Огромное увеличение производительности углеводородов за счет создания в процессе ГРП обширной сети трещин является показателем экономической целесообразности для нефтяной и газовой промышленности задействовать огромные углеводородные ресурсы в ранее неразработанных низкопроницаемых нетрадиционных коллекторах.

Назначение гидравлического разрыва пласта заключается в следующем:

1) увеличение производительности добывающих и приемистости нагнетательных скважин;

2) повышение нефтеотдачи пластов из добывающих скважин, восстановление рабочих характеристик, невозможных традиционными методами;

3) метод разработки нефтяных и газовых месторождений [2].

Область применения гидравлического разрыва пласта:

1) нефтяные месторождения с осложненными условиями разработки (неоднородность пластов, низкая проницаемость и т.д.);

2) добывающие и нагнетательные скважины, продуктивность которых ниже потенциально возможной;

3) нагнетательные скважины, для изменения фильтрационных потоков;

4) широкий диапазон изменения и состава коллектора в разрезе, большое разнообразие геологического строения пласта;

5) может применяться при комплексном воздействии на целую залежь или участок месторождения.

В результате ГРПкратно повышается дебит добывающих или приемистость нагнетательных скважин за счет снижения гидравлических сопротивлений в призабойной зоне и увеличения фильтрационной поверхности скважины, а также увеличивается конечная нефтеотдача за счет приобщения к выработке слабо дренируемых зон и пропластков. [1, 2]

1.2 Проведение ГРП

Для проведения гидравлического разрыва пласта составляется план, который утверждается главным инженером и главным геологом НПУ. Согласно этому плану необходимо:

- 1) подготовить скважину;
- 2) выбрать рабочие жидкости и песок;
- 3) определить расчетные показатели процесса гидроразрыва;
- 4) выбрать технологическую схему для проведения гидроразрыва и необходимые агрегаты;
- 5) освоить и исследовать скважину после гидроразрыва.

Вначале скважину исследуют на приток, определяют ее поглотительную способность и давление поглощения. Результаты исследования скважины позволяют определять количество жидкости и давления, необходимые для проведения разрыва, а также судить о качестве проведенного разрыва, об изменениях проницаемости призабойной зоны после разрыва. Забой скважины очищают от песчаной и глинистой пробок и отмывают стенки от загрязняющих отложений. В ряде случаев перед гидроразрывом целесообразно проводить соляно-кислотную обработку или дополнительную перфорацию. Эти мероприятия снижают давление разрыва и повышают его эффективность. Наилучшим из этих мероприятий является гидропескоструйная перфорация интервала, намеченного для разрыва. При этом все операции по гидропескоструйной перфорации проводятся теми же средствами и оборудованием, что и сам гидравлический разрыв. В промытую, очищенную и проверенную специальным шаблоном скважину спускают трубы диаметром 89—114 мм, по которым жидкость разрыва подается на забой. Трубы меньшего диаметра для гидравлического разрыва применять не следует, так как при прокачке жидкости в них возникают большие потери давления. [11]

Для предохранения обсадной колонны от воздействия большого давления над разрываемым пластом устанавливают пакер, который полностью разобщает фильтровую зону скважины от ее вышележащей части. При этом

давление, создаваемое насосами, передается только на фильтровую зону и на нижнюю поверхность пакера. При значительных давлениях, создаваемых в процессе гидравлического разрыва пласта, на пакер снизу вверх действуют большие усилия. Для предотвращения сдвига пакера по колонне при повышении давления на трубах устанавливают гидравлический якорь. При нагнетании в трубы жидкости давление действует на поршеньки в якоре, выдвигает их из гнезд и прижимает к обсадной колонне. Чем выше давление, тем с большей силой поршеньки будут прижиматься к колонне. Кольцевые грани на торце 15 поршеньков, врезаясь в колонну, будут оказывать тормозящее действие на движение насосно-компрессорных труб. Устье скважины оборудуется специальной головкой, к которой подключаются агрегаты для нагнетания в скважину жидкостей разрыва. [8]. Общая схема обвязки и расположения у скважины оборудования для гидроразрыва приведена на рисунке 1.

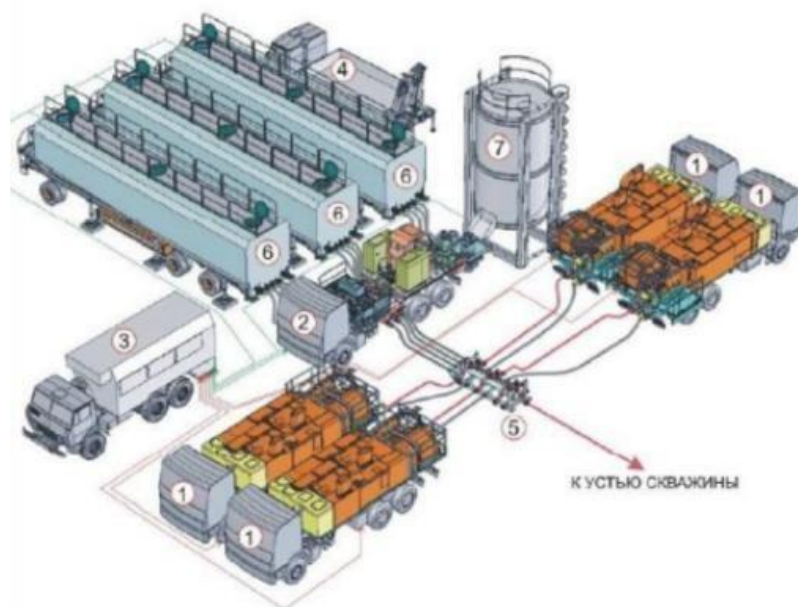


Рисунок 1 – Обвязка оборудования при гидравлическом разрыве пласта:
 1- насосный агрегат; 2 - пескосмесительный агрегат; 3- станция контроля и управления процессом; 4 - машина манифольдов; 5 - блок манифольдов; 6 - емкости гельные; 7- бункер для проппанта

1.3 Порядок работ при гидравлическом разрыве пласта

1. В подготовленной и оборудованной скважине производят гидropескоструйную перфорацию (если это предусмотрено планом работ); освобождают пакер, вымывают шариковый клапан гидropескоструйной насадки; производят вторичную посадку пакера.

2. В трубы закачивают нефть (при обработке нефтяной скважины) или воду (при обработке нагнетательной скважины) и создают максимально возможное давление. По отсутствию перелива жидкости через затрубное пространство судят о герметичности пакера.

3. При максимальном числе подключенных насосных агрегатов в скважину закачивают жидкость разрыва со скоростью превышающей скорость ее поглощения пластом. Давление жидкости возрастает, пока не будут превзойдены внутренние напряжения в породе. В породе образуется трещина. О разрыве пласта судят по резкому увеличению приемистости (поглотительной способности) скважины. Отсутствие резкого спада давления в насосах указывает на высокую проницаемость пласта или на существование в пласте естественных трещин, ширина которых постепенно увеличивается по мере нарастания давления. Резкий спад давления при разрыве пласта, сопровождающийся одновременным увеличением приемистости скважины, происходит при обработке пластов с малой проницаемостью при отсутствии в пласте естественной трещиноватости. [18].

4. Как только развитие трещины началось, в жидкость добавляется расклинивающий материал - проппант или песок, переносимый жидкостью в трещину. После завершения процесса гидроразрыва и сброса давления проппант удерживает трещину открытой и, следовательно, проницаемой для пластовых жидкостей. Последняя порция проппанта в количестве 100— 150 кг должна содержать радиоактивные вещества, чтобы в дальнейшем можно было при помощи гамма-каротажа проверить - зоны поглощения расклинивающего материала.

5. Прокачивают в скважину продавочную жидкость при максимальных давлениях, обеспечивающих раскрытие трещин и введение в них расклинивающего материала. Для этого к скважине должно быть подключено наибольшее число насосных агрегатов, чтобы достигнуть максимальной скорости прокачки. Количество продавочной жидкости должно быть равно емкости колонны насосно-компрессорных труб. При прокачке излишнего количества продавочной жидкости она может оттеснить песок в глубь пласта: это приведет к тому, что после снятия давления трещина в непосредственной близости к скважине снова сомкнется и эффект от разрыва пласта будет сведен к нулю. [17].

6. Прежде чем начать добычу из скважины, удалить жидкость разрыва и извлечь остаток расклинивающего материала с забоя (если он там имеется). Степень сложности ее удаления зависит от характера применяемой жидкости, давления в пласте и относительной проницаемости пласта по жидкости разрыва. Удаление жидкости разрыва весьма важно, так как, понижая относительную проницаемость, она может создавать препятствия на пути притока жидкостей. На этом операции по гидравлическому разрыву пласта заканчиваются: скважину сдают в эксплуатацию.

В неглубоких скважинах разрыв пласта обычно проводят без спуска насосно-компрессорных труб или с трубами, но без пакера. В первом случае жидкость нагнетается непосредственно по обсадным трубам, во втором—по трубам и затрубному пространству. Такая технология проведения процесса позволяет значительно сократить потери давления в скважине при нагнетании жидкости с высокой вязкостью. [19].

1.4 Оборудование для проведения гидравлического разрыва пласта

Гидроразрыв пласта осуществляется при использовании целого комплекса наземного и подземного оборудования.

Наземное оборудование целевого назначения включает насосные и пескосмесительные агрегаты для подготовки и закачки рабочих жидкостей, автоцистерны для доставки жидкостей гидроразрыва, специальную обвязку

устья скважины с оборудованием. Кроме того, при гидроразрыве используется и другое специальное оборудование — подъемные агрегаты, лебедки и т.д. Это оборудование для гидроразрыва пласта вместе с тем также успешно используется и в других процессах интенсификации притоков и закачки, при освоении, заканчивании и креплении скважин. [13].

Подземное оборудование включает в себя, как правило, два устройства - пакер предназначенный для разобщения фильтра - объекта воздействия (пласта) и остальной части эксплуатационной колонны, и якорь, который служит для восприятия высоких давлений и предупреждает подъем подземного оборудования при воздействии на пакер нагрузки, обусловленной разностью давлений под и над пакером. Пакер в сборке или пакер, смонтированный с якорем, спускают в скважину на колонне НКТ.

1.5 Виды ГРП

Стандартный ГРП. Нагнетание в пласт геля с увеличивающимся во времени расходом до разрыва пласта, развитие трещины при постоянном режиме нагнетания геля (2–5 м³/мин), заполнение трещины пропантом при повышении его концентрации в геле (до 1500 кг/м³) общей массой до 50 т.

Область применения. Продуктивные пласты толщиной менее 15 м, проницаемостью более 0,04 мкм², малой расчлененностью с экранами большой (более 10 м) толщины, фронт вытеснения не ближе половины расстояния между скважинами.

Кроме стандартного ГРП существуют следующие разновидности:

– **объемные ГРП** – нагнетание в пласт геля с пропантом с общей массой 50-100т., продуктивные пласты толщиной до 20 м;

– **кислотный ГРП** – гидроразрыв, при котором в качестве жидкости разрыва используется кислота. Применяется в случае карбонатных пластов. Созданная с помощью кислоты и высокого давления сеть трещин и каверн не требует закрепления пропантом. От обычной кислотной обработки отличается гораздо большим объемом использованной кислоты и давлением закачки (выше давления разрыва горной породы).;

– **пенный ГРП** – как и обычный, направлен на создание трещины в пласте, высокая проводимость которой обеспечивает приток углеводородов к скважине. Однако при пенном ГРП за счет замены (в среднем 60 % объема) части гелированного водного раствора на сжатый газ (азот или углекислый газ) значительно возрастают проницаемость и проводимость трещин, и, как следствие, степень повреждения пласта минимальна. В мировой практике уже была отмечена наибольшая эффективность использования пенных жидкостей для ГРП в скважинах, где пластовой энергии недостаточно для выталкивания отработанной жидкости ГРП в ствол скважины во время ее освоения. Это относится как к новому, так и к действующему фонду скважин. [9].

Например, по выбранным скважинам Южно-Приобского месторождения пластовое давление снизилось до 50 % первоначального. При проведении пенного ГРП сжатый газ, который был закачан в составе пены, помогает выдавливать отработанный раствор из пласта, что увеличивает объемы отработанной жидкости и снижает время отработки скважины.

Для проведения работ на Южно-Приобском месторождении был выбран азот как наиболее универсальный газ:

- повсеместно используется при освоении скважин с гибкими НКТ;
- инертен;
- совместим с жидкостями ГРП.

– **гибридный ГРП** - технология проведения ГРП, которая подразумевает использование комбинаций технологических жидкостей с различными свойствами для обеспечения наибольшей эффективности закачки.

Наиболее распространенной жидкостью для ГРП при добычесланцевого газа является «скользящая вода» (slickwater), где почти 99,5% составляют вода и песок, а остальное – ряд химических добавок, понижающих трение.

Чаще всего нефтяники используют такие технологии, как Slick Water и гибридный гидроразрыв пласта. Обе технологии хорошо зарекомендовали себя при добыче сланцевой нефти.

Главное их отличие от обычного ГРП заключается в выполнении высокоскоростной закачки жидкости в пласт, что позволяет создавать вместо одной трещины на каждой стадии гидроразрыва сеть трещин и существенно расширить стимулируемый объем пласта.

Slick Water – дословно – «скользящая вода». Жидкость ГРП состоит из обычной воды со специальной добавкой, которая способствует снижению потерь на трение проппанта о стенки скважины.

– **селективный ГРП** - позволяющий вовлечь в разработку и повысить продуктивность низкопроницаемых слоев.

– **импульсный гидроразрыв** – позволяет создавать в скважине несколько радиально расходящихся от ствола трещин, что может эффективно использоваться для преодоления скин-эффекта в призабойной зоне, особенно в средне- и высокопроницаемых пластах

– **повторный ГРП.**

Образование и развитие трещин на ранних стадиях приводит к тому, что площадь сечения пласта начинает увеличиваться. Как только закачка будет остановлена, трещина закроется и эффекта от гидроразрыва не будет. Чтобы этого не допустить, в рабочую жидкость ГРП добавляют закрепляющий агент (проппант), который вместе с рабочей жидкостью закачивается в трещину. Проппант остается на месте и не дает трещине закрыться, сохраняя на протяжении всего периода эксплуатации скважины проводящий канал. В большинстве случаев в качестве проппанта используется песок или другой высокопрочный гранулированный заменитель.

При работе с карбонатными породами в качестве рабочей жидкости ГРП обычно используют кислоту, которая растворяет породу, оставляя после себя каналы выщелачивания, уходящие далеко в глубь коллектора.

Важнейшим фактором успешности процедуры ГРП является качество жидкости разрыва и проппанта. Основными характеристиками системы "жидкость разрыва - проппант" являются:

- реологические свойства " чистой" жидкости и жидкости, содержащей проппант;
- инфильтрационные свойства жидкости, определяющие ее утечки в пласт в ходе гидроразрыва и при переносе проппанта вдоль трещины;
- способность жидкости обеспечить перенос проппанта к концам трещины во взвешенном состоянии без его преждевременного осаждения;
- возможность легкого и быстрого выноса жидкости разрыва для обеспечения минимального загрязнения упаковки проппанта и окружающего пласта;
- совместимость жидкости разрыва с различными добавками, предусмотренными технологией, возможными примесями и пластовыми жидкостями;
- физические свойства проппанта.

С конца 90-х. – начала 2000-х годов зарубежными и отечественными компаниями ведется активная работа по поиску и внедрению новых технологий ГРП, позволяющих снизить риск высокой обводненности и потери добычи нефти после операций. Можно выделить три направления технологических решений в данной области:

1. Ограничение увеличения высоты трещины за счет снижения в ней эффективного давления (главным образом за счет уменьшения вязкости жидкости разрыва): применение линейных гелей, специальных составов ClearFRAC и FiberFRAC (Schlumberger)

2. Ограничение увеличения высоты трещины за счет создания механических барьеров: предварительной закачки цементных или глинистых растворов [146], создание барьеров специальными проппантными пачками (многостадийные ГРП, BracketFRAQ J- FRAC.

3. Установка химических барьеров: закачка реагентов на основе ПАА, снижающих относительную фазовую проницаемость для воды, так называемых модификаторов фазовой проницаемости (МФП).

Первые два направления используются в условиях тонких глинистых перемычек, отделяющих нефтенасыщенные интервалы от водо- или газонасыщенных прослоев, для низкообводненных объектов (за исключением глинистых композиций), третье направление в условиях водонефтяного контакта (ВНК) и в высокообводненных скважинах. [14].

МФП, представляющие собой смесь полимеров и ПАВ, изначально использовались в стандартных изоляционных работах позже нашли применение в области ГРП. Специальные составы добавляются к жидкостям разрыва и могут закачиваться как на стадии «подушки», так и в процессе основного ГРП. Концентрация МФП в общем объеме жидкости (без «продавки») составляет 1-2 %. Принцип их действия основан на изменении смачивающих свойств породы за счет осаждения (адсорбции) полимера на стенках поровых каналов: полимерная цепь молекулы МФП при взаимодействии с водой удлиняется, а при контакте с углеводородами сжимается. Эти технологии представляют наибольший интерес для месторождений Западной Сибири, где распространены объекты с наличием водонефтяного контакта и для значительной доли скважин характерна высокая обводненность вследствие заводнения.

В связи с тем, что метод ГРП за последние десятилетия приобретает большую значимость по всему миру, сервисные компании ведут интенсивные работы по совершенствованию технологий ГРП с целью увеличения выработки подземных запасов и рентабельности их эксплуатации[41].

Сервисная компания TRICAN Well Service опубликовала основные современные технологии ГРП, по которым ведутся работы по всему миру:

- 1) ГРП в горизонтальных скважинах; кислотный ГРП;
- 2) ГРП на основе углеводородов (без фосфора);
- 3) ГРП с использованием жидкого CO₂;
- 4) ГРП пеной с содержанием азота и CO₂;

- 5) ГРП с использованием технологии колтюбинга (ГНКТ);
- 6) Многоступенчатый (мультистадийный) ГРП

Одним из самых эффективных методов разработки месторождений является бурение горизонтальных скважин с применением многоступенчатого или мультистадийного гидроразрыва пласта (МГРП или МСГРП). Он применяется на месторождениях со сложным геологическим строением, ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами, а также наличием подошвенной воды. На сегодняшний день многостадийный гидроразрыв пласта – одна из самых передовых технологий в нефтяной отрасли. [6].

Ведущие зарубежные компании по добыче нефти и газа уже вплотную занимаются добычей с применением МГРП, также ведутся работы по совершенствованию данной технологии для увеличения рентабельности.

Сервисная компания Halliburton представила ряд новых технологий по улучшению эксплуатации данным способом:

- 1) технология отклонения потока кислоты BioVert NWB;
- 2) технология жидкости для ГРП CleanStim;
- 3) проппант MonoProp.

Компания PackersPlus предложила ряд уникальных разработок:

- 1) технология QuickFRAC;
- 2) технология StackFRAC HD;
- 3) технология RapidMATRIX.

Специалисты EWS Holding AG разработали ряд технологий для системы селективного гидроразрыва пластов при помощи технологии гибкой трубы (ГНКТ), нацеленных на повышение эффективности и снижение затрат:

- 1) система Mangust; мультистадийная система Multistage Unlimited System.

Известная компания Schlumberger также представила ряд усовершенствованных технологий, относящихся к МГРП:

- 1) система StageFRAC;
- 2) система VDA.

Для России проведение таких операций еще в новинку, их стоимость пока достаточно высока, не до конца отработаны технологические и технические моменты применения МГРП, соответственно, основная задача – сделать эту методику массовой и менее затратной. Для проведения МГРП есть серьезное экономическое обоснование – эффект достигается за счет бурения одной горизонтальной скважины вместо нескольких наклонно-направленных и проведения в них стандартного ГРП. [19].

Российские нефтяные компании постепенно начинают осваивать технологию МГРП. Так в компании ОАО «Татнефть» в конце мая 2013 г. на скважине 315 Яуркинское месторождения впервые был произведен успешный поинтервальный МГРП в горизонтальном стволе.

В ООО «Газпромнефть НТЦ» в 2010 г. началась проработка вопроса о внедрении на месторождениях компании технологии, позволяющей решить проблему создания нескольких трещин ГРП по длине горизонтальной скважины. Для этого на горизонтальном участке заканчивание скважины осуществлялось с применением разобщающих заколонных пакеров и управляемых циркуляционных клапанов. В 2011 г. первая скважина, пробуренная по данной технологии, была введена с четырьмя стадиями ГРП в эксплуатацию на Вынгапуровском месторождении ОАО «Газпромнефть- Ноябрьскнефтегаз».

Технология строительства забоя скважины по рассматриваемой технологии позволяет выполнять обработки с целью повышения нефтеотдачи пласта для неограниченного числа продуктивных зон горизонтального участка без использования извлекаемых или разбуриваемых мостовых пробок, предназначенных для изоляции стимулированных зон. Оборудование дает возможность избирательного доступа к нескольким продуктивным интервалам в одном стволе скважины, а также изоляции одной или нескольких зон в будущем при необходимости «отключения»

места прорыва закачиваемой воды, так как заколонные пакеры делят горизонтальную часть ствола на изолированные секции, что позволит увеличить продолжительность эксплуатации добывающей скважины с рентабельным дебитом. При выполнении операций мультистадийного ГРП (МСГРП) не требуется спускать в скважину гибкую НКТ (ГНКТ) или колонну НКТ для разобщения новых трещин от созданных. Простимулированные зоны отделяются посредством подачи при каждой операции ГРП в поток жидкости шаров (рисунок 2) калиброванного размера (сначала самый маленький шар, затем шары все больших размеров). Шары, попадая в соответствующие посадочные места в циркуляционных клапанах, сдвигают их и открывают окна (рисунок 3) для прохождения проппанта с жидкостью ГРП. Теоретически при большом числе стадий и необходимости вся последовательность многостадийной обработки может выполняться без отключения насосов флота ГРП. При этом формируется запланированное число трещин ГРП по горизонтальной части овала.



Рисунок 2 – Шар-отсекатель для активации циркуляционного клапана



Рисунок 3 – Внешний вид циркуляционного клапана

Схематично расположение узлов компоновки многостадийного ГРП и образуемых трещин ГРП на горизонтальном участке скважины представлено на рисунке 4.

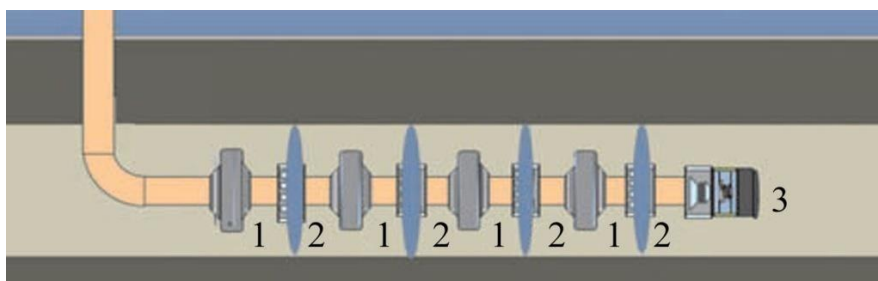


Рисунок 4 – Схема компоновки многостадийного ГРП горизонтальной скважины: 1 – муфты; 2 – циркуляционные клапаны; 3 – направляющий башмак

Технология имеет следующие преимущества:

1. Обеспечивает размещение трещины в целевом интервале, что невозможно в горизонтальных участках, законченных неориентированными хвостовиками по стандартной схеме.
2. Интенсифицирует приток в нескольких зонах и поддерживает герметичность ствола в процессе заканчивания скважины.
3. При использовании клапанов (муфт) многоразового действия

впоследствии можно переключать их при помощи ГНКТ или обычной НКТ механическим способом с использованием механического или гидравлического переключающего устройства.

4. При использовании компоновок, срабатывающих при сбрасывании шаров, технологически можно обеспечить непрерывную обработку всех интервалов, что дает возможность значительно снизить затраты времени и средств на стимуляцию большого числа интервалов.

5. Позволяет изолировать выбранные зоны от остальной части эксплуатационной колонны при обводнении какой-либо части ствола.

6. Обеспечивает в будущем возможность селективной интенсификации выбранных зон. [3].

Недостатки технологии:

1. Увеличение расходов на оборудование для заканчивания скважины, несмотря на то, что оно компенсируется сокращением времени заканчивания скважины, снижением расходов на капитальный ремонт и повышением продуктивности, а также временем и стоимостью проведения ГРП.

2. При резком наборе кривизны ствола скважины во время бурения впоследствии могут усложниться условия для работы ГНКТ либо НКТ внутри муфт и хвостовика (разбуривание шаров, промывка и др.).

3. Необходимость работы комплекса ГНКТ или проведения капитального ремонта скважин (КРС) по разбуриванию седел в циркуляционных клапанах и шаров в горизонтальном участке для достижения равнопроходного сечения (для выполнения промыслово-геофизических исследований) или в случае незапуска скважины в режиме фонтанирования с достаточной энергией для подъема шаров на поверхность.

1.6 Классификация жидкостей для ГРП по назначению

Для создания трещин в породе пласта под высоким давлением закачивается жидкость. По своему назначению жидкости для ГРП различают жидкость разрыва (создание трещины), жидкость-песконоситель

(развитии трещины до определенных требуемых размеров) и продавочную жидкость (транспортирование проппанта в новую образованную трещину). Данные жидкости последовательно закачиваются в пласт. [22].

Жидкость разрыва - жидкость, нагнетаемая в призабойную зону пласта для нарушения целостности горной породы с образованием новых трещин или расширением уже существующих.

Жидкость- песконоситель – жидкость, которая применяется для транспортировки песка с поверхности до трещины и заполнения ее проппантом.

Жидкость- песконоситель характеризуется низкой фильтруемостью. Имеет высокую пескоудерживающую способность для предупреждения оседания песка в трубах, цилиндрах насоса, элементах обвязки, на забое скважины, а также для преждевременной потери подвижности в трещине, что может привести к серьезным осложнениям.

В добывающих скважинах в качестве жидкостей- песконосителей используются вязкие жидкости или нефти, гидрофобные водонефтяные эмульсии, нефтемазутные смеси, HCl с применением загустителя и др.

В качестве жидкостей- песконосителей в нагнетательных скважинах используются крахмально- щелочные растворы, HCl с применением загустителя, растворы сульфит- спиртовой барды, гидрофильные нефтеводяные эмульсии, нейтрализованный черный контакт и др. [13].

Продавочная жидкость – жидкость, используемая для задавки из насосно- компрессорных труб в обрабатываемый пласт, в полученную трещину жидкости разрыва и жидкости- песконосителя.

В нагнетательных скважинах в качестве продавочной жидкости применяют при разрыве водоносного пласта нагнетаемую воду. Сырая дегазированная нефть обрабатываемого пласта или легкая нефть другого пласта этого же месторождения используются в добывающих скважинах в качестве продавочной жидкости. [19].

Требования к жидкостям ГРП:

1. Дешевизна;
2. Доступность;
3. Хорошая пескоудерживающая способность;
4. Не уменьшают проницаемость породы пласта;
5. Минимальные потери на трение при закачке с высокими расходами;
6. Не влияют на набухание глинистых минералов пласта;
7. Оказывают минимальное повреждение пласта веществами, входящим в состав жидкости или геля;
8. Не содержат посторонних механических примесей;
9. Не образуют нерастворимых осадков при соприкосновении с жидкостями и породой пласта;
10. Стабильность свойств при высокой температуре заданное время;
11. Легко разлагаются и теряют вязкость после остановки закачки;
12. Из пласта удаляются максимально полно.

1.7 Типы жидкостей ГРП

Разработка специализированных жидкостей для ГРП находится постоянно в центре внимания исследований. Системы жидкостей для ГРП разрабатываются для осуществления ГРП согласно проекту в целях повышения нефтеотдачи и улучшения рентабельности капиталовложений. Проекты систем жидкостей для ГРП основаны на следующих ключевых параметрах:

1. Тип жидкости
2. Требования вязкости
3. Реологические свойства жидкости
4. Экономический анализ жидкости
5. Опыт применения при ГРП на месторождении
6. Данные лабораторных исследований пласта
7. Обеспеченность материалом
8. Выбор проппанта

Подбор оптимальных параметров для системы жидкостей ГРП приводит к минимальному вреду для пласта с максимальными результатами извлечения нефти. Жидкости для ГРП бывают следующих типов: на водной основе, на нефтяной, спиртовой основе и другие. [22].

В карбонатных коллекторах используются загущенная соляная кислота.

Загущенный метанол или пены используются в основном на газовых месторождениях или месторождениях с низкой проницаемостью.

Мицелярные растворы применяются в условиях, когда необходимо обеспечить наибольшую проницаемость трещины.

1.7.1 Жидкости на водной основе

Сегодня преимущественно используются жидкости разрыва на водной основе. Жидкость на водной основе имеет ряд преимуществ:

1. Экономичнее, чем жидкость на нефтяной основе. Дает больший гидростатический эффект, чем газ, нефть и метанол.
2. Невоспламеняема и невзрывоопасна.
3. Легкодоступна.
4. Легче загущается и контролируется.

К жидкостям ГРП на водной основе можно отнести следующие составы:

- Водные растворы полимеров: натуральная гуаровая смола (гуар); гидроксипропилгуар (ГППГ) (эти два полимера используются в большинстве случаев для приготовления жидкости разрыва на водной основе); карбоксиметилгидроксипропилгуар (КМППГ); гидроксипропилцеллюлоза (ГОЭЦ); карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ); карбоксиметилгидроксипропилцеллюлоза (КМГОЭЦ); ксантановые смолы. Все эти полимеры могут быть сшиты поперечными связями. В качестве сшивателей могут быть использованы соединения бора, а также хрома, титана, циркония и других поливалентных металлов.

- Прямые эмульсии, прямые полиэмульсии и множественная

полиэмульсия, где в качестве углеводородной фазы применяются газоконденсат, дизельное топливо, керосин, сырая нефть, а в качестве водной фазы — пресная, пластовая или минерализованная вода. В качестве полимера в полиэмульсиях используются полиакриламид или полисахариды, обычно гуар или гидроксипропилгуар, а также карбоксиметилцеллюлоза, а в качестве эмульгаторов неионногенные ПАВ.

- Загущенный спирт (метанол) (применяются в газовых скважинах).
- Загущенная соляная кислота.
- Устойчивые пены на водной основе: жидкая фаза — водный раствор гуара или гидроксипропилгуара, газообразная фаза — азот или углекислый газ.
- Мицелярные растворы ПАВ (не полимерные жидкости ГРП).

Использование гидроразрыва на водной основе может привести к ухудшению проницаемости (кольматации пласта), вызванного набуханием глинистых минералов или другими физическими и химическими механизмами. [10].

1.7.2 Линейный гель

Линейный гель – жидкость ГРП, представляющая смесь широкого спектра различных полимеров на водной основе. Обычно используемые полимеры включают в себя гуар, гидроксипропилгуар (ГПГ), карбоксиметил ГПГ (КМГПГ), и гидроксиэтил целлюлозу (ГОЭЦ). Эти полимеры являются сухими порошками, которые увеличиваются в объеме (набухают) при смешении с водным растворителем и образуют вязкий гель. Наибольшее распространение при проведении ГРП в терригенных коллекторах нашли сшитые гели на основе гуара или гидроксипропилгуара (ГПГ). На рисунке представлена химическое строение гуара.

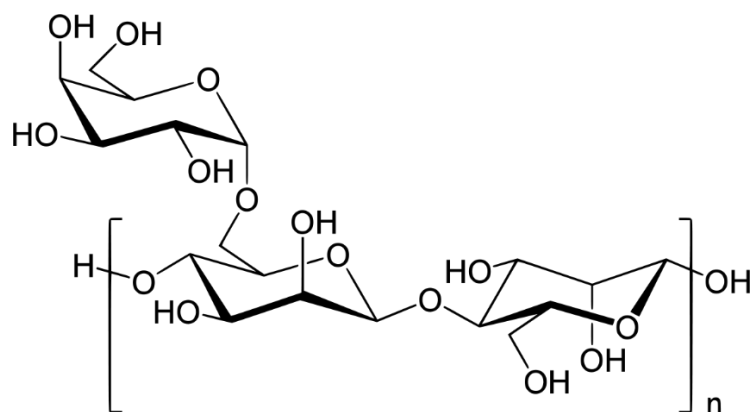


Рисунок 5 – Структурная формула гуара

Гуар является природным полимером. Гидроксипропилгуар получается взаимодействием пропиленоксида с гидроксильной группой элементарного звена макромолекулы гуара, что дает более термостабильный и более вязкий гель. К тому же продукты гуара обычно дают негидратирующийся остаток в пределах 8-12%, а гидроксипропилгуара — 1-4%. Что позволяет получать трещину с большой проводимостью. ГОЭЦ и КМГОЭЦ (рисунок) являются производными целлюлозы, которая является наиболее распространенным органическим соединением на Земле. Около 33% всего растительного вещества является целлюлозным органическим соединением с формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$, полисахаридом, состоящим из линейной цепи от нескольких сотен до более десяти тысяч связанных единиц глюкозы. Как и в случае с гуаром, целлюлозу можно подвергнуть взаимодействию с оксидом пропилена и или монохлорной уксусной кислотой для получения ГОЭЦ или КМГОЭЦ. ГОЭЦ и КМГОЭЦ являются нетоксичными и гипоаллергенными. [18].

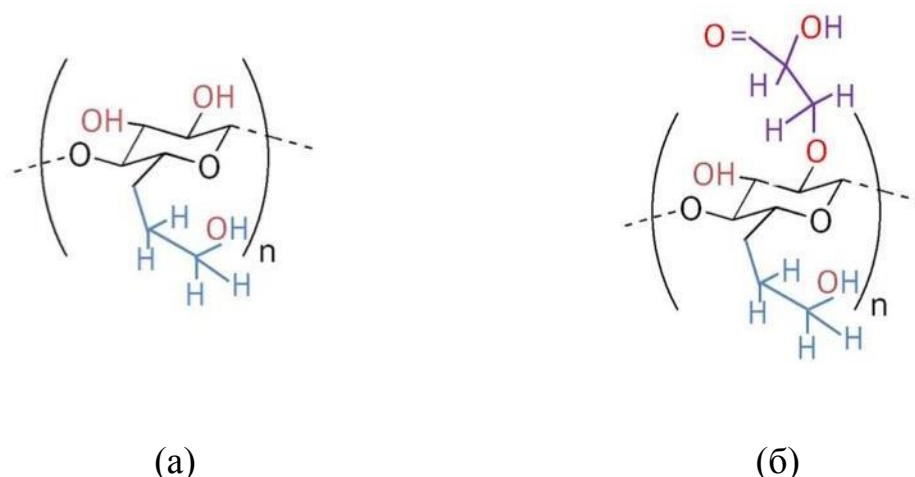


Рисунок 6 - Структурные формулы гидроксиэтил целлюлозы (ГОЭЦ) (а)и карбоксиметилгидроксиэтилцеллюлоз (КМГОЭЦ) (б)

Поскольку ГОЭЦ и КМГОЭЦ на 100% растворимы в воде и содержат очень мало нерастворимого остатка. Поскольку гидроксилы в ГЭЦ находятся в транспозиции, он не может быть сшит и может использоваться только в виде линейного геля. Сшивание происходит при добавлении карбоксиметильной группы в КМГОЭЦ.

1.7.3 Сшитый гель

Сшивающие агенты используют для увеличения молекулярной массы полимера путем сшивания полимерного скелета в трехмерную структуру. Сшивание увеличивает вязкость, а также эластичность и способность транспортировать пропант жидкости.

Для гелей на основе гуара и КМГОЭЦ в качестве сшивающих агентов используют бор и несколько металлов, включая титан и цирконий. В дополнение к этим материалам железо, хром и алюминий будут сшиты гуаром, но обычно не используются. Железо является основным загрязнителем жидкостей ГРП и является одним из металлов, который необходимо тщательно контролировать для предотвращения преждевременного сшивания. [35].

1.7.3.1 Боратный сшитый гель

- Обеспечивает хорошее транспортирование пропанта

- Постоянные реологические параметры жидкости при температуре выше 150 .
- Низкая фильтруемость
- Хорошие свойства к очистке

Боратный сшитый гель основан на сшивании гидратированных полимеров ионами сложного эфира борной кислоты, в результате чего происходит повышение вязкости (рисунок). Чаще всего используемые полимеры в этих жидкостях ГРП – гуар и ГПГ. Сшиватель на основе сложного эфира борной кислоты действует в обе стороны и начинает работать при изменении рН жидкости ГРП.

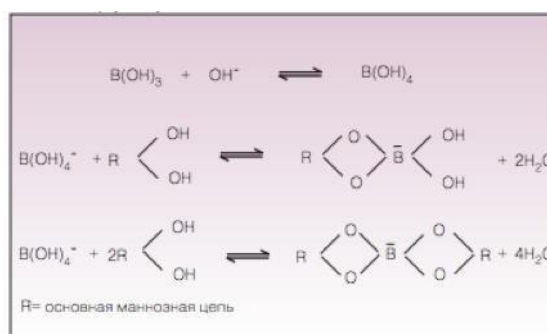


Рисунок 7 - Сшивание гуара боратом [22]

Характеристика обратимости сшивателя в боратных гелях способствует эффективному удалению из пласта, что приводит к восстановленной проницаемости. Боратные сшитые гели высокоэффективны в низко- и высокопроницаемых пластах. [32].

1.7.3.2 Органометаллический сшитый гель

Гели на основе органометаллических сшивателей являются наиболее популярным классом жидкостей для ГРП. Первые жидкости имели в составе комплексы гуара - цирконат и титанат, ГПГ и КМГПГ. Органометаллические сшитые гели применяются для транспортирования пропанта из насыщенного газом низкопроницаемого коллектора, для которого необходимо расширения длины трещины. Органометаллические сшитые гели могут также использовать в жидкостях для ГРП, содержащих диоксид углерода.

- Обеспечивают предельную стабильность при высоких температурах.
- Имеют отличную способность транспортирования пропанта при температурах от 15 до 205 .
- Обеспечивают более предсказуемые реологические свойства и характеристики гидравлических потерь.
- Представляют лучший контроль свойств сшивателя жидкости
- Позволяют работать в кислотной, нейтральной и щелочной средах.

1.7.4 Жидкости на нефтяной основе

Жидкости на нефтяной основе применяют на гидрофильных пластах. Такие жидкости обладают низкими фрикционными потерями, а также высокой вязкостью.

При приготовлении первой жидкости разрыва применялись в качестве загустителя - пальмовое масло, сшивателя - нафтенная кислота, основой служил бензин. Сегодня большинство жидкостей на нефтяной основе получают растворением в углеводородах алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров. Полученный сложный эфир имеет трехмерную структуру, похожую на структуру вязкоупругих поверхностно-активных жидкостей. Поскольку алюминий притягивает полярные частицы, присутствующие в воде, в нефти образуются ассоциированные комплексы большой молекулярной массы. Это в свою очередь объясняет высокую вязкость. [22].

Использование вязких гелей на нефтяной основе в качестве жидкости для ГРП минимизирует возможный ущерб в определенных пластах, такой как миграция частиц из воды, контактирующей с глинами. Гели на нефтяной основе Mu-T- Oil V(Halliburton) активно развиваются в повышении вязкости, исключается необходимость в предварительном перемешивании геля. Также вязкость геля может контролироваться в ходе

проведения гидроразрыва пласта, увеличивая гибкость планирования процесса. Гели на углеводородной основе были первыми высоковязких жидкостей, используемых при ГРП, и имеют главное преимущество в совместимости практически с любым типом пласта. Данные гели наиболее подходящие для холодных погодных условий по сравнению с гелями на водной основе.

Самый простой на нефтяной основе гель разрыва, возможен сегодня, это продукт реакции фосфата алюминия и базовый, типичный алюминат соды. Эта реакция присоединения, которая преобразует созданную соль, что дает вязкость в дизельных топливах или сдерживает до высоко гравитационной сырую систему. Гель фосфата алюминия улучшает более сырые нефти и увеличивает термостабильность. [28].

Фосфат алюминия может быть использован, чтобы создать жидкость с повышенной стабильностью к высоким температурам и хорошей емкостью для транспортировки проппанта для использования в скважинах с высокими температурами: более 127°C. Основным недостатком использования жидкостей на нефтяной основе это пожаровзрывоопасность. Также надо отметить, что приготовление жидкостей на нефтяной основе требует большого технического и качественного контроля. Приготовление же жидкости на водной основе значительно облегчает процесс.

Комплекс гелирующий «Химеко Т»:

Основа жидкости ГРП: - дизельное топливо

Гелеобразователь Химеко-Т – смесь органических ортофосфорных эфиров.

Активатор Химеко-Т – раствор органических соединений алюминия. Жидкость разрыва на основе Комплекса гелирующего «Химеко Т» рекомендована для проведения процесса ГРП с изоляцией притока вод.

В результате гидролиза геля «Химеко Т» образуются гидроксифосфаты алюминия и кислые алкилфосфаты, обладающие

повышенной адгезией к гидрофильным поверхностям, не растворимые в воде и растворимые в углеводородах:

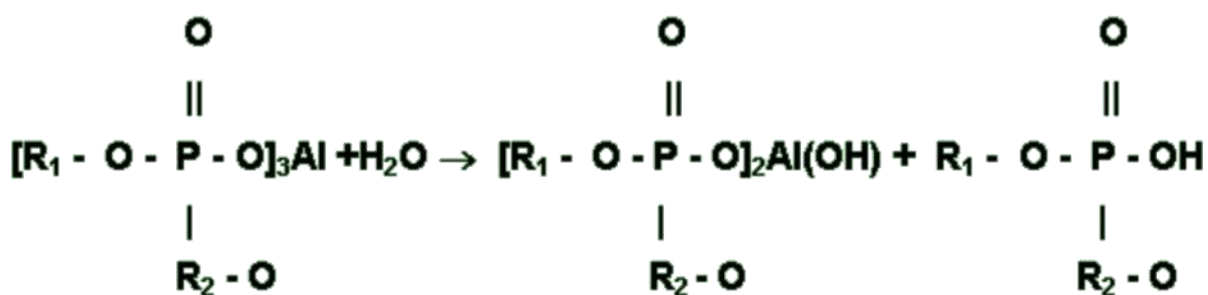


Рисунок 8 – Уравнение реакции гидролиза геля «Химеко Т»

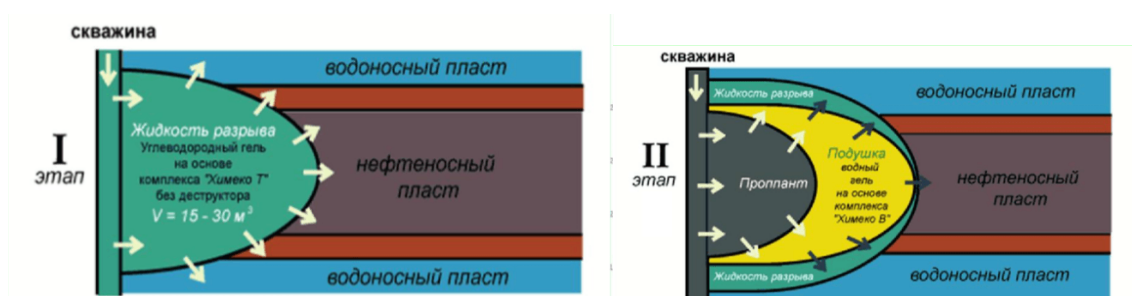


Рисунок 9 – Принципиальная схема закачки жидкости ГРП с изоляцией притока вод

Жидкость разрыва на основе комплекса гелирующего «Химеко Т» рекомендована для проведения процесса ГРП с изоляцией притока вод. В результате гидролиза геля «Химеко Т» образуются гидроксифосфаты алюминия и кислые алкилфосфаты, обладающие повышенной адгезией к гидрофильным поверхностям, не растворимые в воде и растворимые в углеводородах. [35].

Комплекс гелирующий «Химеко Н»:

Основа жидкости ГРП:

- товарная нефть
- дизельное топливо
- стабильный газовый конденсат
- смесь нефти и нефтепродуктов

Гелеобразователем является смесь органических ортофосфорных эфиров. Активатор Химеко Н – мицеллярный раствор сульфата железа.

Жидкости ГРП на углеводородной основе, полученные с использованием комплекса гелирующего «Химеко Н», получили широкое распространение при проведении кислотного ГРП (КГРП).

Механизм действия геля «Химеко Н»: Разрыв породы и отклонение кислоты от высокопроницаемых участков.

1. Перераспределение скоростей реакции кислоты в водонасыщенной инефтенасыщенной породе
2. Образование ПАВ - кальциевых солей алкилфосфорных кислот
3. Образование водоизолирующего экрана на контакте кислота – геля на нефтяной основе.

1.7.5 Жидкие гелевые концентраты

Жидкие гелевые концентраты – концентрированные растворы жидкости, приготовленные на основе полимеров. С того момента как концентрированные полимеры стали получать в жидкой форме, обработка и перемешивание сухого, порошкообразного материала на буровой площадке было прекращено. Технология жидких гелевых концентратов обеспечивает эффективный, точный метод варьирования вязкости жидкости ГРП в ходе его проведения. Жидкие гелевые концентраты могут быть добавлены к уже гидратированному гелю для выравнивания вязкости существующего (закачанного в пласт) геля. [26].

1.7.6 Вспененные жидкости

В процессе разработки месторождения нефти или газа происходит снижение пластового давления. Использование вспененных жидкостей ГРП за счет добавления активированного газа для извлечения флюида из пласта после проведения ГРП. Вспененные жидкости содержат жидкую фазу системы (обычно геля), пенообразующий агент и дисперсную фазу 60-80 % N_2 или CO_2 . Вспененные жидкости могут применяться практически на всех типах нефтяных и газовых скважин, в широких пределах давления, где очень важно минимизировать причиняемый ущерб пласту. Так как во вспененной жидкости содержится небольшое количество

жидкой фазы, для удаления из скважины остается меньше жидкости. Вспененные жидкости оставляют тонкий фильтрационный осадок, при этом имеют характеристику низких гидравлических потерь. Гель в таких жидкостях может быть сшитым для более высоких значений вязкости. Азот совместим со всеми сшитыми системами жидкостей ГРП в отличие от углекислого газа. [5].

В таблице представлены виды жидкостей разрыва на пенной основе.

Таблица 1 - Жидкости ГРП на пенной основе

Вид жидкости	Основной состав
Водяная пена	Вода с добавлением или без полимеров, вспенивающий агент + N ₂
Кислотная пена	Кислота и вспенивающий агент + N ₂
Пена на спиртовой основе	Метанол/ вода или метанол и вспенивающий агент + N ₂
Пена на основе углекислого газа	Жидкий CO ₂ + N ₂
Пена на углеводородной основе	Углеводород, вспенивающий агент + CO ₂

Преимущества использования вспененных жидкостей при гидроразрыве пласта:

- Могут быть применены к пластам с высоким содержанием глинистых минералов;
- Сокращение расхода воды;
- Повышение производительность скважины после проведения операции ГРП;
- Создание большего количества трещин;
- Сокращение кольматации пласта;
- Быстрая очистка скважины после гидроразрыва;

1.7.7 Жидкости на спиртовой основе

Самыми распространёнными жидкостями разрыва на спиртовой основе являются жидкости на основе метанола и изопропанола.

Существует несколько методов для повышения вязкости метанола от вспенивания метанола до гелеобразования его с синтетическими полимерами и гуаром.

Для пластов с серьёзными проблемами относительно остаточной воды и насыщенностью углеводородами, жидкости на основе метанола могут быть лучшим решением. Метанол обладает отличными свойствами, такими как высокая растворимость в воде, снижает поверхностное натяжение воды и соковое давление насыщенного пара. Спирт удерживает кислород, поэтому спирт служит температурным стабилизатором в жидкостях разрыва.

Метанол является опасным веществом. Низкая температура вспышки, следовательно легче воспламеняется. Обладает большим диапазоном взрывоопасных пределов. [8].

1.7.8 Деструкторы (брейкеры)

Для обеспечения высокой проводимости проппантной пачки жидкость разрыва, а также полимерная фильтрационная корка, возникающая в процессе ГРП, должны быть разрушены. С этой целью в состав жидкости разрыва добавляются деструкторы. Деструкторы разрушают полимеры на несколько частей с меньшим молекулярным весом. В зависимости от условий проведения ГРП, в качестве деструкторов могут применяться кислоты, окислители, энзимы. Действие растворов кислот основано на процессах гидролиза. Диапазон температурных границ применимости данного типа брейкеров находится в пределах от 45 до 120 °С. Однако, применение неорганических кислот приводит к активной коррозии оборудования образованию значительной массы нерастворимого осадка при контакте с полимером и породами пласта. Также необходимо учитывать, что кислоты разрушают проппант, за счет чего они могут оказать негативное влияние на проводимость полученной

трещины [11].

Окислители являются наиболее распространенным типом брейкеров. К их числу относятся перкарбонат натрия, персульфат калия, гипохлорит натрия, пероксид мочевины, перманганат калия, а также перекись водорода. Для окислителей характерно замедленное протекание процесса разрушения сшитых гелей при температурах, меньших 50 °С [5]. Соответственно, при более высоких температурах химическая активность окислителей возрастает.

Применение энзимов в качестве деструкторов жидкости ГРП сопровождается уменьшением молекулярной массы гуара. Стоит также отметить тот факт, что, в отличие от других типов деструкторов, энзимы не расходуются в процессе разрушения. У данных брейкеров имеются и недостатки: они подвергаются денатурации в случае воздействия высоких температур и очень щелочных сред [5, 9, 12].

Для того, чтобы избежать преждевременного разрушения жидкости разрыва, брейкеры вводятся в них в инкапсулированном виде [8]. Это позволяет значительно увеличить их концентрацию в составе жидкости разрыва и, тем самым, добиться более полного разрушения в необходимый момент времени.

1.7.9 Стабилизаторы

Разложение сшитых гелей на основе гуара под действием высоких температур предупреждается путем введения в их состав стабилизаторов. В работах [13, 14] в качестве наиболее эффективного стабилизатора рекомендуется применять тиосульфат натрия. Economides et al. [5] указывают в своей работе, что стабилизаторы выступают в роли поглотителя кислорода, растворенного в жидкости разрыва, препятствуя этим деградации сшитого геля. Эти же авторы отмечают, что для случаев, когда требуется длительная стабильность жидкости разрыва, следует применять жидкости с высоким значением рН (от 9 до 11), так как при низких значениях рН и температурах более 90°С гуар и его производные подвержены гидролизу.

1.7.10 Бактерициды

Для предупреждения биодеструкции гуара бактериями в состав жидкости ГРП входят бактерициды [9, 15]. Помимо того, что в процессе биодеструкции бактерии уменьшают молекулярную массу полимера, их наличие в пласте связано с образованием сероводорода. Добавление бактерицидов в состав жидкости разрыва приводит к гибели бактерий, однако, не способствует нейтрализации ферментов, которые уже были произведены бактериями до этого момента. Поэтому, следует добавлять бактерициды в емкости гидроразрыва перед добавлением воды [5, 9, 16, 17].

1.7.11 Ингибиторы глин

Ингибиторы глин представляют собой соли, например, хлорид аммония NH_4Cl или хлорид калия KCl . Диапазон концентраций, применяемых в рецептурах жидкостей ГРП, составляет от 1 до 3 % (масс.). Добавление данных веществ в состав жидкости гидроразрыва на водной основе позволяет предотвратить набухание глин, в случае их наличия в обрабатываемых ГРП зонах [5, 9].

1.7.12 Буферы и регуляторы pH

В целях регулировки водородного показателя pH до диапазона значений, соответствующих эффективной работе шивателей и брейкеров, возможно дополнительное введение регуляторов pH. Наиболее распространенными веществами данного типа являются каустическая сода NaOH (увеличение pH для эффективного сшивания) и соляная кислота HCl (уменьшение pH для эффективной деструкции сшитого геля) [5, 7].

В случае, когда требуется поддерживать значение pH в постоянном диапазоне, применяются буферы. К ним относятся соли слабых кислот с сильными основаниями. Наиболее типичными буферами являются карбонаты натрия и калия (для поддержания высоких значений pH); органические кислоты и их соли, например, уксусная кислота и диацетат натрия применяются для низких значений pH [5, 7].

1.8 Свойства жидкостей разрыва на водной основе

Для соответствия жидкости разрыва своему назначению, она должна обладать следующими свойствами: способность удерживать проппант во взвешенном состоянии и транспортировать его в пласт; обеспечение требуемой гидравлической ширины трещины (эффективность жидкости разрыва) и низких фильтрационных характеристик (контроль водоотдачи);

- возникновение низких потерь давления на трение в процессе проведения ГРП с целью снижения нагрузки на оборудование;
- совместимость с горными породами, слагающими продуктивный пласт, а также с пластовыми флюидами;
- поддержание стабильности реологических свойств на протяжении всего времени проведения ГРП;
- легкость удаления из пласта после завершения операций ГРП;
- простота приготовления в промышленных условиях;
- экономическая эффективность, выражающаяся в приемлемой стоимости проведения ГРП;
- безопасность в обращении.

1.8.1 Способность удерживать и транспортировать проппант

Необходимым свойством жидкости, используемой при ГРП, является ее способность транспортировать проппант во взвешенном состоянии через поверхностное оборудование, НКТ и перфорационные отверстия в пласт. Способность жидкости транспортировать проппант в основном зависит от ее вязкости, а также размера, плотности и концентрации проппанта.

1.8.2 Эффективность жидкости разрыва и контроль водоотдачи

Во время проведения ГРП очень важно контролировать водоотдачу, так как данный процесс уменьшает длину и ширину трещины, которые могли бы быть созданы с исходным объемом жидкости разрыва. Чем выше скорость фильтрации жидкости в пласт, тем меньше ее эффективность.

Эффективность жидкости представляет собой отношение объема трещины к объему закачанной жидкости [18].

Низкая эффективность жидкости может привести к преждевременному экранированию трещины. Когда это происходит, устьеовое давление чрезмерно возрастает, и дальнейшая закачка становится невозможной, поэтому операция прекращается преждевременно.

Фильтрация жидкости в пласт может значительно влиять на проницаемость и проводимость трещины. Высокие потери жидкости могут вызвать снижение проводимости вследствие образования фильтрационной корки на стенках трещины, а также полимерных сгустков в проппантной упаковке. Присутствие любых твердых частиц влечет к снижению проводимости трещины. Данное явление может быть минимизировано с помощью:

- контроля водоотдачи (например, использование сшитых гелей);
- оптимизации концентрации полимерных загустителей;
- использования эффективных разрушителей вязкости.

1.8.3 Потери давления на трение

Более вязкие жидкости обычно создают большие потери давления на трение, чем жидкости, разжижающиеся при сдвиге. Поэтому большинство используемых жидкостей разрыва сшиваются, т.е. в закачиваемый в скважину гель добавляют химически замедленный сшиватель. Процесс сшивания может регулироваться при достижении жидкостью перфорационных отверстий для обеспечения большей вязкости на входе в продуктивный пласт [18].

Процедура отложенного сшивания позволяет закачивать в трещину большее количество проппантной смеси. Закачка значительного количества проппанта дает возможность получить достаточно широкую трещину после её закрытия, что обеспечит поддержание высокой продуктивности скважины [18].

1.8.4 Совместимость с горными породами и пластовыми флюидами

Во время проведения ГРП рабочая жидкость находится в непосредственном контакте с породой и пластовыми флюидами, поэтому очень важно, чтобы она была совместима с породой. При планировании операции ГРП на новых месторождениях проводят лабораторные исследования с использованием образцов керна для определения совместимости используемой жидкости с породой и пластовыми флюидами. Несовместимая жидкость может вызвать разбухание и миграцию глин, образование эмульсий, а также ухудшение проницаемости и проводимости трещины после проведения ГРП [18].

В большинстве операций ГРП в рабочую жидкость на водной основе добавляют хлорид калия (KCl), хлорид аммония (NH_4Cl) или органические стабилизаторы глин для обеспечения ее совместимости с породой.

Поверхностно- активные вещества (ПАВ) часто добавляются в жидкости ГРП для предотвращения образования вторичных эмульсий в нефтяных скважинах [18].

1.8.5 Удаление жидкости разрыва из трещины

После успешной транспортировки проппанта в трещину жидкость разрыва должна быть извлечена на поверхность в том объеме, в каком это возможно. Значительную роль в данном процессе играет введение в состав жидкости ГРП эффективных разрушителей вязкости (брейкеров) на этапе её приготовления.

Так как пластовые условия очень разнообразны, оптимальная процедура возврата рабочей жидкости на поверхность определяется после проведения нескольких ГРП на данной территории. В высокодебитных газовых скважинах, в которых был проведен ГРП с применением проппанта, вероятно необходимость изменения процедуры возврата рабочей жидкости для оптимизации закрытия трещины и контроля количества проппанта, выносимого на поверхность [18].

1.9 Контроль качества жидкости ГРП

У жидкости ГРП есть несколько целей: инициация и развитие трещины в пласте интереса; транспортировка расклинивающего агента во взвешенном состоянии вглубь трещины; создание достаточной по ширине трещины для транспортировки проппанта.

К жидкостям ГРП существуют следующие требования:

- 1) Совместимость с пластом и пластовой жидкостью.
- 2) Минимальные значения давлений трения.
- 3) Достижение необходимой вязкости.
- 4) Низкий процент фильтрации в пласт.
- 5) Максимальный распад после работы с минимальным количеством осадков.
- 6) Экономическая эффективность.

Основные компоненты жидкости для гидроразрыва:

1. Полимеры
2. Сшиватели
3. Брейкеры
4. Стабилизаторы глин
5. Деэмульгаторы
6. Бактерициды

Полимер необходим для образования линейного геля, который обладает высокой вязкостью.

Сшиватель при контакте с полимером связывает их молекулы, что выражается в значительном повышении вязкости, при относительно не большой концентрации полимера.

Брейкер необходим чтобы разрушить связи между молекулами полимера, вызвать его дегидратацию, тем самым очистить трещину от жидкости ГРП.

Стабилизатор глин предотвращает набухание глин и их миграцию.

Деэмульгатор предотвращает образование эмульсий при смешивании

жидкости ГРП с пластовой и снижают поверхностное натяжение.

Линейный гель является очень хорошей средой для развития бактерий, из-за размножения которых он может потерять свои свойства и разрушиться. Для предотвращения данного процесса в воду, из которой в дальнейшем будут делать линейный гель, добавляют бактерицид. Он предотвращает развитие бактерий.

Для проведения ГРП необходимо большое количество воды. Нужно чтобы вода из доставляемого источника имела допустимые показатели. Для этого перед каждой работой воду из каждого источника доставляют в лабораторию и проводят ряд тестов. Проводят тестирование на содержание химических и механических примесей. Определяют чистоту воды, ее цвет, прозрачность. Определяют содержание соли, процентное количество в воде не должно превышать 1.5 %, в противном случае гель будет быстро дегидратировать. Определение содержания железа. Количество железа в воде не должно составлять 10 мг/л, при превышении этого количества фиксируется частичное сшивание полимера, ухудшение общих качеств сшитого геля. Определение содержания хлорида. В случае их высокого содержания в воде происходит пересшивание геля, его частичному сшиванию. Определение щелочности, содержание бикарбонатов. Она оказывает влияние на гидратацию полимера и при высоких показателях увеличивает время сшивания геля. Определение жесткости. Определяется содержанием кальция и магния в воде, при большом количестве влияет на время сшивания геля, увеличивая его. Определение содержания сульфатов. Высокое содержание сульфатов способствует образованию плотных не растворимых минеральных отложений. Определение уровня pH. Который должен быть от 4.0 до 8.0. Если этот показатель ниже 4.0 это приводит к отсутствию сшиваемости, если больше 8.0, то происходит слишком быстрое сшивание линейного геля.

Далее в лаборатории подрядчика проводят тестирование жидкости на реометре, в котором проводят тест на вязкость, время разрушения геля, тест на сдвиг, реологический тест.

Вязкость — минимальная вязкость жидкости ГРП способная удерживать проппант во взвешенном состоянии 200сПз.

Реологический тест — реология жидкости ГРП должна быть стабильной на протяжении всей работы.

Тест на разрушение — в течении ГРП вязкость жидкости не должна снижаться менее 200сПз.

Жидкость ГРП должна разрушаться полностью за время, предусмотренное тех. отстоем.

Тест на сдвиг — время восстановления вязкости геля после снижения скорости сдвига до 200сПз не должно превышать нескольких секунд.

1.10 Проблема загрязнения трещины после ГРП

Основной причиной недостижения потенциального дебита добывающих скважин после ГРП является сниженное за счет остаточной жидкости разрыва значение проводимости проппантной пачки. Эффект снижения тем больше, чем выше средняя проницаемость пласта, и может достигать 25 – 35%. В итоге проблема загрязнения трещины после ГРП и поиск способов ее очистки являются одним из наиболее важных моментов в процессе эксплуатации скважин.

Закачиваемые в пласт под высоким давлением жидкости гидроразрыва готовятся на основе широко используемых гелей гуаровой смолы [3] с добавлением сшивателя и брейкера-деструктора полимеров. Если после размещения проппантной пачки полимер остается неразрушенным, то образуется сверхвязкая, трудно удаляемая гелеобразная масса, блокирующая не только пространство трещины, но и поровое пространство призабойной зоны.

Одним из основных требований к жидкостям ГРП является разрушение жидкости разрыва до значения вязкости, сравнимого с вязкостью воды для последующей фильтрации геля из трещины. При неполной деструкции геля понижается относительная проницаемость трещины и остаточный гель может создавать препятствия на пути притока жидкостей, что вызывает необходимость применения дополнительной очистки при освоении скважины.

Наиболее перспективным направлением увеличения конечной проницаемости трещины ГРП представляется кислотное воздействие. Соляная кислота способствует разрушению комплексных связей между цепочками полимеров и сшивателя. Однако длительное нахождение кислоты в трещине не только негативно сказывается на свойствах стенок трещины терригенного коллектора, но и разрушает закрепляющий трещину проппант [4].

Для решения данной проблемы применяются кислотные брейкеры, являющиеся деструктором жидкостей ГРП, глин, полимеров, буровых растворов, и проведены лабораторные исследования с целью изучения возможности применения деструкторов в технологическом процессе.

1.11 Существующие процессы деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП

Выведение жидкости ГРП из пласта является одним из важнейших процессов на заключительном этапе операции гидроразрыва. Причина этого заключается в необходимости поддержания проницаемости и проводимости проппантной пачки на достаточном уровне. Достижение данной цели возможно в случае, если будет применен наиболее эффективный тип деструктора. Деструкторы (брейкеры) жидкостей ГРП, применяемые в настоящее время, относятся к определенным разновидностям процессов деструкции.

Задачами данного раздела являются:

- определение отрицательного воздействия со стороны жидкостей ГРП на проницаемость и проводимость проппантной пачки;
- выявление существующих разновидностей деструкции жидкостей ГРП, встречающихся в литературных источниках;
- оценка эффективности выявленных видов деструкции для проведения дальнейших исследований.

1.11.1 Влияние типа применяемой жидкости разрыва на проницаемость проппантной пачки и продуктивного пласта

При проведении операций гидроразрыва с использованием

жидкостей ГРП на водной основе возникает серьезная проблема ухудшения фильтрационных свойств коллектора за счет кольтматации порового пространства пласта и образовавшихся трещин остатками не разрушенного до конца полимерного геля [19].

1.11.2 Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на водной основе

Сниженное значение проводимости проппантной пачки за счет остаточной жидкости разрыва является одной из основных проблем, приводящих к недостижению потенциального дебита добывающих скважин после ГРП. Причем чем выше средняя проницаемость пласта, тем больше данный эффект снижения.

Жидкости гидроразрыва, которые закачиваются под высоким давлением в пласт, готовятся на основе гелей гуаровой смолы с добавлением сшивателя и брейкера- деструктора полимеров. В случае неразрушения полимерной составляющей после размещения проппантной пачки образуется сверхвязкая, трудно удаляемая гелеобразная масса, которая блокирует как пространство трещины, так и поровое пространство призабойной зоны продуктивного пласта. Для последующей фильтрации геля из трещины путем разрушения жидкости разрыва необходимо добиться таких значений вязкости, которые были бы сравнимы с вязкостью воды. Остаточный гель при его неполной деструкции понижает относительную проницаемость трещины и блокирует приток жидкостей к скважине. Данная ситуация диктует необходимость использования дополнительных мероприятий по очистке при освоении скважины [20].

Образование фильтрационной корки на поверхности трещины является одним из тех факторов, который негативно сказывается на проводимости трещины после проведенной операции ГРП. Во время данной операции жидкость ГРП просачивается в пласт через трещины и разрывает его, находится в трещине под гораздо более высоким давлением, чем в

коллекторе. Однако достаточно большие размеры молекул сшитого гуара не позволяют ему попасть в поровую матрицу, что ведет к образованию плотной полимерной корки на поверхности трещины. Также сказывается образование плотной упаковки проппанта при смыкании трещины, когда производят снижение давления по окончании операции ГРП. Смыкание трещины ведет еще большему повышению концентрации полимера в результате дополнительное вытеснение воды из полимерной сетки в пласт. Поэтому, если полимер остается неразрушенным, происходит образование сверхвязкой гелеобразной корки, которая блокирует поровое пространство трещины [21].

1.11.3 Кольматация порового пространства проппантной пачки при проведении ГРП с использованием жидкостей разрыва на углеводородной основе

Наиболее частой проблемой при данной операции является выпадение в призабойной зоне пласта (ПЗП) асфальто-смолистых и парафиновых отложений (АСПО). Органические отложения (парафины и асфальтены) содержатся в различных количествах во всех типах сырой нефти. Термобарическими и геолого-техническими условиями эксплуатации нефтяных месторождений, а также природа и состав нефти определяют разнообразие АСПО. При этом как термодинамические, так и кинетические аспекты процесса растворения отложений должны быть учтены при удалении данных веществ с помощью растворителей. Немаловажным является тот факт, что парафины могут быть растворены в органических растворителях, а асфальтены – нет [18].

1.12 Выявление процессов физической и химической деструкции полимерной составляющей жидкостей ГРП

Все процессы деструкции могут быть условно разделены на группы физических и химических процессов. Эти две группы включают в себя разновидности деструкции, о которых будет рассказано далее более подробно.

1.12.1 Физическая деструкция

Процессы, относящиеся к физической деструкции полимеров, происходят под влиянием различных физических факторов (термическая, механическая, фото- и радиационная деструкция).

1.12.2 Термическая деструкция

При нагревании полимеры подвергаются разнообразным превращениям, сопровождающимся и образованием газообразных и жидких продуктов, изменением окраски и т.д.

Устойчивость полимера к термическому воздействию определяет его термостойкость. Обычно термостойкость оценивается по температуре, при которой начинается заметное разложение полимера, по продуктам разложения и по кинетике процесса.

При нагревании полимера в некоторых местах системы энергия теплового движения становится соизмеримой с энергией химической связи, и связь разрывается. Очевидно, что очень важным фактором, определяющим термостойкость полимера, является величина энергий связи между атомами в главной цепи.

На термостойкость полимера влияют:

- наличие различных элементов в макромолекуле;
- увеличение степени разветвленности полимеров;
- наличие заместителей в молекуле.

1.12.3 Механическая деструкция

Механическая деструкция полимеров – снижение молекулярной массы полимеров при механических воздействиях, вызванное разрывами упруго деформированных макромолекул. Еще в тридцатые годы прошлого века исследованиями Г. Штаудингера было показано, что при многократном пропускании растворов полимеров через капилляр их вязкость вследствие деструкции макромолекул уменьшается [22].

Отечественные и зарубежные ученые, продолжая работы Г. Штаудингера, обнаружили, что разрыв молекул при механической

деструкции приводит к образованию макрорадикалов, в результате чего изменяется молекулярный вес и структура полимера.

Механическая деструкция – один из видов механохимических превращений полимеров и один из наиболее практически важных видов деструкции полимеров. Деструкция происходит в результате действия механических напряжений, которые возникают при механическом нагружении полимера при переработке или в процессе эксплуатации. Разрывы макромолекул могут происходить также при замораживании водных растворов полимеров, при действии ультразвука и т.п. Деструкция макромолекул линейных и трехмерных полимеров, находящихся в вязкотекучем, высокоэластичном состоянии, а также макромолекул в разбавленных и концентрированных растворах полимеров происходит при действии сравнительно малых напряжений [22].

Основная причина механодеструкции – неравномерность распределения напряжений по отдельным связям и существование «перенапряженных» участков цепей, где истинные нагрузки близки к предельной прочности химических связей на разрыв. Перенапряжения возникают вследствие различий в направлении и величине сил внутреннего трения, действующих на отдельные сегменты полимерных цепей. В свою очередь, силы внутреннего трения возникают под действием градиента давления в жидкой среде. Эти силы характеризуются напряжением сдвига. Разрыв полимерной цепи при механодеструкции носит термофлуктуационный характер, так как напряжение сдвига в потоке раствора ослабляет энергию активации механического разрыва связей. Повышение температуры также ослабляет энергию активации. Таким образом, в качестве основного фактора механодеструкции выступает напряжение сдвига, которое количественно отражает силы внутреннего трения в конкретной области потока полимерного раствора [22].

1.12.4 Фотодеструкция

Деструкция полимеров может протекать при их освещении видимым

($\lambda = 400-800$ нм) и особенно ультрафиолетовым ($\lambda = 180-400$ нм) излучением. Особое значение имеет освещение солнечным светом, содержащим ультрафиолетовое излучение с $\lambda \geq 270$ нм. Поглощение света макромолекулами полимеров приводит к фотовозбуждению (переходу электронов на несвязывающие и разрыхляющие орбитали); далее происходит разрыв связей (обычно гомолитический), т.е. начинается деструкция.

Фотохимическая деструкция в значительной степени облегчается, если в полимере присутствуют фотосенсибилизаторы и фотоинициаторы. Фотосенсибилизаторы легко поглощают световое излучение и передают энергию фотовозбуждения макромолекулам полимера. Фотоинициаторы при освещении легко образуют радикалы, которые далее инициируют деструкцию полимера. Фотоинициаторами могут служить пероксиды и азосоединения. В противоположном направлении действуют фотостабилизаторы – соединения, замедляющие фотодеструкцию полимеров. Фотостабилизаторы легко поглощают световое излучение, однако, в отличие от фотосенсибилизаторов, не передают энергию фотовозбуждения макромолекулам, а излучают ее в виде тепла или излучения малой энергии. Таким образом, фотостабилизаторы выступают в роли «перехватчиков» и «рассеивателей» излучения [23].

1.12.5 Радиационная деструкция

Деструкция происходит при действии на полимеры излучений высоких энергий – α , β , γ , а также рентгеновского. Как и при фотодеструкции, сначала происходит возбуждение макромолекул, а затем деструкция, пути которой многообразны: возможны как уменьшение молекулярной массы (т. е. итоговая деструкция), так и ее увеличение за счет сшивания неконцевых макрорадикалов. С другой стороны, используя дозированное радиоактивное излучение, можно провести полезную модификацию полимера, например, повысить термостойкость и химическую стойкость [23].

1.12.6 Химическая деструкция

Поскольку сшивка в присутствии боратного сшивателя происходит в щелочной среде (диапазон рН от 8 до 12 единиц), разрушение полученных гелевых структур, а также разрыв связей между полимером и бором должны происходить в кислой среде. Поэтому, все типы брейкеров, действие которых основано на принципах химической деструкции, эффективны в кислой или нейтральной среде [11, 23].

Химическая деструкция осуществляется путем воздействия на рассматриваемый объект различными химическими реагентами. К числу реагентов, применение которых возможно осуществления данных процессов, можно отнести:

- неорганические и органические кислоты;
- окислители;
- энзимы;
- биологические деструкторы.

1.12.7 Деструкция при обработке неорганическими и органическими кислотами

Наиболее быстрое разрушение геля ГРП будет происходить в результате последующей за этим процессом кислотной обработки. Действие растворов кислот основано на процессах гидролиза. Диапазон температурных границ применимости данного типа брейкеров находится в пределах от 45 до 120 °С. Самой распространенной разновидностью неорганических кислот, применяемых на практике, является раствор соляной кислоты с концентрациями от 5 до 28 % (масс.). Данный раствор может применяться самостоятельно, либо совместно с органическими кислотами. Однако, применение неорганических кислот приводит ко многим негативным последствиям, связанным, например, с активной коррозией оборудования и образованием значительной массы нерастворимого осадка при контакте с

полимером и породами пласта.

Результаты, полученные в работе [11], доказывают предположение о том, что при добавлении соляной кислоты происходит разрыв комплексных связей между цепочками полимеров и бором.

Также необходимо учитывать, что кислоты разрушают проппант и могут оказать негативное влияние на проводимость полученной трещины, поэтому необходима разработка специальных, «щадящих» кислотных составов для более полного разрушения сшитого полисахаридного геля [11].

Слабые органические кислоты также находят применение в качестве деструкторов, но, если кислота контактирует с карбонатом в пласте, брейкер вступит в реакцию с пластом раньше, чем с жидкостью разрыва.

К недостаткам всех типов кислот можно отнести потерю реакционной способности при разбавлении, нейтрализации или преждевременной реакции с породами пласта и полимерной основой жидкости разрыва [24].

Недостатком слабых растворов кислот является возможность осадкообразования частиц, растворимых при низких значениях pH, но нерастворимых при значениях pH, близких к нейтральным. Для устранения данного недостатка слабые растворы кислот могут применяться совместно с хелатными соединениями [24].

1.12.8 Деструкция под действием энзимов

Энзимы известны в качестве природных катализаторов биологических процессов. Эти брейкеры жидкости гидроразрыва представляют собой большие молекулы белков, которые состоят из цепочек аминокислот. Наиболее простые энзимы могут содержать менее 150 аминокислот. В то же время сложные энзимы, которые являются самыми типичными представителями этой группы веществ, по различным данным могут состоять из 400 – 500 аминокислот [24].

Данная разновидность деструкторов является специфичной для определенных групп полимеров. Для отдельных разновидностей энзимов это

свойство выражается в активации процесса разрушения только при наличии в реакционной среде определенного биополимера. При этом, деструкции подвергается только данный полимер. Для разрушения другого полимера требуется введение дополнительного количества энзима, способного к реакции с ним.

В зависимости от типа реакции, катализатором которой являются энзимы, возможно выделить следующие их типы [9, 12]:

- оксидоредуктазы (катализируют окислительно-восстановительные реакции);
- трансферазы (способствуют перемещению элемента одной молекулы в состав другой);
- гидролазы (катализируют процесс расщепления связи под действием воды);
- лиазы (отвечают за добавление или удаление двойной связи);
- изомеразы (активизируют межмолекулярную перестройку);
- лигазы (производят объединение субстратов).

Данный тип брейкеров оказывает каталитическое действие на процесс деградации биополимера при формировании комплекса «энзим-субстрат» (рисунок 10).

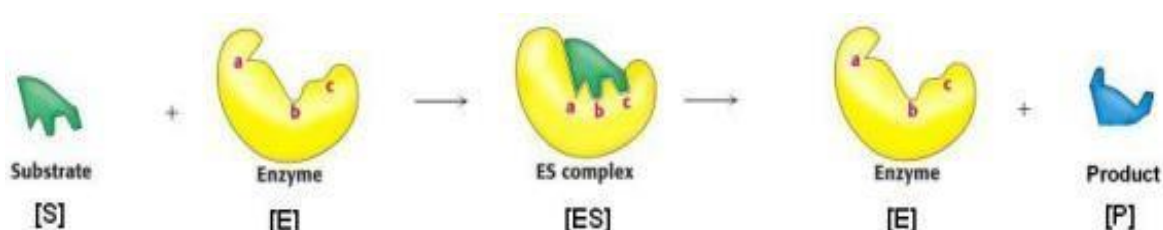


Рисунок 10 – Схема каталитического действия энзимов [9, 12]

К достоинствам энзимов можно отнести их коррозионную безопасность, так как они не реагируют с металлами, а, следовательно, не образуют с ними нерастворимых осадков, способных привести к дополнительному уменьшению проводимости трещины гидроразрыва.

Другим достоинством данного типа брейкеров является их каталитическая природа. Являясь по своей сути катализаторами процесса

деструкции, в ходе его протекания, энзимы практически не расходуются. Поэтому, они могут эффективно разрушать биополимерные соединения до момента, пока сохраняются рабочие условия реакционной среды [9, 24]. Пример каталитической реакции с участием энзимов представлен на рисунке 11.

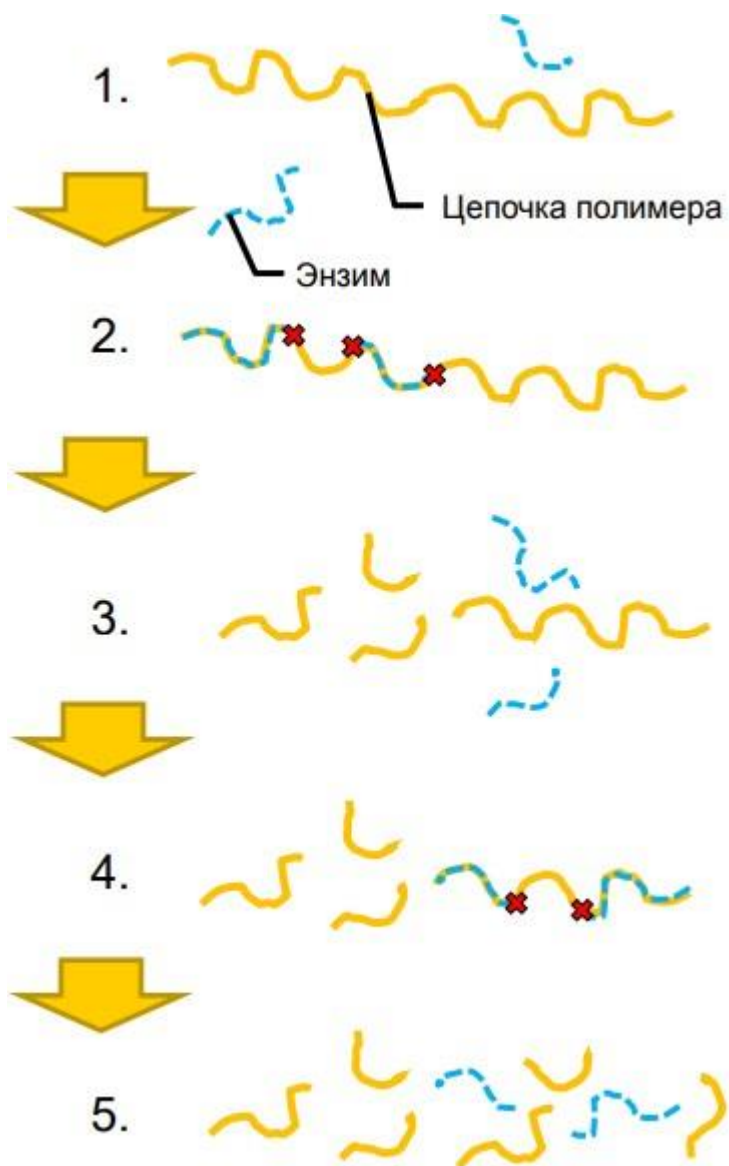


Рисунок 11 – Каталитическая реакция с добавлением энзимов.

Значительная чувствительность энзимов к среде, в которой протекает процесс разрушения, является одним из основных недостатков данных веществ. К числу факторов, определяющих эффективность работы энзимов, можно отнести узкий температурный диапазон применимости (от 4 до 95°C). Другим немаловажным фактором применения энзимов на практике является малый рабочий диапазон по значению рН реакционной среды,

составляющий от 3 до 8 единиц, оптимально – 5 единиц [11].

Известны работы [9, 25, 26] зарубежных исследователей в направлении оценки эффективного применения энзимов в качестве деструкторов жидкостей гидроразрыва. В работе [9] особенно отмечается возможность применения специальных полиэлектролитических комплексов наночастиц в качестве средства доставки энзимов и их защиты от раннего негативного воздействия реакционной среды.

В исследовании [26] выдвигается идея применения смесей нескольких энзимов, разрушающих структуру сшитой жидкости гидроразрыва на основе гуара и его производных несколькими способами. Первым из них является «отсечение» боковых галактозных звеньев. Второй способ состоит в разрыве основной маннозной цепи на несколько частей. Третий вариант также заключается в воздействии на маннозную цепь, однако, он отличается от второго постепенным отрывом крайних маннозных элементов от основной цепи.

1.12.9 Деструкция под влиянием биологических организмов

В составе химической деструкции также можно выделить деструкция под действием биологических организмов – биологическую деструкцию (биодеструкцию). Биодеструкция осуществляется под воздействием ферментов, представляющих собой белки, вырабатываемые клетками и тканями живых организмов, в том числе микроорганизмов. Для биодеструкции могут применяться аэробные и анаэробные микроорганизмы, ферменты которых расщепляют биополимеры до простых сахаров или жирных кислот [27].

Применение биологических деструкторов отличается от других способов, прежде всего, простотой осуществления процесса, дешевизной и экологичностью.

В качестве активных веществ биодеструкторов, вырабатываемых в процессе жизнедеятельности плесневых грибов, выступают органические кислоты: фуморовая, янтарная, яблочная, лимонная, глюконовая, молочная,

щавелевая [31].

Как уже было отмечено выше, наряду с органическими кислотами другими важными действующими веществами, производимыми биодеструкторами, являются ферменты. На сегодняшний день имеются исследования способности микробиоты отхода пивоварения, пивной дробины, разлагать молекулы таких полисахаридов, как: карбоксиметилцеллюлоза, ксантан, гуаровая камедь [32].

Недостатки применения биодеструкторов заключаются в необходимости индивидуального подбора разных родов микроорганизмов и грибов, их повышенной устойчивости к жестким воздействиям рабочей среды. К таким условиям можно отнести повышенные температуры и давления, значительную щелочность разрушаемой жидкости, а также возможное отсутствие доступа воздуха в рабочую область.

Однако, существует возможность ухода от непосредственного применения биологических деструкторов, которая выражается в получении из них чистого фермента- деструктора. В этом случае, деструкция будет протекать по механизму, аналогичному описанному ранее для обработки жидкости ГРП энзимами.

1.13 Деструктор ФЛАКСОР 110

Проведенные в ООО «РН-УфаниПИнефть» исследования по изучению влияния полимерной жидкости ГРП на проницаемость системы «пласт – трещина» показали, что размер и проницаемость загрязненной зоны низкопроницаемого пласта оказывают слабый эффект на дебит скважины. Основной причиной недостижения потенциального дебита добывающих скважин после ГРП является сниженное за счет остаточной жидкости разрыва значение проводимости проппантной пачки. Эффект снижения тем больше, чем выше средняя проницаемость пласта, и может достигать 25 – 35%. В итоге проблема загрязнения трещины после ГРП и поиск способов ее очистки являются одним из наиболее важных моментов в процессе эксплуатации скважин.

Для решения данной проблемы разработан кислотный состав ФЛАКСОКОР110, являющийся деструктором жидкостей ГРП, глин, полимеров, буровых растворов, и проведены лабораторные исследования с целью изучения возможности применения ФЛАКСОКОРа110 в технологическом процессе.

При физико-химических исследованиях в качестве жидкостей ГРП использовалась многокомпонентная система усредненной рецептуры следующего состава:

- полимер FORE FWG7F;
- сшиватель FORE BC-D2;
- деэмульгатор FORE E-1;
- стабилизатор глин FORE FS5-1;
- активатор FORE BRP-A;
- деструктор FORE BRP-5.

На первом этапе было исследовано влияние ФЛАКСОКОРа110 на разрушение геля ГРП. В сшитый гель ГРП без введения деструктора FORE BRP-5 при перемешивании добавляли деструктор ФЛАКСОКОР110. Затем измеряли условную вязкость получаемых композиций с использованием воронки типа ВУ или ВБР. Далее композицию термостатировали при 90°C с измерением через каждый час условной вязкости композиции. Результаты тестирования приведены на рис. 12.

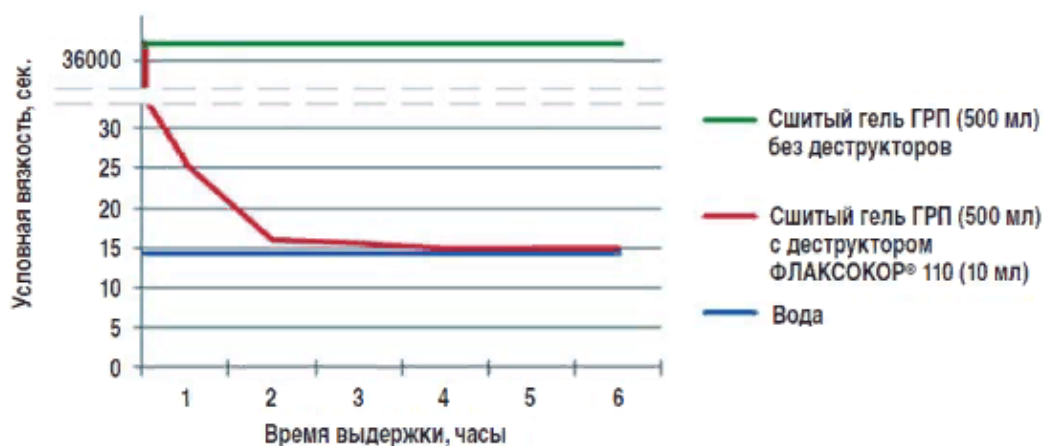


Рисунок 12 – Результаты тестирования ФЛАКСОРА110 по деструкции

жидкости ГРП

Отмечено, что кислотный состав ФЛАКСОКОР®110 при введении в жидкость ГРП с расходом 10 мл на 500 мл сшитого геля позволяет мгновенно разрушить и снизить вязкость сшитого геля практически до значений вязкости воды.

В успешном проведении технологии ГРП важную роль играет закрепитель трещины проппант, прочностные характеристики которого могут быть нарушены под действием реагентов, в частности соляной кислоты [4]. Изменение структуры зерен проппанта под действием кислоты проявляется в появлении продуктов разрушения, которые не выносятся из толщи проппанта, а заполняют пустоты между гранулами. Продукты разрушения, накапливаясь в порах, препятствуют движению потока жидкости и снижают пропускную способность трещины.

Далее проведены фильтрационные опыты по определению остаточной проводимости трещины. Исследования проводились с использованием технологической жидкости ГРП усредненной рецептуры с добавлением и без добавления брейкера и проппанта фракции 12/18 на установке PCES-100 производства CoreLab Inst. (США), позволяющей моделировать в лаборатории скважинные условия. Модель ячейки представлена на рис. 13.

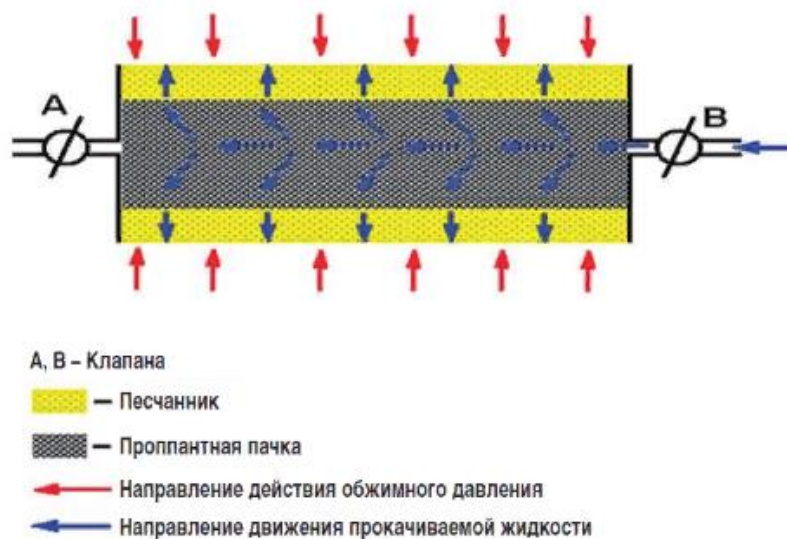


Рисунок 13 – Схема прокачиваемой жидкости через ячейку для

определения проводимости проппантной пачки

Результаты фильтрационных опытов представлены на рис. 13. Отмечено, что ФЛАКСОКОР® 110 кратно (в 1,8 раза) повышает проницаемость проппантной пачки как в условиях остаточной жидкости ГРП с брейкером, так и в условиях его отсутствия. Полученные результаты свидетельствуют о высокой деструктурирующей способности ФЛАКСОКОРА® 110 относительно жидкости ГРП. При этом повторная обработка реагентом еще более увеличила его эффективность. Следует отметить, что после повторной обработки ФЛАКСОКОРОМ® 110 наблюдается снижение ширины проппантной пачки, что объясняется воздействием кислотного состава в условиях высоких температур на пластины керна, составляющие стенки в измерительной ячейке. В связи с этим время пребывания кислотного состава ФЛАКСОКОР® 110 в трещине ГРП должно быть не более 4 часов.



Рисунок 14 – Восстановление остаточной проницаемости проппантной пачки после воздействия раствора ФЛАКСОКОРА 110 при применении жидкости ГРП с брейкером и без брейкера

Таким образом, кислотный состав ФЛАКСОКОР® 110 при введении в жидкость ГРП позволяет мгновенно разрушить гель и снизить вязкость практически до значений вязкости воды. Проницаемость модели после воздействия ФЛАКСОКОРОМ® 110 увеличилась в 1,8 – 2,1 раза за счет более

полного разрушения геля ГРП и выноса продуктов реакции из трещины. Применение ФЛАКСОКОРа® 110 для обработки трещины ГРП на стадии заканчивания и освоения скважин для повышения остаточной проводимости проппантной пачки позволит ввести в разработку скважины с ГРП с расчетными технологическими показателями.

1.14 Заключение по литературному обзору

В результате обзора литературных источников, относящихся к теме магистерской диссертации были получены следующие результаты:

- рассмотрен гидравлический разрыв пласта как метод повышения проницаемости призабойной зоны пласта;
- выявлены показатели, влияющие на эффективность проведения ГРП;
- рассмотрено оборудование для проведения ГРП
- рассмотрены типы жидкостей ГРП, определены основные компоненты жидкостей разрыва на водной основе;
- обозначены наиболее важные свойства жидкостей гидроразрыва;
- рассмотрена проблема засорения продуктивного пласта после удаления жидкости гидроразрыва
- выявлены существующие процессы деструкции, а также произведена оценка их эффективности.

По результатам проведенного литературного обзора можно отметить следующее:

- Гидроразрыв пласта является одним из основных методов интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи низкопроницаемых коллекторов.; на завершающей стадии проведения ГРП наиболее важным является процесс удаления жидкости гидроразрыва из трещины без нанесения значительного ущерба проницаемости и проводимости проппантной 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. Экспериментальная часть

В связи с наличием научной новизны результатов исследований данный раздел ВКР не выкладывается.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Магистерская диссертация направлена на исследование влияния биоразлагаемых деструкторов (брейкеров) на реологические свойства жидкостей гидроразрыва, однако, большинство из рассмотренных деструкторов имеют органическую природу, так как вещества данного типа оказывают минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, а также практически не представляют опасности для жизни и здоровья человека.

В данной главе отражены и проведены расчеты расходов, направленных на осуществление научного исследования, обусловленного тематикой магистерской диссертации.

3.1 SWOT-анализ

Первый этап анализа заключается в описании сильных и слабых сторон исследовательской работы, а также возможностей и угроз для её реализации, исходящих из внешней среды. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в приложении Б, таблица Б.1.

На втором этапе производится выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Определение соответствий/несоответствий направлено на оценку степени необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 5, 6, 7 и 8.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	+	0
	B2	-	+	+	+
	B3	-	+	+	+
	B4	-	-	-	-

При анализе первой интерактивной матрицы, можно отметить те комбинации возможностей и сильных сторон проекта, корреляция которых наиболее значительна: B1C2C3, B2C2C3C4, B3C2C3C4.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	B1	-	-	-	-
	B2	-	-	-	+
	B3	-	+	+	-
	B4	-	-	-	-

При анализе второй интерактивной матрицы, можно выделить возможности и слабые стороны проекта с наиболее значительной корреляцией: В2Сл4, В3Сл2Сл3.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-
	У2	-	+	-	+
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	0

Для третьей интерактивной матрицы характерной является комбинация взаимосвязанных угроз и сильных сторон проекта: У2С2С4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	+	+	-	-
	У2	+	+	-	+
	У3	0	0	+	-
	У4	+	+	-	0

Четвертая интерактивная матрица может быть охарактеризована наличием следующих комбинаций сильно коррелирующих угроз и слабых сторон проекта: У1Сл1Сл2, У2Сл1Сл2Сл4, У3Сл3, У4Сл1Сл2.

В качестве третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа, которая представлена в приложении Б, таблица Б.2.

3.1 Планирование научно-исследовательской работы

3.1.1 Структура работы в рамках научного исследования

Порядок планирования комплекса предполагаемых работ имеет следующую структуру:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Каждый вид запланированных работ должен иметь соответствующие должности исполнителей.

Составление списка этапов и работ в рамках проведения научного исследования с обязательным распределением исполнителей по категориям работ является основой в планировании научно-исследовательской работы.

Составленный порядок этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Магистрант
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, Магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	Магистрант
	6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Магистрант
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Научный руководитель, Магистрант
Оформления отчета по проведенным исследованиям	8	Написание пояснительной записки	Научный руководитель, Магистрант

3.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В большинстве случаев значительную часть стоимости исследования составляют трудовые затраты. Следовательно, необходимо определить

трудоемкость работ, относящихся к каждому из участников научно-исследовательского проекта.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как она зависит от множества факторов, учет которых затруднителен. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$ применяется формула (2):

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

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На основе ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (формула 3). Данное вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

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

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одинаковую работу на данном этапе, чел.

3.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

Исходя из наглядности и максимальной простоты визуализации, в качестве графика проведения научного исследования выбирается диаграмма Ганта. Она является горизонтальным ленточным графиком, на котором работы

по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для облегчения процесса построения графика, длительность каждого из этапов работ следует перевести из рабочих дней в календарные по формуле (4):

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

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности для 2020 года определяется по формуле (5):

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

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Так как согласно «Производственному календарю на 2020 год для пятидневной рабочей недели» $T_{\text{кал}} = 365$, $T_{\text{вых}} = 104$, $T_{\text{пр}} = 14$, то коэффициент календарности в 2020 году равен 1,478.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 10. На основе таблицы 10 производим построение план-графика, который представлен на рисунке 27.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	Научный руководитель	3	4
Выбор направления исследований	4	6	4,8	Научный руководитель	5	7
Подбор и изучение литературы по теме	14	21	16,8	Магистрант	17	25
Календарное	2	3	2,4	Научный	1	2

планирование работ по теме				руководитель, Магистрант		
Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	4	7	5,2	Магистрант	5	7
Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	28	35	30,8	Магистрант	31	46
Оценка результатов исследования	7	8	7,4	Научный руководитель, Магистрант	4	6
Написание пояснительной записки	7	14	9,8	Научный руководитель, Магистрант	5	7

№	Вид работы	Исполнители	Ткí, кал. дни	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	4	■															
2	Выбор направления исследований	Научный руководитель	7	■	■														
3	Подбор и изучение литературы по теме магистерской диссертации	Магистрант	25			■	■	■	■										
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, Магистрант	2						■	■									
5	Поиск теоретических положений о деструкции полимерных реагентов	Магистрант	7							■	■								
6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Магистрант	46								■	■	■	■	■	■	■		
7	Оценка результатов и исследований	Научный руководитель, Магистрант	6													■	■		
8	Подготовка пояснительной записки	Научный руководитель, Магистрант	7													■	■		

* Примечание к рисунку: ■ - Научный руководитель ■ - Магистрант
Шкала продолжительности работ на плане - в неделях

Рисунок 27. Календарный план-график проведения НИР по теме магистерской диссертации

3.1.4 Бюджет научно-технического исследования

3.1.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

К материальным затратам относится стоимость реагентов и расходных материалов, необходимых для проведения экспериментов. Материальные затраты отражены в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты научно-технического исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Светлая молочная кислота PURAC	мл	37	13,39	495,43
Гуар J580 (I580)	г	24	0,8	19,2
Сшиватель B264A	мл	19	0,7	13,3
Хлорид калия	г	133	0,065	8,65
Дистиллированная вода	г	9555	0,02	191,1
Итого:				727,68

3.1.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, занятых в процессах научно-технического исследования, (включая премии, доплаты), а также их дополнительную заработную плату (формула 6):

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле (7):

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}} \quad (7)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (8):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, пятидневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, шестидневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Исполнители	
	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	175

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле (9):

$$Z_M = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p \quad (9)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок может иметь значение от 0,2 до 0,5 (от 20 до 50 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Результаты расчета основной заработной платы исполнителей научно-исследовательского проекта представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23,264	0,3	0,3	1,3	48,389	2,430	18	43,740
Магистрант	1,906	0	0	1,3	2,478	0,159	63	10,017
Итого З _{осн}								53,757

3.1.4.3 Страховые взносы

данной статье расходов отражаются обязательные отчисления от затрат на оплату труда работников по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, медицинского страхования, пенсионного фонда.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (10):

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (фонд обязательного медицинского страхования, пенсионный фонд и др.).

В соответствии со статьей 425 Налогового Кодекса Российской Федерации на 2020 год установлен размер страховых взносов равный 30 %. Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2020 году вводится пониженная ставка – 20 % (статья 427 НК РФ). Рассчитанные значения отчислений во внебюджетные фонды приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, тыс. руб.	
	Основная	Дополнительная
Научный руководитель	43,740	5,249
Магистрант	10,017	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,2	
Отчисления по строке «Научный руководитель»	9,798	
Отчисления по строке «Магистрант»	2,003	
Итого	11,801	

3.1.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Для научно-исследовательской работы рассчитанная величина затрат является основой для формирования общего бюджета затрат проекта, который защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции при формировании договора с заказчиком.

Результаты расчета итогового бюджета затрат научно-исследовательского проекта приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Название статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	727,68
2. Затраты по основной заработной плате участников проект	53757
3. Затраты по дополнительной заработной плате участников проекта	5249
4. Отчисления во внебюджетные фонды	11801
5. Бюджет затрат научно-технического исследования	71534,68

3.1.5 Оценка эффективности применения различных брейкерных систем

Суть экспериментальной части работы состояла в обработке модельной жидкости гидроразрыва пласта на водной основе различными брейкерами

(деструкторами). Однако, по объективным причинам, в настоящее время исследование проводится только на молочной кислоте MRAC.

Эффективность каждого из исследованных реагентов можно оценить по формуле (11):

$$I_{\text{эфф}} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot N_i, \quad (11)$$

где k_i – i -й весовой коэффициент;

N_i – оценка i -го критерия эффективности;

n – количество критериев эффективности.

Полученные в результате расчета по формуле (11) значения представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Эффективность исследованного деструктора

Брейкер (деструкторы)	Критерии эффективности					Оценка эффективности
	Простота проведения обработки	Степень деструкции полимера	Стоимость реагента	Отсутствие нерастворимого осадка	Доступность реагента	
Молочная кислота MRAC	6	8	10	8	10	8,40

Согласно результатам анализа исследований, молочная кислота MRAC является эффективной химической деструкцией модельной жидкости ГРП. Изучение влияния молочной кислоты на реологические свойства жидкости ГРП позволит в дальнейшем применять биоразлагаемые полимеры на основе молочной кислоты в качестве деструктора в составе жидкостей ГРП. Это закладывает основу для решения текущей проблемы – полностью разрушение сшитого геля без образования хлопьевидного осадка.

В целом применение наиболее эффективных видов деструкторов сочетает в себе невысокую стоимость и доступность реагентов, а также значительную эффективность обработки, которая выражается в приемлемой степени деструкции жидкости ГРП и минимальном количестве нерастворенного осадка.

4. Социальная ответственность

Настоящая магистерская диссертация посвящена исследованию влияния биоразлагаемых брейкеров на реологические характеристики жидкостей гидроразрыва пласта на основе гуаровой смолы после их обработки деструкторами. В связи с этим в данном разделе магистерской диссертации произведен анализ возможных опасных и вредных факторов при работе с деструкторами в лабораторных условиях.

В качестве персонала рассматривается лаборант, рабочим местом которого является Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы» (далее – лаборатория).

В качестве модельной жидкости ГРП принята смесь солевого раствора KCl (2 % масс.) и гуаровой камеди (0,36 % масс.); дополнительно в данную смесь вводится боратный сшиватель на углеводородной основе (3 мл/л). В качестве основного деструктора выбраны кислоты в различных концентрациях 8-15% (масс.).

Рабочее место располагается на 1 этаже в аудитории, помещение представляет собой комнату размером 6 м на 4 м, высотой 3 м, 1 окно выходящее на север, в помещении находится 8 единиц технологического оборудования, 3 человека.

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.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

При работе с химическими веществами работающие должны руководствоваться правилами Инструкции №13-107 «По охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы» (далее – Инструкция №13-107), инструкции по пожарной безопасности и рабочей инструкции по выполняемой деятельности [61].

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 [62].

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

Согласно отраслевым нормам лаборанту (лаборанту-технику, лаборанту-коллектору, лаборанту химического анализа) бесплатно выдаются следующие средства индивидуальной защиты [77]:

- халат для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий (1 шт.);
- 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).

Условия труда в лаборатории являются допустимыми (2 класс), при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, при этом уровни воздействия не превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены) [78].

Согласно статьям 92, 117, 147 и 219 трудового кодекса РФ при допустимых условиях труда (2 класс) повышения оплаты труда по сравнению с нормальными условиями труда не производится, дополнительный отпуск «за вредность» не предоставляется, сокращения рабочего времени не производится [79]. Льготное пенсионное обеспечение не предоставляется [80].

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Уровни физических и химических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, соответствуют требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке [81].

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

Пол лабораторного помещения покрыт кислотоупорными материалами - керамической плиткой; потолок и стены окрашиваются краской.

Внутренние двери, предназначенные для перемещений между отдельными отсеками лаборатории, имеют прозрачное остекление и открываются 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 [61]. Дверцы вытяжных шкафов следует держать закрытыми с небольшим зазором внизу во время работ для обеспечения оптимальной тяги.

В лабораторном помещении имеются 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) [61].

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [63] можно выделить следующие вредные и опасные факторы производственной среды, представленные в таблице 17.

Таблица 17 – Вредные и опасные факторы при осуществлении исследований деструкторов полимеров в лаборатории

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	–	ГН 2.1.5.1315-03 [64] ГН 2.2.5.3532-18 [65]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	2.2.1/2.1.1.1278-03
4. Повышенная температура поверхности оборудования	–	+	–	[66] ГОСТ 12.1.038-82 [67]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2017 [68]
6. Раздражающие и токсические факторы	–	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 [69]

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 [66] представлены в таблице 18.

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 [69] приведены в таблицах 19 и 20.

Таблица 18 – 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 e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, м (не более)	Коэффициент пульсации освещенности, K_p , % (не более)
		При верхнем или комб. освещении	При боковом освещении	При верхнем или комб. Освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении		При общем освещении		
						Всего	От общего			
Аналитическая лаборатория	$\Gamma^*-0,8$	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500	40	10

Примечание: Γ^* – горизонтальная плоскость

Таблица 19 – Оптимальные величины показателей микроклимата в лаборатории

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

Таблица 20 – Допустимые величины показателей микроклимата в лаборатории

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C		Температура поверхностей, °C	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	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,2

В качестве категории работ выбрана категория Іб, 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.

Электрическое оборудование может ударить работника током. Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования.

Категория помещения по опасности поражения электрическим током относится к мало опасным помещениям, т.к. отсутствуют признаки и факторы, характерные для помещений с повышенной или особой опасностью.

Работа в лаборатории предполагает взаимодействие с различными реагентами, 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.

4.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Значения естественного и искусственного освещений необходимо довести до регламентных значений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [66]. 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 равные 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 [65].

Для предотвращения получения химических ожогов и раздражения кожных покровов согласно ГОСТ 12.4.011-89 [72] всех работников лаборатории при проведении экспериментов необходимо обеспечить такими индивидуальными средствами защиты, как 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 [68] 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.

4.3 Экологическая безопасность

4.3.1 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. Особо опасными для человека считаются свинец, ртуть и кадмий [73].

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.

4.3.2 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.

4.3.3 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.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Процесс разрушения полимерной составляющей жидкости гидроразрыва в призабойной зоне пласта и трещинах гидроразрыва не может вызвать какиелибо чрезвычайные ситуации (ЧС), так как данный процесс происходит глубоко под землей. В лаборатории в качестве возможного ЧС наиболее вероятный вид выступает пожар.

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

Согласно СП 12.13130.2009 [39] 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.

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, производятся только в исправных вытяжных шкафах.

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 используя покрывала из негорючих материалов, которые способны обеспечить надежное прекращение доступа кислорода к источнику возгорания [61].

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.

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 ОП-10) применяются при тушении нефтепродуктов и электроустановок,

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 [75].

Заключение по разделу

В данном разделе магистерской диссертации произведен анализ возможных опасных и вредных факторов при работе с деструкторами в лабораторных условиях, меры по их минимализации. Выявлены возможные чрезвычайные ситуации, действия по их устранению. Описаны мероприятия по обеспечению безопасности человека в процессе ведения производственной деятельности с сохранением его нормальной работоспособности и производительности, а также составлены рекомендации, выполнение которых необходимо для соблюдения требований по охране окружающей среды.

Заключение

Проведенный обзор литературных источников по тематике магистерской диссертации позволяет говорить о чрезвычайной важности и сложности проблемы, затрагиваемой в данной работе. Недоразрушение сшитого геля ГРП в пустотном пространстве проппантной пачки ведет к значительному снижению ее проницаемости и проводимости для поступающих из продуктивного пласта флюидов.

Зачастую это приводит к уменьшению продуктивности данной скважины, в случае, если она является добывающей, или же к снижению её приемистости, для случая, если рассматриваемая скважина нагнетательная. Но даже во втором варианте итогом является снижение общей продуктивности сетки скважин, в частности тех, что находятся в зависимом положении от данной нагнетательной скважины.

Поэтому, для того, чтобы загрязнение эффективного пустотного пространства было минимальным, требуется применять такие разновидности брейкеров, которые способны разрушать полимерную основу жидкости ГРП максимально качественно и с минимальными временными затратами.

Однако, у данного решения могут быть и отрицательные последствия. Подобные разновидности брейкеров могут начать действовать раньше срока, указанного в проектной документации. Это, безусловно, приведет к раннему разрушению части жидкости ГРП, что может стать причиной меньшей глубины проникновения трещины в породу-коллектор. При этом, трещина уже не сможет вместить в себя тот объем проппанта, который был запланирован проектом. Поэтому, после закрытия трещины, её ширина может быть намного меньше той требуемой ширины, которая позволила бы достичь наибольшего значения дебита добычи пластовых флюидов.

Из этого следует, что подбор наиболее эффективного с техникоэкономической точки зрения брейкера является немаловажным аспектом в процессе проектирования и осуществления операций гидроразрыва продуктивного пласта.

Список использованных источников

1. Рябоконт С.А. Жидкости-песконосители для гидроразрыва пласта / С.А. Рябоконт, А.С. Нечаев, Е.В. Чагай. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – 51 с.
2. Силин М.А. Анализ содержания бора в пластовых водах с целью оценки возможности применения этих вод для приготовления жидкости гидроразрыва пласта [Текст] / М.А. Силин, Л.А. Магадова, Л.А. Фёдорова // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 8. – С. 17-19.
3. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта / Р.Д. Каневская. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. – 212 с.
4. Кутлубулатов А.А. Влияние рецептуры геля гидроразрыва пласта на проводимость проппантной пачки / А.А. Кутлубулатов // Теория. Практика. Инновации. – 2018. – № 6 (30).
5. Economides M. J. Reservoir Stimulation / M. J. Economides, K. G. Nolte. – John Wiley & Sons, Inc., 2000.
6. Enzyme Breaker for Galactomannan Based Fracturing Fluid: US Patent № 5201370, 13.04.1993.
7. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E. Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. – 2002.
8. Rae P. Fracturing fluids and breaker systems / P. Rae, G. Lullo // SPE Eastern Regional Meeting. – 1996.
9. Reza Barati Ghahfarokhi. Fracturing fluid cleanup by controlled release of enzymes from polyelectrolyte complex nanoparticles / PhD dissertation. – University of Kansas, USA. – 2010.
10. 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.
11. Способ разрушения фильтрационных корок: патент РФ №2373250 / Харрис Р.Э., Маккей Я.Д.; Заявл 24.03.2005; Оpubл. 20.11.2009; Бюл. №32.

12. Lactide [электронный курс].– URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lactide> (дата обращения 31.01.2020).
13. Призабойная зона пласта, скважины [e-course] .– URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/burenie/141552-metody-uvelicheniya-proizvoditelnosti-skvazhin/> (appeal date 24/09/2019).
14. 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; Опубл. 20.11.2008; Бюл. №32.
15. Jeffrey C. Dawson; Hoang V. Le Controlled degradation of polymer based aqueous gels. U.S. Patent 5,447,199, 5 September 1995.
16. Андронов Ю.В., Стрекалов А.В. Исследование применения ансамблей нейронных сетей для повышения качества решения задач регрессии. Нефтегазовое дело, 2015. 13 (1). С. 50-55.
17. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта / Р.Д. Каневская. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. – 212 с.
18. Кутлубулатов А.А. Влияние рецептуры геля гидроразрыва пласта на проводимость проппантной пачки / А.А. Кутлубулатов // Теория. Практика. Инновации. – 2018. – № 6 (30).
19. Guar gum [электронный курс].– URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Guar_gum (дата обращения: 26.01.2020).
20. Martin Chaplin. Water Structure and Behavior: Guar Gum. London South Bank University. April 2012.
21. Lynn A. Kuntz. Special Effects With Gums. Food Product Design. December 1999.
22. New fluid technology allows fracturing without internal breakers / J. Weaver, E. Schmelzl, M. Jamieson, G. Schiffner // SPE Gas Technology Symposium. – 2002.
23. Economides M. J. Reservoir Stimulation / M. J. Economides, K. G. Nolte. – John Wiley & Sons, Inc., 2000.

24. Reza Barati Ghahfarokhi. Fracturing fluid cleanup by controlled release of enzymes from polyelectrolyte complex nanoparticles / PhD dissertation. – University of Kansas, USA. – 2010.
25. Enzyme breakers for breaking fracturing fluids and methods of making and use thereof: US patent No. 544109/ D. V. Satyanarayan Gupta, Brthicia B. Prasek, Richard D. Horn; Filed: 19.04.1994; Date of patent: 15.08.1995; Appl. No. 229870.
26. Fracturing Fluid Components [электронный курс]. – URL: <https://www.intechopen.com/books/effective-and-sustainable-hydraulic-fracturing/fracturing-fluid-components> (дата обращения: 29.01.2020).
27. Рябоконт С.А. Жидкости-песконосители для гидроразрыва пласта / С.А. Рябоконт, А.С. Нечаев, Е.В. Чагай. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – 51 с.
28. 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.
29. Sarwar, M. U. et.al. “Gel Degradation Studies of Oxidative and Enzyme Breakers to Optimize Breaker Type and Concentration for Effective Break Profiles at Low and Medium Temperature Ranges”, SPE 140520 Presented at the (2011). SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, January, The Woodlands, Texas., 24-26.
30. Bilden, D. M, & Montgomery, C. T. et.al.; “The Effect of Long-term Shut-in Periods on Fracture Conductivity” SPE 30493 presented at the (1995). SPE Annual Technical Conference, October., 22-25.
31. Sho-Wei Lo and Matthew J Miller “Encapsulated Breaker Release Rate at Hydrostatic Pressure and Elevated Temperatures”, SPE 77744 presented at the (2002). Annual Meeting and Exhibition 29 Sept- 2 Oct, San Antonio, Texas.
32. 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.

33. Крылов В.И. Выбор жидкостей для заканчивания и капитального ремонта скважин: учебное пособие / В.И. Крылов, В.В. Крецул. – М.: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 196 с.
34. Microemulsion and nanoemulsion breaker fluids with organic peroxides: US Patent № 9475980 B2, 25.10.2016.
35. Крылов В.И. Выбор жидкостей для заканчивания и капитального ремонта скважин: учебное пособие / В.И. Крылов, В.В. Крецул. – М.: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 196 с.
36. BrannonHarold et.al., “Enzyme Breaker Technologies: A Decade of Improved Well Stimulation”, SPE 84213 presented at the (2003). SPE Annual Technical Conference, Denver, Colorado October., 5-8.
37. Tayal, A.; Kelly, R.M.; Khan, S.A. Rheology and molecular weight changes during enzymatic degradation of a water-soluble polymer. *Macromolecules* 1999, 32, 294–300.
38. Cheng, Y.; Prud’homme, R.K. Reaction-diffusion of enzyme molecules in biopolymer matrices. *ACS Symp. Ser.* 2003, 840, 265–284.
39. Mahammad S., Prudhomme R.K., Roberts G.W., Khan S.A. Kinetics of enzymatic depolymerization of guar galactomannan. *Biomacromolecules* 2006, 7, 2583–2590.
40. MacCleary B.V., Critchley P., Bulpin P.V. Process of polysaccharides. U.S. Patent 5,234,825, 10 August 1993.
41. Bulpin P.V., Gidley M.J., Jeffcoat R., Underwood D.R. Development of a biotechnological process for the modification of galactomannan polymers with plant α -galactosidase. *Carbohydr. Polym.* 1990, 12, 155–168.
42. Shobha M.S., Tharanathan R.N. Rheological behavior of pullulanase-treated guar galactomannan on co-gelation with xanthan. *Food Hydr.* 2009, 23, 749–754.
43. Shobha M.S., Tharanathan R.N. Nonspecific activity of *Bacillus acidopullulyticus* pullulanase on debranching of guar galactomannan. *J. Agric. Food. Chem.* 2008, 56, 10858–10864.

44. Shobha M.S., Kumar A.B.V., Tharanathan R.N., Koka R., Gaonkar A.K. Modification of guar galactomannan with the aid of *Aspergillus niger* pectinase. *Carbohydr. Polym.* 2005, 62, 267–273.
45. Mahammad S., Comfort D.A., Kelly R.M., Khan S.A. Rheological properties of guar galactomannan solutions during hydrolysis with galactomannanase and alpha-galactosidase enzyme mixtures. *Biomacromolecules* 2007, 8, 949–956.
46. Thomas, T. L, & Elbel, J. L. The Use of Viscosity Stabilizers in High Temperature Fracturing” SPE 8344 presented at the (1979). SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, Nevada, Sept, 23-26.
47. Aqualon Technical Brochure 250-6109-07 “Guar and Guar Derivatives Oil and Gas Field Applications” 2007.
48. Halliburton Sales Brochure H07137 10/10 “CleanStream® Service-Ultraviolet Light Bacteria Control Process for Fracturing Fluid” 2010.
49. Базаревская В.Г. Перспективы разработки доманиковых отложений республики / В.Г. Базаревская, М.Х. Мусабилов, А.Ф. Яртиева // Особенности разведки и разработки месторождений нетрадиционных углеводородов: материалы Междунар. науч.–практ. конф. – Казань: Ихлас, 2015. – С. 122-125.
50. РД 153-39.0-865-14. Методическое руководство по опробированию доманиковых отложений вертикальных и горизонтальных скважин, по выбору технологий гидроразрыва пласта и кислотных обработок призабойной зоны: введен впервые / Р.Ш. Динмухамедов, К.М. Гарифов, Т.И. Тарасов, В.Г. Базаревская, А.Ф. Яртиева, Д.А. Тимиров, О.В. Преснякова; Институт «ТатНИПИнефть». – Бугульма, 2014. – 14 с.
51. Глотова В.Н., Новиков В.Т., Ушакова Т.В. Получение олигомера молочной кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 23 – 28.
52. Cornelus F. van Nostrum, Theo F.J. Veldhuis, Gert W. Bos, Wim E. Hennink. Hydrolytic degradation of oligo (lactic acid): a kinetic and mechanistic study. *Polymer* 45 (2004) 6779 – 6787.

53. Пат. 2338872 Россия МПК С09К №8/68. Способы и составы для разрушения загущенных жидкостей ГРИФФИН Дэвид Е. (US), ПОЛС Ричард В. (US), ХЭЙНС Роберт Э. мл. (US) Заявлено. 27.06.2006; Опубл. 20.11.2008, Бюл. №32. – 2 с.: ил.
54. Michael D. Parris; Andrey Mirakyan; Yiyang chen; Carlos Abad Viscosity reduction. U.S. Patent 7,678,745 B2, 16 Mar 2010.
55. Магадова Л.А., Силин М.А., Малкин Д.Н., Цыганков В.А., Савастеев В.Г. Технологии гидравлического разрыва пласта, снижающие риски увеличения обводненности скважины//Время колтюбинга. – № 3 (049). – 2014. – С. 38 – 46.
56. Burgos, N., Tolaguera, D., Fiori, S. et al. Synthesis and Characterization of Lactic Acid Oligomers: Evaluation of Performance as Poly(Lactic Acid) Plasticizers. J Polym Environ 22, 227–235 (2014).
57. Dean M. Willberg; Christopher N. Fredd; Marina Bulova Degradable fiber systems for stimulation. U.S. Patent 2012/0267103 A1, 25 October 2012.
58. Bastiaan Krins (Emmen); Jeroen Van Der Vlist (Eelde); Onno Lint (Beuningen) Method for treating a subterranean formation. U.S. Patent 9,822,298 10 October 2014.
59. Koichi Yoshimura, Hitoshi Matsui, Nobuo Morita. 2016. Development of Polyglycolic- and Polylactic-Acid Fluid-Loss-Control Materials for Fracturing Fluids. SPE Res Eng 30 (4): 295–309. SPE-168179-PA.
60. Chad Henry Kamann, Robert A. GREEN Polylactide fibers. U.S. Patent WO 2013/090652 A1, 20 June 2013.
61. Инструкция №13-107 по охране труда для работающих с химическими веществами. Научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы».
62. 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: 08.04.2020).

63. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
64. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
65. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
66. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
67. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
68. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
69. СанПиН 2.2.4.548-96 Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
70. 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: 10.04.2020).
71. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
72. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
73. 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.
74. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
75. Инструкция о мерах пожарной безопасности в научно-инновационной лаборатории «Буровые промывочные и тампонажные растворы».

Приложение А
(справочное)



Рисунок А.1. Модельная жидкость ГРП: лево – без сшивателя; право – при добавлении сшивателя



Рисунок А.2. Сшитый гель под действием молочной кислоты: лево – при концентрации 8%; право – при концентрации 15%;



Рисунок А.3. Сшитый гель под действием лимонной кислоты: лево – при концентрации 8%; право – при концентрации 15%



Рисунок А.4. Сшитый гель под действием гликолевой кислоты: лево – при концентрации 8%; право – при концентрации 15%



Рисунок А.5. Сшитый гель под действием винной кислоты: лево – при концентрации 8%; право – при концентрации 15%



Рисунок А.9. Сшитый гель под действием смеси лимонной и гликолевой кислот 8% концентрации

Приложение Б

(справочное)

Таблица Б.1 – Результаты первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны исследовательского проекта: С1.Бюджетное финансирование; С2.Квалифицированный персонал; С3.Предварение практического применения в промышленных условиях; С4.Современное оборудование.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Использование упрощенных моделей при проведении экспериментов; Сл2.Отсутствие оборудования для значительной точности моделирования пластовых условий; Сл3.Необходимость закупки расходных материалов и реагентов; Сл4.Отсутствие весомого опыта в области разрушения полимеров.
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2.Сотрудничество с предприятиями – потенциальными потребителями технологии; В3.Получение гранта для последующих исследований; В4.Увеличение стоимости конкурентных исследований.		
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на результаты исследования; У2.Развитие более эффективных аналогов данного проекта у конкурентов; У3.Урезание бюджета исследования; У4.Влияние упрощенных моделей на результаты исследований.		

Таблица Б.2 – Результаты третьего этапа SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Бюджетное финансирование; С2. Квалифицированный персонал; С3. Предварение практического применения в промысловых условиях; С4. Современное оборудование.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Использование упрощенных моделей при проведении экспериментов; Сл2. Отсутствие оборудования для значительной точности моделирования пластовых условий; Сл3. Необходимость закупки расходных материалов и реагентов; Сл4. Отсутствие весомого опыта в области разрушения полимеров.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2. Сотрудничество с предприятиями – потенциальными потребителями технологии; В3. Получение гранта для последующих исследований; В4. Увеличение стоимости конкурентных исследований.</p>	<p>«Сильные стороны и возможности»: В1С2С3 – проведение исследований в рамках проекта осуществляется на базе научно-исследовательской лаборатории ТПУ, допуск к которой имеет высококвалифицированный персонал; оборудование лаборатории позволяет произвести качественную оценку характеристик рабочих жидкостей гидроразрыва, а также исследовать влияние обработок их различными реагентами-брейкерами до наступления этапа закачки данных реагентов в скважину; В2С2С3С4 – квалифицированный персонал наряду с современным оборудованием выступают гарантом качества проводимых работ; практическая значимость исследований может привлечь внимание нефтегазодобывающих предприятий – потенциальных потребителей данной технологии;</p>	<p>«Слабые стороны и возможности»: В2Сл4 – возможно обоюдное получение опыта научным персоналом предприятия-потребителя и сотрудниками научно-исследовательской лаборатории при налаживании контактов; В3Сл2Сл3 – возможно финансирование закупки дополнительного исследовательского оборудования, основанного на моделях значительной точности, а также выделение денежных средств на приобретение расходных материалов и реагентов.</p>

Продолжение таблицы Б.2

	<p>ВЗС2С3С4 – научный потенциал сотрудников научно-исследовательской лаборатории, подкрепляемый наличием современной материально-технической базы и актуальностью проблемы, может стать серьезным аргументом в пользу выделения дополнительных инвестиций в виде гранта для исследований.</p>	
<p>Угрозы: У1.Отсутствие спроса на результаты исследования; У2.Развитие более эффективных аналогов данного проекта у конкурентов; У3.Урезание бюджета исследования; У4.Влияние упрощенных моделей на результаты исследований.</p>	<p>«Сильные стороны и угрозы»: У2С2С4 – технологии конкурентов, направленные на исследования в аналогичной области знаний, могут быть значительно эффективнее в случае, если они обеспечиваются более квалифицированным персоналом, а также намного более точным и оборудованием, при помощи которого возможно моделировать рабочие условия, максимально приближенные к реальным;</p>	<p>«Слабые стороны и угрозы»: У1Сл1Сл2 – данные исследования могут не иметь практической значимости для заказчиков из-за применяемых упрощений; У2Сл1Сл2Сл4 – неполные моделируемые условия, упрощения и отсутствие практических навыков в области разрушения полимеров могут привести к значительному продвижению исследований конкурентов; У3Сл3 – снижение финансирования может остановить исследования вследствие невозможности закупки реагентов и расходных материалов; У4Сл1Сл2 – принятие сильно упрощенных моделей реальных условий при проведении экспериментов может привести к получению некорректных результатов.</p>

Приложение В

(справочное)

Research on the effectiveness of breakers for fracturing fluids

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Ермалюк Даниил Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения иностраннных языков	Гутарева Надежда Юрьевна	к.п.н.		

Introduction

Over the past decade, due to environmental, economic, and safety problems, biodegradable materials have been used to replace some of the traditional petrochemical-based materials.

Nowadays, along with technological development, used polymer products are reducing and biodegradable polymers become the most promising materials, which can be decomposed after being used to form safe substances, such as water, gas (CO_2 , N_2), and biomass [7].

Biodegradable polymers exist in natural and synthetic species and mostly consist of amide, ester, and ester functional groups. The properties and decomposition mechanism of polymers depend on their molecular structures.

Currently, the production of biodegradable polymers has these main advantages:

- possible to process on a standard equipment;
- resist to decompose under ordinary conditions, but able to be created, especially in natural conditions they are decomposed quickly and completely;
- independent from petrochemical feedstocks;
- eco-friendly.

At present, there are four major groups of biodegradable polymers that have been proposed in the world:

- Polymers isolated from biomass and natural polymers derived from natural resources: starch, cellulose, proteins;
- Polymers produced by microorganisms using biotechnological methods during their life (bacterial cellulose, polyhydroxyalkanoates);
- Polymers synthesis from natural monomers, such as polylactides;
- Traditional synthetic polymers with biodegradable additives introduced into them [8].

Such polymers are typically obtained by polycondensation, ring-opening polymerization, and the presence of metal catalysts or catalyzed fermentation. Biodegradable polymers have wide applications.

Currently, the use of biodegradable polymers as destructors in hydraulic fracturing fluids is a new direction in the field of hydraulic fracturing fluids. Biodegradable polymers have following properties: biodegradability, acceptable mechanical, physicochemical properties required for hydraulic fracturing fluids. Promising biodegradable materials that meet these requirements are biodegradable polymers based on lactic acids, such as polylactide (polylactic acid), which is hydrolyzed in water and releases of lactic acid [9].

1.1 Lactic acid

Lactic acid with molecular formula $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$ is α -hydroxypropionic or 2-hydroxypropanoic acid. Salt of lactic acid is called lactate. Lactic acid can be obtained from lactic fermentation of sugar, fermentation of beer and wine, as well as from sour milk.

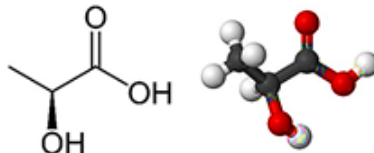


Figure 1. The molecular structure of lactic acid

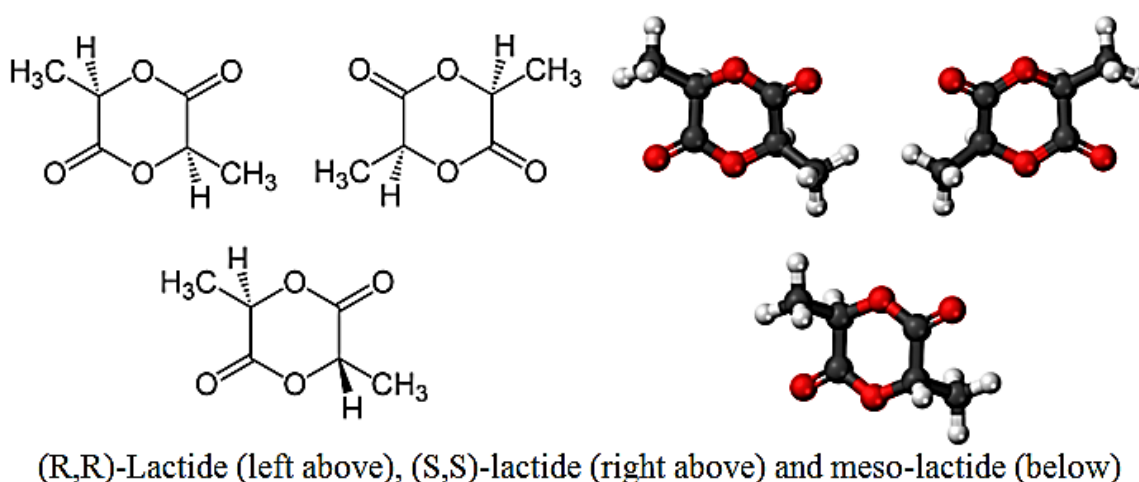
Lactic acid is characterized by a chiral centre in molecule; therefore, there are two types of optical isomers: D- and L- lactic acid with different physicochemical properties [10].

After the process completes, the drilling fluid is replaced with a liquid that does not contain solids. The liquid as lactic acid is pumped into the well. Lactic acid can dissolve substances, such as calcium, dolomite, etc., contained in the filter cake or in the adjacent formation. It violates the integrity of the filter cake in the crack and gives a more efficient passage of hydrocarbons into the well during their injection and production from the well [11].

Studying the effect of lactic acid is an important field for the further use of the biodegradable destructors based on it in the composition of the hydraulic fracturing fluid.

1.2 Lactide

Lactide is a cyclic lactone diester derived from lactic acid (2-hydroxypropionic acid). With the formula $(\text{CH}_3\text{CHCOO})_2$, it exists in three different stereoisomeric forms, as shown in Figure 2. All are colourless or white solids. Lactide aroused great interest because it is obtained from abundant renewable resources and is a precursor to a polymer similar to polystyrene, but biodegradable [12].



(R,R)-Lactide (left above), (S,S)-lactide (right above) and meso-lactide (below)

Figure 2. The molecular structure of lactide.

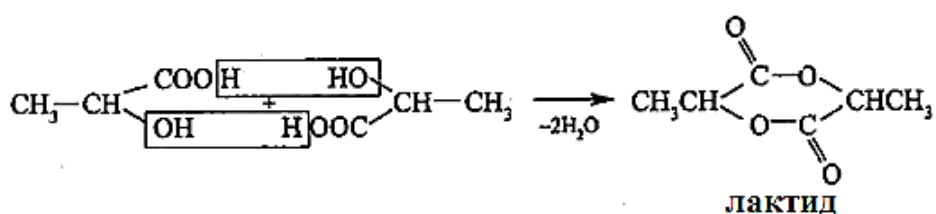


Figure 3. The reaction of the formation of lactide from lactic acid

1.3 Lactic Acid Oligomer

Lactic acid oligomers are intermediate in the concentration of an aqueous solution of lactic acid and its further polycondensation under certain conditions for the synthesis of polylactide [51]. The process of polycondensation of lactic acid and the formation of its oligomer is presented in Figure 4.

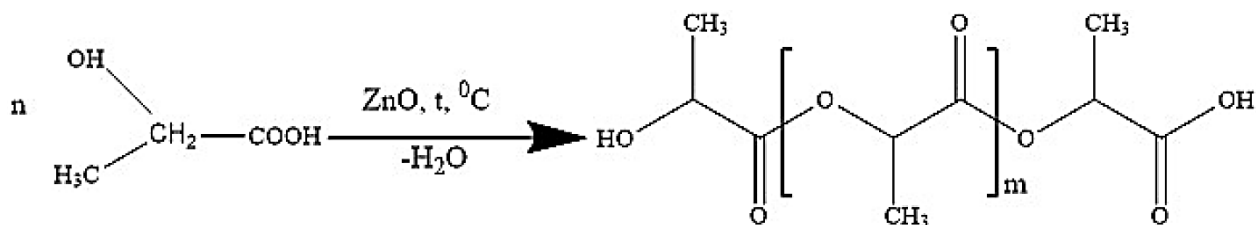


Figure 4. Scheme of the condensational process of lactic acid and the formation of an oligomer

The lactic acid oligomer decomposes as a result of hydrolysis of the ester bonds. The decomposition rate depends on the molecular weight of the oligomer (1000-10000 g/mol). In the process of hydrolysis, water penetrates faster than the rate of hydrolysis of the ester bonds, which means that hydrolysis occurs homogeneously through the matrix of the material. The dissolution of oligomer begins when molecular weight decreases to a certain level and, as a result, soluble decomposition products are formed. Carboxyl and hydroxyl functional groups at the both ends of the oligomer are also important hydrolysis catalysts. However, the rate of hydrolysis is also affected by many factors, including water availability, molecular mobility, local dielectric constant, local pH, and so on [52].

In addition, lactic acid oligomers are soluble in water. Hydrolysis of the soluble oligomers mainly forms lactoylactate, then gradually decomposes into lactic acid. At physiological pH and temperature, the cleavage of carbonate-ester bonds decomposes the milk chains of oligomers into monomers. From the degradation profiles, it was concluded that at $\text{pH} \leq 2$, the limit ester bond was the most labile, and the penultimate ester bond was predominantly hydrolyzed at a neutral or alkaline pH, which led to the phased removal of lactoylactate, probably through its cyclic dimer (i.e., lactide which further decomposes into lactic acid). This last phenomenon was explained by the slander mechanism, which is shown in Figure 5. This can be explained by the fact that the larger the number of the ester bonds in the oligomer is, the greater the probability of an accidental chain cleavage is [52].

As soon as one of the ester bonds is hydrolyzed, a shorter oligomer with a free terminal hydroxyl group is formed, this product can be rapidly hydrolyzed via reverse binding.

It should be emphasized that the mechanism of malocclusion described here is a typical phenomenon of the lactic acid oligomers in an aqueous medium [52].

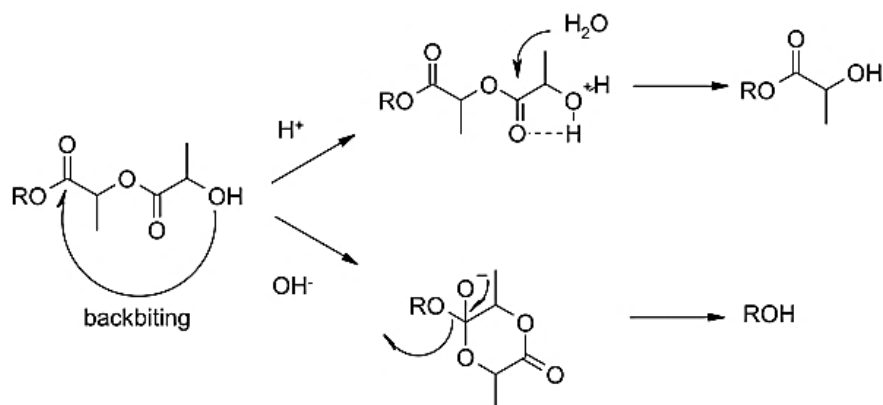


Figure 5. Degradation of oligo(lactic acid) by chain end scission. Backbiting is catalyzed by hydroxyl ions

1.4 Polylactic acid (polylactide)

Unlike many other polymers, biodegradable polymers can be decomposed in the environmental conditions by microorganisms, such as bacteria or fungi, etc. However, the rate of biodegradation is low, usually over a period of several months. To accelerate the rate of biodegradation, the activators with appropriate concentrations are used depending on the type of polymers and decomposition conditions. All the decomposition products and residues should be tested for their toxic safety.

Polylactic acid (polylactide) is a biodegradable aliphatic polyester that has thermoplastic property and ability to decompose to the ecofriendly products under the influence of moisture, light or corresponding microorganisms.

Polylactic acid is an alternative to traditional polymers as they can be obtained from renewable plant products, mainly from glucose [7, 9].

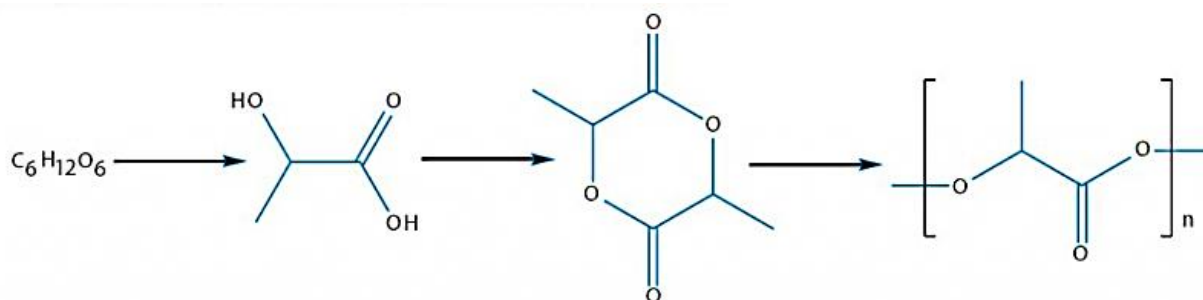


Figure 6. Scheme of the formation of polylactic acid, lactide and polylactide

The ratio of D- and L-isomers in lactic acid has effects on essential characteristics, such as rate of degradation, brittleness, hardness, viscosity and solubility of solution. Therefore, a material with the desired physical properties can be obtained by adjusting a ratio of the optical isomers of lactic acid in a polymer chain [9].

The molecules of polylactic acid contain ester groups, so they can gradually hydrolyze under relatively mild conditions, forming lactic acids, predominantly interacting with carbonate to form soluble salts. Liquid for SCR with high content of hydrolyzed polymers based on lactic acid is mainly used at high temperatures from 80°C to 170°C [12].

In general, polylactic acid and other polymers based on lactic acid monomers were slowly hydrolyzed. Therefore, such solid polymers can remain in filter cake until a significant amount of acid is formed.

An increase in the rate of hydrolysis of polylactide can be carried out by introducing specific chemicals into polyesters, such as quaternary ammonium compounds or diethylene glycol, triethylene glycol, poly (ethylene glycol) to increase hydrophilicity of polylactide [11].

The polylactide resin can be coated with closure, such as epoxide, carbodiimide or oxazoline compound, to reduce and/or increase the number of carboxyl end groups. Similarly, polylactide resin can be reacted with a compound, such as carboxylic anhydride, to increase the number of carboxyl end groups. An increase in the number of carboxyl end groups can increase decomposition rate; therefore, the amount of these closures can be used in some cases to adjust decomposition rate to the desired value [60].

The metabolic correlation between lactic acid, lactide and polylactide is shown in Figure 7.

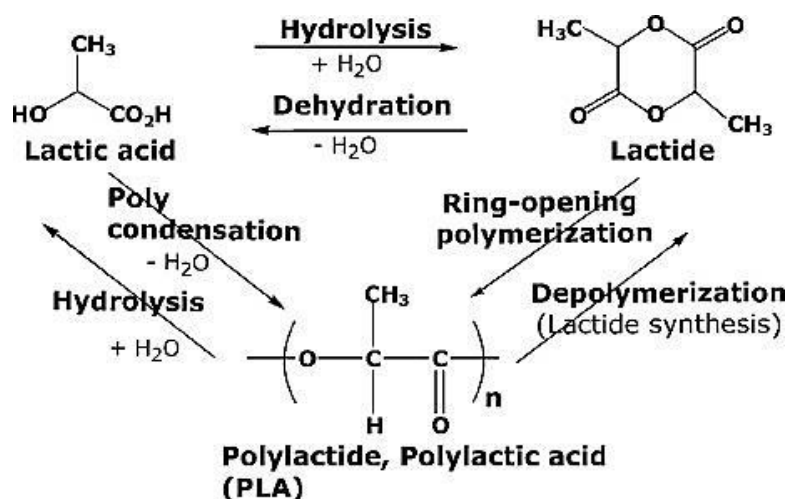


Figure 7. Metabolic correlation between lactic acid, lactide and polylactide

Poly lactide is one of the most studied biodegradable polymers, as it is a compostable and non-toxic thermoplastic polyester obtained by controlled polymerization of lactic acid. Poly lactide has great biocompatibility, manufacturability is less energy-dependent and provides good properties at a competitive price [56].

In 2012, Schlumberger Technology Corporation proposed a method of minimizing the amount of metal-crosslinked thickener needed to treat a wellbore with proppant or gravel. The method includes the use of the fibers to facilitate transport, suspension and placement of proppant or gravel in viscous carrier fluids, otherwise having insufficient viscosity to prevent particle deposition. The suitable fibers are selected from substituted and unsubstituted lactide, polylactic acid, lactic acid copolymers, polylactic acid copolymers and with other groups containing hydroxy, carboxylic or hydroxycarboxylic acids. Typically, the fibers have a length of from about 2 mm to about 25 mm, preferably from about 3 mm to about 18 mm. A fiber decomposes at a formation temperature beyond time from about 4 hours to 100 days. The fibers having those properties are optimized for proppant transport, however, it will be decomposed after the process of decomposition products that do not precipitate when there are ions in water, such as calcium and magnesium. The fluids with crosslinked polymeric have been defined not to be damaged by contaminants present in fibers or decomposition products released during the early destruction of the fibers [57].

In 2014, SENBIS POLYMER INNOVATIONS B.V. (Emmen) developed a method of a treating subterranean formation at temperatures of at least 150 ° C, the method comprising introducing a fracturing fluid under pressure, including proppants and hard tubules, to create cracks in the subterranean formation where tubules include solids (polylactide) obtained from the mixture of poly L-lactic acid (PLLA) and poly D-lactic acid (PDLA) in solution or in molten state to obtain a stereo complex polylactic acid (sc-PLA), which exhibits a melting point in the range of 200 - 230°C. In this, the mass ratio of PLLA and PDLA in the mixture of PLLA and PDLA is the most preferably in the range from 45:55 to 55:45. The stereo complex PDLA and PLLA has higher melting point than polylactic acid, which has not undergone such processing [58].

In 2016, Waseda University of Japan developed powder, granular, and fibrous materials made from polyglycolic acid or polylactic acid, very suitable for agents promoting fluid loss, since polyglycolic acid is stronger than steel, and polylactic acid is as strong as a rock, although they dissolve as an acidic liquid after use. Fluid loss tests are carried out by using standard American Petroleum Institute slit tester and filtrate loss tester, mixing powders, grains and fibers, all of which are made of polyglycolic or polylactic acid in fracturing fluids. The ratio of the grains, powder and fiber is optimized to minimize fluid loss for porous media and fractured porous media. Then, particle size changes are measured under heating conditions. Fracture modelling studies are also carried out by using three-dimensional model of fracture boundary element to compare fracture fluid efficiency with and without polyglycolic and polylactic acid particles. The results show that it is possible to prevent fluid loss and clogging of microcracks remaining for the porous filters and small slots for a reasonable period of time. For short-term use of fewer than 3 hours, agents that promote fluid loss, both polyglycolic acid and polylactic acid, are stable at temperatures below 212°F (100°C). Mixing these materials often provides more effective properties to reduce fluid loss and eliminate microcracks. After the experiments, no residue remains on the condition that the fracturing fluid is kept for 24 hours. The necessary amount of the fluid loss agents of polyglycolic and

polylactic acids to reduce fluid loss is not significant. Consequently, their local application is feasible on the basis of cost and benefit. The advantage of using these materials is that after use they are converted from solid to liquid so that no damage to the formation and proppant conductivity occurs. Fluid loss is also significantly reduced with the powder particles. In addition, since the polyglycolic and polylactic acid materials decompose, the solids of the arbitrary sizes and shapes can be used if they control fluid loss and clog small cracks. Their use is not only limited by the reduction of fluid losses, but they can also be used to design a fracture to increase fracture conductivity [59].

The study of lactic acids effect is an important area for further use of the biodegradable destructors based on lactic acid and specific polylactide in the composition of the hydraulic fracturing fluid.

2. Identification of the processes of physical and chemical destruction of the polymer component of hydraulic fracturing

All processes of destruction can be divided into groups of physical and chemical processes. These two groups include the types of destruction, which will be discussed further in more detail.

2.1 Physical destruction

Processes related to the physical degradation of polymers occur under the influence of various physical factors (thermal, mechanical, photo and radiation destruction) [23].

2.1.1 Thermal destruction

When heated, polymers undergo a variety of transformations, accompanied by the formation of gaseous and liquid products, color change, etc.

The resistance of a polymer to thermal exposure determines its heat resistance. Typically, heat resistance is estimated by the temperature at which a marked decomposition of the polymer begins, by decomposition products, and by the kinetics of the process [23].

When the polymer is heated in some parts of the system, the energy of thermal motion becomes comparable with the energy of the chemical bond, and the

bond is broken. It is obvious that a very important factor determining the heat resistance of a polymer is the magnitude of the binding energies between the atoms in the main chain.

The temperature of the polymer is affected by:

- presence of various elements in the macromolecule;
- increase the degree of branching of polymers;
- presence of substituents in the molecule.

2.1.2 Mechanical destruction

Mechanical destruction of polymers is a decrease in the molecular weight of polymers under mechanical stress caused by breaks of elastically deformed macromolecules. As far back as the thirties of the last century, G. Staudinger's research [118] showed that with repeated passing of polymer solutions through a capillary, their viscosity due to the destruction of macromolecules decreases [22].

Domestic and foreign scientists, continuing the work of G. Staudinger, found that the molecular breakdown during mechanical destruction leads to the formation of macroradicals, as a result of which the molecular weight and structure of the polymer change.

Mechanical destruction is one of the types of mechanochemical transformations of polymers and one of the most practically important types of degradation of polymers. Destruction occurs as a result of mechanical stresses that occur during mechanical loading of the polymer during processing or during operation. Macromolecule breaks can also occur when freezing aqueous solutions of polymers, under the action of ultrasound, etc. The destruction of macromolecules of linear and three-dimensional polymers in a viscous, highly elastic state, as well as macromolecules in dilute and concentrated solutions of polymers occurs under the action of relatively small stresses [22].

The main cause of mechanical destruction is the uneven distribution of stresses across individual bonds and the existence of "overstressed" sections of chains where the true loads are close to the ultimate tensile strength of chemical bonds. Overstresses occur due to differences in the direction and magnitude of the internal

friction forces acting on individual segments of the polymer chains. In turn, the forces of internal friction arise under the action of a pressure gradient in a liquid medium. These forces are characterized by shear stress.

The degradation of a polymer chain during mechanical destruction is of a thermal-fluctuation nature, since the shear stress in the solution flow weakens the activation energy of a mechanical breaking of bonds. Increasing the temperature also weakens the activation energy. Thus, shear stress, which quantitatively reflects the forces of internal friction in a specific region of the polymer solution flow, acts as the main factor of mechanical destruction [22].

2.1.3 Photodestruction

The destruction of polymers can occur when they are illuminated with visible ($\lambda = 400\text{-}800$ nm) and especially ultraviolet ($\lambda = 180\text{-}400$ nm) radiation. Of particular importance is the illumination of sunlight containing ultraviolet radiation with $\lambda \geq 270$ nm. Absorption of light by polymer macromolecules leads to photoexcitation (the transition of electrons to non-bonding and loosening orbitals); then the bonds are broken (usually homolytic), i.e. the destruction begins.

Photochemical destruction is greatly facilitated if photosensitizers and photoinitiators are present in the polymer. Photosensitizers readily absorb light and transfer photoexcitation energy to polymer macromolecules. When illuminated, photoinitiators easily form radicals, which further initiate polymer degradation. Peroxides and azo compounds can serve as photoinitiators.

Photo stabilizers act in the opposite direction - compounds that slow down the photodestruction of polymers. Photo stabilizers easily absorb light radiation, however, unlike photosensitizers, they do not transfer photoexcitation energy to macromolecules, but emit it in the form of heat or low energy radiation. Thus, the photo stabilizers act as “interceptors” and “scatterers” of radiation [23].

2.1.4 Radiation destruction

Destruction occurs under the action of high-energy radiation on polymers - α , β , γ , and also X-ray. As with photodestruction, first the macromolecules are excited, and then the destruction, the paths of which are diverse: both a decrease in molecular

weight (i.e., total destruction) and its increase due to crosslinking of terminal macroradicals are possible. On the other hand, using metered radioactive radiation, it is possible to carry out a useful modification of the polymer, for example, to increase heat resistance and chemical resistance [23].

2.2 Chemical destruction

Since crosslinking in the presence of a boron crosslinker occurs in an alkaline medium (pH range from 8 to 12 units), the destruction of the gel structures obtained, as well as the breaking of bonds between the polymer and boron, must occur in an acidic medium. Therefore, all types of breakers, whose action is based on the principles of chemical degradation, are effective in an acidic or neutral environment [11, 23].

Chemical destruction is carried out by exposing the object under consideration with various chemical reagents. The number of reagents, the use of which is possible the implementation of these processes include:

- inorganic and organic acids;
- oxidizers;
- enzymes;
- biological destructors.

2.2.1 Destruction when processing inorganic and organic acids

The most rapid destruction of the fracturing gel will occur as a result of the acid treatment that follows this process. The action of acid solutions is based on hydrolysis processes. The range of temperature limits of applicability of this type of breakers is in the range from 45 to 120 ° C.

The most common variety of inorganic acids used in practice is hydrochloric acid solution with concentrations from 5 to 28% (mass.). This solution can be used alone or in conjunction with organic acids. However, the use of inorganic acids leads to many negative consequences associated, for example, with the active corrosion of equipment and the formation of a significant mass of insoluble sediment upon contact with the polymer and formation rocks.

The results obtained in [11] prove the assumption that when hydrochloric acid is added, the complex bonds between the polymer chains and boron are broken.

It is also necessary to take into account that acids destroy the proppant and can have a negative impact on the conductivity of the cracks obtained, therefore, it is necessary to develop special, “sparing” acid compositions for more complete destruction of the cross-linked polysaccharide gel [11].

Weak organic acids also find use as destructors, but if the acid is in contact with carbonate in the formation, the breaker will react with the formation earlier than with the fracturing fluid.

The disadvantages of all types of acids include the loss of reactivity upon dilution, neutralization, or premature reaction with the formation rocks and the polymer base of the fracturing fluid [24].

The disadvantage of weak acid solutions is the possibility of sedimentation of particles soluble at low pH values, but insoluble at pH values close to neutral. To eliminate this drawback, weak solutions of acids can be used together with chelate compounds [24].

2.2.2 Destruction by adding oxidizing agents

The group of oxidative-type destructors includes reagents such as hypochlorites, perborates, peroxides, and persulfates. Oxidizers react with biopolymers in the temperature range from 25 to 95 ° C.

The process of destruction with the use of oxidizing agents is that they “give up” oxygen, which chemically interacts and decomposes the polymer base of the fracturing fluid. It is also worth noting the fact that the reactivity of breakers of this type substantially decreases after the reaction [24].

Oxidants can be used as stand-alone destructors, or in conjunction with inorganic and organic acids (treatment stages or directly in mixtures).

The reaction rate of various oxidizing agents depends on the temperature. If the temperature of the reaction medium is less than 40 - 50 ° C, this process is rather slow. According to studies [11, 24], the reaction rate increases approximately 4 times with increasing temperature by 10 ° C.

The disadvantages of oxidizing agents include their corrosivity, the ability to react with clays, and also to form emulsions [24].

However, there are works in which the last of the above disadvantages (the formation of emulsions) is used for better destruction of hydraulic fracturing fluid. Thus, in [30], the authors propose the use of organic peroxides, give their possible compositions, as well as processing methods. The introduction of these substances is offered in the form of micro- and nano-emulsions.

The use of breakers in this form allows to refer them to a variety of internal fracture fluid fracturing. This means that the process of reducing the viscosity of the cross-linked gel, as well as its complete destruction, is slow. The delay in fracture of the fracturing fluid allows it to maintain its high transport capacity, which significantly increases the efficiency of the hydraulic fracturing operation.

The authors of [30] state that the use of organic oxidizing agents in the form of micro- and nano-emulsions makes it possible to achieve a significant acceleration of the process of destruction of the polymer base of the hydraulic fracturing fluid. For this method, the time of destruction is from 1 to 16 hours, therefore, the authors of [30] note it in comparison with other means and methods of destruction of crosslinked fracturing gels, for which data the indicator most often exceeds 48 hours.

2.2.3 Enzyme degradation

Enzymes are known as natural catalysts for biological processes. These frac fluid breakers are large protein molecules that are made up of chains of amino acids. The simplest enzymes can contain less than 150 amino acids. At the same time, complex enzymes, which are the most typical representatives of this group of substances, according to various data, can consist of 400-500 amino acids [24].

This type of destructor is specific for certain groups of polymers. For certain types of enzymes, this property is expressed in the activation of the process of destruction only in the presence of a specific biopolymer in the reaction medium. At the same time, only this polymer is destroyed. For the destruction of another polymer requires the introduction of an additional amount of enzyme capable of reacting with it.

Depending on the type of reaction, the catalyst of which are enzymes, it is possible to distinguish the following types of them [9, 12]:

- oxidoreductases (catalyze redox reactions);
- transferases (contribute to the movement of an element of one molecule in the composition of another);
- hydrolases (catalyze the cleavage of the bond under the action of water);
- lyases (responsible for adding or removing a double bond); – isomerases (activate intermolecular rearrangement);
- ligases (produce a combination of substrates).

This type of breakers has a catalytic effect on the degradation process of the biopolymer during the formation of the enzyme-substrate complex.

The advantages of enzymes include their corrosion safety, since they do not react with metals and, therefore, do not form insoluble precipitates with them, which can lead to an additional decrease in the fracture conductivity.

Another advantage of this type of breakers is their catalytic nature. Being in essence catalysts of the process of destruction, during its course, enzymes are practically not consumed. Therefore, they can effectively destroy biopolymer compounds until the operating conditions of the reaction medium are maintained [9, 24].

The significant sensitivity of enzymes to the medium in which the destruction process takes place is one of the main disadvantages of these substances. Among the factors that determine the efficiency of enzymes, can be attributed a narrow temperature range of applicability (from 4 to 95 ° C). Another important factor in the use of enzymes in practice is a small working range for the pH of the reaction medium, ranging from 3 to 8 units, optimally 5 units [11].

There are works [9, 25, 26] of foreign researchers in the direction of assessing the effective use of enzymes as destructors of fracturing fluids. In [9], the possibility of using special polyelectrolytic complexes of nanoparticles as a means of

enzymedelivery and their protection from the early negative effects of the reaction medium was especially noted.

In the study [26], the idea of using mixtures of several enzymes destroying the structure of a crosslinked fracturing fluid based on guar and its derivatives in several ways is put forward. The first of these is the "cutting off" of the lateral galactose units. The second way is to break the main mannose chain into several parts. The third option also consists in acting on the mannose chain, however, it differs from the second one in the gradual detachment of the extreme mannose elements from the main chain.

Conclusion

The process of fracturing fluid fracturing is carried out by the destructors present in its composition. Therefore, choosing the type of the destructors plays a very important role in the process of a hydraulic fracturing fluid removal, providing maximum efficiency with minimal materials and time costs.

The study of destruction of crosslinked gel with lactic acid has shown a positive result, which will allow further rising of using the biodegradable polymers based on lactic acid monomer as a destructor in hydraulic fracturing fluids.

The use of the biodegradable polymers, such as lactic acid oligomers, polylactide in the composition of hydraulic fracturing fluids, is a promising way to partially replace traditional petrochemical-based materials.