

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Лабораторное моделирование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений (ХМАО)

УДК: 553.982-026.564.3:536.5(571.122)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ04	Мазурова Александра Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Хомяков И.С.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИЯ	Матвеев И.А.	д.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Зятиков П.Н.	д.т.н.		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
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>владеть 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)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Зятиков П.Н.
 (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
2БМ04	Мазуровой Александре Сергеевне

Тема работы:

Лабораторное моделирование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений (ХМАО)	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 64-40/с от 05.03.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Керновый материал баженовской свиты Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений, сведения. Технология внутрислоевого пиролиза. Проект разработки Мамонтовского нефтяного месторождения и технологическая схема разработки Приобского нефтяного месторождения. Фондовая и научная литература; нормативные документы</p>
---	---

<p>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></p>	<p>Особенности геологического строения и нефтегазоносность баженовской свиты. Техника и технология добычи нефти из сланцевых коллекторов. Отечественный опыт лабораторного моделирования внутрипластового пиролиза. Геологическое строение Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений. Исследование влияния теплового воздействия на фильтрационно-емкостные свойства пород пласта Ю₀ с целью подбора оптимальной температуры проведения внутрипластового пиролиза на Мамонтовском нефтяном и Приобском нефтяном месторождениях. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Необходимость в графических материалах отсутствует.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Профессор отделения нефтегазового дела, д.э.н., Шарф И.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент отделения общетехнических дисциплин, к.т.н. Сечин А.А.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Профессор отделения иностранных языков, д.ф.н. Матвеев И.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Research methodology of thermal effects on the Bazhenov Formation rocks</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>14.03.2022</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Хомяков Иван Сергеевич	к.х.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ04	Мазурова Александра Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ04	Мазурова Александра Сергеевна

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов для проведения исследований по определению эффективности теплового воздействия на горные породы баженовской свиты с целью увеличения нефтеотдачи.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	РД 153-39-007-96 Регламент составления проектных технологических документов на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 26.03.2022

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспектив теплового воздействия на горные породы баженовской свиты с целью увеличения нефтеотдачи пласта.
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет затрат на оборудование, материалы, амортизационные отчисления, заработную плату, страховые взносы и накладные расходы на проведение исследования
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности теплового воздействия на горные породы баженовской свиты с целью увеличения нефтеотдачи пласта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Временные показатели исследования.
2. Диаграмма Ганта.
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ04	Мазурова Александра Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2БМ04		Мазурова Александра Сергеевна	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» / «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Тема ВКР:

<i>Лабораторное моделирование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений (ХМАО)</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> керн пласта Ю₀ Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.</p> <p><i>Область применения:</i> проектирование внутрипластового пиролиза для повышения нефтеотдачи пласта Ю₀ Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория.</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 5*8 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> лабораторная щековая дробилка, сита, электронные весы, сушильный шкаф, муфельная печь, эксикатор, сланцевый пермеаметр матричного типа SMP-200, пиролизатор горных пород ROCK-EVAL 6 Turbo.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> дробление керна, просеивание керна, определение массы навесок образцов, термообработка образцов керна, определение петрофизических свойств образцов, геохимические исследования образцов.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности <u>при разработке проектного решения:</u></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>ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p>

<p>2. Производственная безопасность <u>при разработке проектного решения:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Повышенный уровень шума; 3. Отсутствие или недостаток естественного света; 4. Недостаток искусственной освещенности, прямая и отраженная слепящая блескость, пульсация освещенности. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Действие вредных веществ на организм. <p>Средства коллективной и индивидуальной защиты:</p> <p>Очки, перчатки, защитные халаты, защитные маски, предупредительные таблички, вытяжка, принудительная вытяжка, приточно-вытяжной шкаф.</p> <p>Расчет системы общего равномерного искусственного освещения.</p>	
<p>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Воздействие на атмосферу: выброс углеводородных газов.</p> <p>Воздействие на гидросферу: загрязнение подземных вод.</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение почвы химическими веществами.</p>	
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Природные ЧС (гроза, молния).</p> <p>ЧС в лаборатории (пожар, взрыв).</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>	
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>		<p>14.03.2022</p>

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ04	Мазурова Александра Сергеевна		

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

Школа	<u>Инженерная школа природных ресурсов</u>
Направление подготовки (специальность)	<u>21.03.01 Нефтегазовое дело</u>
Уровень образования	<u>Высшее образование</u>
Отделение школы (НОЦ)	<u>Отделение нефтегазового дела</u>
Период выполнения	<u>Весенний семестр 2021 /2022 учебного года</u>

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2022	<i>Изучение нефтяных сланцевых формаций и существующих технологий добычи нефти из них</i>	20
30.04.2022	<i>Изучение особенностей геологического строения и анализ текущего состояния разработки Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений</i>	10
15.05.2022	<i>Описание методики исследования</i>	20
05.06.2022	<i>Интерпретация полученных результатов исследования</i>	20
01.05.2022	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
20.04.2022	<i>Социальная ответственность</i>	10
15.05.2022	<i>Иностранный язык</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Хомяков Иван Сергеевич	к.х.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Зятиков Павел Николаевич	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 126 страниц, 35 рисунков, 30 таблиц, 96 литературных источников, 7 приложений.

Выпускная квалификационная работа содержит следующие ключевые слова: Мамонтовское нефтяное месторождение, Приобское нефтяное месторождение баженовская свита, повышение нефтеотдачи пластов, кероген, общее содержание органического углерода, внутрислоистовый пиролиз, оптимальная температура, метод GRI, коэффициент открытой пористости, проницаемость.

Объектом исследования является керновый материал баженовской свиты, отобранный из разведочных скважин Мамонтовского нефтяного месторождения и Приобского нефтяного месторождения (ХМАО).

Цель работы – лабораторное моделирование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты с целью повышения нефтеотдачи пласта Ю₀ Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

Лабораторное моделирование теплового воздействия на пласт Ю₀ рассматриваемых месторождений заключалось в ступенчатом нагреве горных пород баженовской свиты в муфельной печи в кислородной среде до температуры 420 °С. В результате исследования были получены зависимости изменения массы и фильтрационно-емкостных свойств горных пород при увеличении температуры обработки. Кроме того, для разных температур обработки определялось общее содержание органического углерода в породе (ТОС). Полученные данные позволили определить оптимальную температуру проведения внутрислоистового пиролиза горных пород баженовской свиты в пределах Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений для максимального извлечения потенциальных углеводородов.

В работе проведен анализ современных отечественных и зарубежных технологий увеличения нефтеотдачи сланцевых коллекторов. Описаны особенности геологического строения баженовской свиты в пределах

изучаемых месторождений, объясняющие необходимость применения методов увеличения нефтеотдачи для таких сложнопостроенных коллекторов. В работе приведен опыт отечественного лабораторного моделирования теплового воздействия на породы баженовской свиты. Описана методика лабораторного моделирования внутрислоевого пиролиза. Представлены результаты исследования, на основе которых даны практические рекомендации для реализации внутрислоевого пиролиза баженовской свиты в условиях Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений. Путем анализа и оценки научно-технического уровня исследования определена его эффективность и целесообразность

Область применения – проектирование тепловых методов повышения нефтеотдачи сланцевых коллекторов.

Определения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

открытая пористость: объём сообщающихся между собой пор, которые заполняются жидким или газообразным флюидом при насыщении.

матричная проницаемость: проницаемость минерального каркаса горной породы, которая образуется во время отложения или консолидации осадочных пород.

пиролиз углеводородного сырья: термическое разложение органических природных соединений.

В данной работе применены следующие сокращения с соответствующими расшифровками:

ГРП – гидравлический разрыв пласта;

МГРП – многостадийный гидравлический разрыв пласта;

КИН – коэффициент извлечения нефти;

МУН – методы увеличения нефтеотдачи;

ФЕС – фильтрационно-емкостные свойства;

НКТ – насосно-компрессорные трубы;

ГС – горизонтальная скважина;

ГТМ – геолого-технические мероприятия;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

ТЭН – термоэлектрический нагреватель;

ТГВ – термогазовое воздействие;

ВГ – внутрислоевого горение;

ОРЗ – одновременно-раздельная закачка;

РИР – ремонтно-изоляционные работы;

БГС – (зарезка) боковых горизонтальных стволов;

ОПЗ – обработка призабойной зоны;

GRI – Gas Research Institute;

ТОС – total organic carbon (общее содержание органического углерода);

ППД – поддержание пластового давления;

ЧДД – чистый дисконтированный доход;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ПБ 07-601-03. Правила охраны недр; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов; СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах; ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением; ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования; ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения); ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод; РД 39-0147716-505-85. Порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин; ВРД 39-1.13-057-2002. Регламент организации работ по охране окружающей среды при строительстве скважин; СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; ГОСТ РД 50-492-84. Методика оценки научно-технического уровня АСУ. Типовые положения; ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением; ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации; ГОСТ Р 57703-2017 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отработанных нефтепродуктов.

Оглавление

Введение.....	16
1 НЕФТЯНЫЕ СЛАНЦЕВЫЕ ФОРМАЦИИ.....	18
1.1 Общие представления о сланцевой нефти	18
1.1.1 Особенности геологического строения баженовской свиты.....	19
1.1.2 Классификация нефтематеринских пород	23
1.2 Методы увеличения нефтеотдачи сланцевых коллекторов	24
1.2.1 Обзор существующих методов повышения нефтеотдачи сланцевых коллекторов	24
1.2.2 Типичные химические реакции, происходящие в пласте при высокотемпературном горении и низкотемпературном окислении.....	34
1.2.3 Опыт применения метода внутрислоевого горения (окисления) при разработке баженовской свиты	37
1.2.4 Предлагаемый технологический подход.....	40
1.3 Опыт лабораторного моделирования теплового воздействия на сланцевые коллекторы.....	42
2 ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	47
2.1 Общие сведения об исследуемых месторождениях	47
2.2 Сравнение геологических характеристик месторождений	48
2.2.1 Литолого-стратиграфические характеристики месторождений	48
2.2.2 Тектоника исследуемых месторождений	49
2.2.3 Нефтеносность и подсчет запасов нефти и газа	50
2.3 Анализ текущего состояния разработки месторождений	52
3 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	56
3.1 Лабораторное моделирование теплового воздействия на породы баженовской свиты	56
3.2 Определение петрофизических свойств горных пород	57
3.2.1 Определение открытой пористости	57
3.2.2 Определение матричной проницаемости	60
3.3 Определение геохимических параметров горных пород при пиролизе .	62
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	66
4.1 Петрофизические и геохимические свойства горных пород баженовской свиты вдоль разреза скважины	66

4.2	Изменение петрофизических и геохимических свойств пород баженовской свиты в зависимости от температуры теплового воздействия.....	69
5	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСООБЕСПЕЧЕНИЕ	79
	Введение.....	79
5.1	Этапы проведения лабораторных исследований	79
5.2	Организация и планирование работ.....	80
5.2.1	Структура работ в рамках исследования.....	80
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика исследования	81
5.3	Бюджет научно-технического исследования.....	82
5.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	82
5.3.2	Затраты на экспериментальный этап НТИ.....	83
5.3.3	Расчет заработной платы.....	84
5.3.4	Отчисления на социальные нужды и накладные расходы	86
5.4	Определение целесообразности и эффективности научного исследования.....	88
5.5	Обоснование экономической эффективности применения теплового воздействия на горные породы баженовской свиты	89
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	97
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
6.1.1	Трудовые нормы трудового законодательства	98
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	98
6.2	Производственная безопасность	99
6.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	99
6.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	104
6.2.3	Расчет системы общего равномерного искусственного освещения... ..	105
6.3	Экологическая безопасность.....	109
6.3.1	Анализ влияния объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду	109
6.3.2	Анализ влияния применения объекта исследования на окружающую среду	109

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	110
6.4.1 Анализ вероятных природных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	110
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	111
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	112
Заключение	114
Список публикаций.....	116
Список использованных источников	118
Приложение А	128
Приложение Б.....	129
Приложение В.....	131
Приложение Г	132
Приложение Д.....	134
Приложение Е.....	136
Приложение Ж.....	142

Введение

Повышение спроса на энергоресурсы и снижение «традиционных» запасов нефти привело к началу разработки «нетрадиционных» источников углеводородов, к числу которых относится баженовская свита.

Разработка баженовской свиты является одной из стратегических задач многих российских компаний. Баженовская свита распространена на территории около 1 млн. км² и содержит в себе колоссальные ресурсы. Однако в связи со сложными геолого-физическими условиями залегания промышленная разработка данного объекта была начата относительно недавно в отличие от группы сланцевых месторождений в США.

При освоении запасов баженовской свиты специалисты сталкиваются со следующими проблемами: низкие значения фильтрационно-емкостных свойств, высокие пластовые температуры и давления, отличие формирования коллектора от «традиционного», содержание как легкой нефти, так и керогена различной степени зрелости, преобразование которого в синтетическую нефть требует высоких температур. Применяемые на сегодняшний день технологии извлечения нефти из баженовской свиты, основанные на использовании многостадийного ГРП, позволяют вовлечь в разработку только легкую нефть, не используя генерационный потенциал керогена. Поэтому наиболее перспективно применять тепловые методы повышения нефтеотдачи, позволяющие под действием высоких температур превращать кероген в жидкие и газообразные углеводороды. Для массовой апробации тепловых методов повышения нефтеотдачи горных пород баженовской свиты на промысле необходимы многочисленные лабораторные исследования, позволяющие подобрать оптимальные технологические параметры проведения тепловой обработки для условий конкретных месторождений. Этому и будет посвящена данная выпускная квалификационная работа.

Цель работы: Лабораторное моделирование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты с целью повышения нефтеотдачи пласта Ю₀ Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

Объектом исследования являются образцы горных пород баженовской свиты, вскрытой разведочными скважинами Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

Предметом исследования стало тепловое воздействие на горные породы баженовской свиты в пределах Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Изучение особенностей геологического строения сланцевых формаций, в том числе баженовской свиты, обзор существующих технологий добычи нефти из сланцевых коллекторов.

2. Изучение особенности геологического строения и анализ текущего состояния разработки Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

3. Лабораторное моделирование теплового воздействия на образцы горных пород баженовской свиты в пределах Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

4. Исследование влияния тепловой обработки на фильтрационно-емкостные свойства горных пород баженовской свиты в пределах рассматриваемых месторождений.

5. Выбор оптимальной температуры проведения внутрислоевого пиролиза горных пород баженовской свиты с целью повышения нефтеотдачи пласта Ю₀ Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождения.

1 НЕФТЯНЫЕ СЛАНЦЕВЫЕ ФОРМАЦИИ

1.1 Общие представления о сланцевой нефти

На конец второго десятилетия XXI века приходится пик добычи традиционной нефти, связанный, во-первых, со снижением темпов добычи углеводородов, во-вторых, с возникновением новых источников нетрадиционной нефти, имеющий высокий потенциал в нефтяной отрасли.

Нетрадиционные углеводороды представляют собой ресурсы, находящиеся в сложных геологических условиях, требующих нетривиальных методов разведки и добычи. Среди нетрадиционных источников углеводородов выделяют нефть сланцевых формаций, включающих сланцевую нефть (shale oil), которую получают из нефтяного сланца (порода, которую подвергают дополнительной термической обработке для получения жидкого сырья), и нефть низкопроницаемых пород (tight oil) [1].

Если рассмотреть состав нефтеносного сланца в процентном соотношении, то 0,37 % об. составляет вода, 85,02 % об. – минеральная часть (кальцит, доломит, полевой шпат, пирит, гидрослюда и т.д.) и 14,61% об. приходится на органическую часть, 11,93% об. из которой составляет кероген, а остальное – жидкие углеводороды. К числу пород, богатых керогеном, относят:

- глинисто-керогено-карбонатные;
- керогено-кремнисто-глинистые;
- глинисто-кремнисто-керогенновые [2].

Преимущественное количество нефти сланцевых формаций, в основном в виде нефти низкопроницаемых пород, сосредоточено на территории США – около 600 млрд. т. На втором месте по объему ресурсов нефтяного сланца находится Китай, где залегает порядка 46,5 млрд. т. нефтяного сланца и 41 млрд. т. нефти низкопроницаемых пород. Среди стран, обладающих крупнейшими ресурсами сланцевых формаций, выделяют Израиль (35 млрд. т.), Демократическую Республику Конго (14 млрд. т.), Иорданию (12,6 млрд. т.), Бразилию (11,48 млрд.т.).

На территории России также отмечаются значительные запасы нефти сланцевых пород: по оценкам 1981 года разведанные запасы горючих сланцев составляют 37 млрд. т., однако в пределах баженовской свиты (объект, признанный лидером по запасам сланцевой нефти России) запасы оцениваются Министерством энергетики в 22 млрд. т [1].

1.1.1 Особенности геологического строения баженовской свиты

Баженовская свита – это крупнейшая низкопроницаемая группа нефтематеринских горных пород, имеющая распространение в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне площадью около 1 000 000 км² и средней толщиной около 30 метров. Примерный стратиграфический возраст баженовской свиты составляет 140-145 млн. лет [3].

Большинством геологов, изучавших баженовскую свиту, принимается, что она является материнской для многих месторождений Западной Сибири. Практически все специалисты выделяют в ее составе породы, в которых преобладающими компонентами выступают глинистые минералы: аргиллиты, кремнистые аргиллиты, карбонатно-кремнистые, глинисто-карбонатно-кремнистые и кремнистые породы с невысоким содержанием глин. При этом существует четкая закономерность в распределении органического вещества между этими типами пород. По этому принципу выделяют баженовиты (бажениты) – низкоглинистые породы, обогащенные органическим веществом до 25-50% породы [4], и аргиллиты – высокоглинистые породы, содержащие до 3-7% органического вещества. Причем первые находят свое распространение в центральных областях Западно-Сибирского осадочного бассейна, нефтегенерационный потенциал которого здесь максимален, а в периферийных областях бассейна преобладают аргиллиты, нефтегенерационный потенциал которых ниже [5].

Особенностью баженовской свиты является то, что ее ресурсы одновременно представлены и породой коллектором, из которой возможно

добывать нефть, и нефтематеринской породой, способной выделять свободные углеводородные флюиды, образованные в процессе катагенетических преобразований. Катагенез делится на ряд стадий, основной из которых является стадия мезокатагенеза. Ее также называют «главной зоной нефтегазообразования» или «нефтяным окном», так как на этой стадии начинается перестройка керогена с образованием нефти и газа. На данной стадии породы характеризуются степенью катагенетической зрелости, оцениваемой с помощью генерационного потенциала – содержания органического вещества в виде незрелого керогена. Керогеном называют нерастворимую часть органического вещества осадочных пород, и именно он является основным источником нефти и природного газа.

Условия осадконакопления баженовской свиты во многом определены степенью изменчивости ее состава и строения. Главным отличием литологических типов пород баженовской свиты является содержание глинистого и органического вещества. То есть свита представляет собой чередование баженитов и аргиллитов, свойства которых резко отличаются друг от друга. В силу того, что в баженитах содержится большое количество органического вещества, их свойства в пластовых условиях близки к пластичным. Аргиллиты, напротив, обладают массивной структурой, они более плотные и хрупкие. Среди основных литотипов баженовской свиты выделяют: глинисто-кремневые битуминозные породы верхней части с увеличенным содержанием глинистой составляющей, карбонатно-глинисто-кремневые битуминозные породы, пропластки окремненных радиоляритов и глинисто-кремневые битуминозные породы нижней части.

Модель порового пространства нефтесодержащей породы баженовской свиты представлен на рисунке 1.1.1.1.

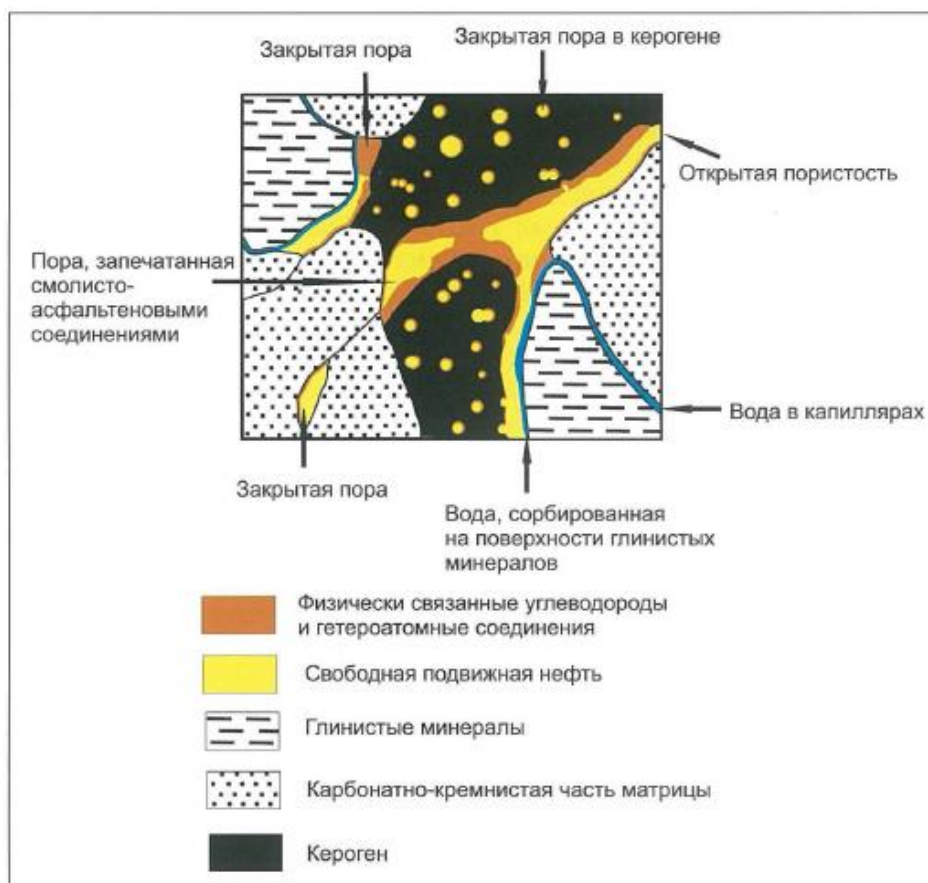


Рисунок 1.1.1.1 – Модель порового пространства нефтесодержащей породы баженовской свиты [7]

Минерально-компонентный состав породы определяет соотношение кремнисто-карбонатной части матрицы, состоящей из кварца, кальцита, доломита, пирита, глинистых минералов и керогена. Между кристаллами, компонентами и в керогене находятся открытые и закрытые поры, в которых может содержаться свободная подвижная нефть. На границе «пора-твердая фаза» могут находиться связанные углеводороды и гетероатомные соединения [7].

Что касается баженовского коллектора, то его фильтрационные свойства обусловлены первичной слоистостью и вторичной трещиноватостью. То есть коллекторские свойства баженовских отложений возникли в результате постседиментационных преобразований пород, что привело к формированию вторичной пористости и кавернозности – свойствам, характеризующим емкость коллектора. Наличие трещин также вносит свой вклад в фильтрационно-

емкостные свойства пород баженовской свиты. Данные трещины связывают емкостное пространство в общую флюидодинамическую систему, это и обуславливает проницаемость коллектора [4].

Перспективными коллекторами баженовской свиты прежде всего являются трещинно-кавернозные карбонатные отложения. Второй тип коллектора – трещиноватые или листоватые баженовиты, сложенные главным образом керогеном и кремнеземом. По разным оценкам пористость данных пластов достигает 20 % при проницаемости выше 1 мкм². При этом пористость матрицы обычно составляет 1-2 % [6].

На сегодняшний день опыт добычи нефти из отложений баженовской свиты приходится на территорию ХМАО. На 2016 год отмечался опыт разработки по 368 скважинам на 39 лицензионных участках, основная доля добычи из которых (66 %) отмечается на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» [8]. На Салымской группе месторождений, оператором которой является компания «Салым Петролеум Девелопмент Н. В.» зарегистрирован дебит более 720 м³/сут [6].

Стоит отметить, что разработка баженовской свиты российскими компаниями не привела к сланцевой революции и, в отличие от американского опыта разработки сланцевых формаций, в большинстве случаев, была крайне убыточна [10]. По утверждению специалистов компании Shell, для экономического эффекта толщина пласта должна составлять не менее 30 метров с содержанием нефти 90 литров на тонну сланцевой породы. Даже нефтематеринские породы Баккена включают всего лишь 32% запасов нефти и далеко не все эти залежи имеют толщину пласта в 30 и более метров [11]. Для сравнения огромные запасы нативной нефти в пластах баженовской свиты обусловлены большой площадью распространения нефтематеринских отложений (более 1 млн. км) с толщиной пластов в среднем 15 метров. При этом содержание нефти в породе в отдельных случаях достигает 12-15% по объему, однако в среднем, не превышает 4-5 % об. Кроме того, сложность добычи

нативной нефти заключается в крайне низкой проницаемости пород баженовской свиты.

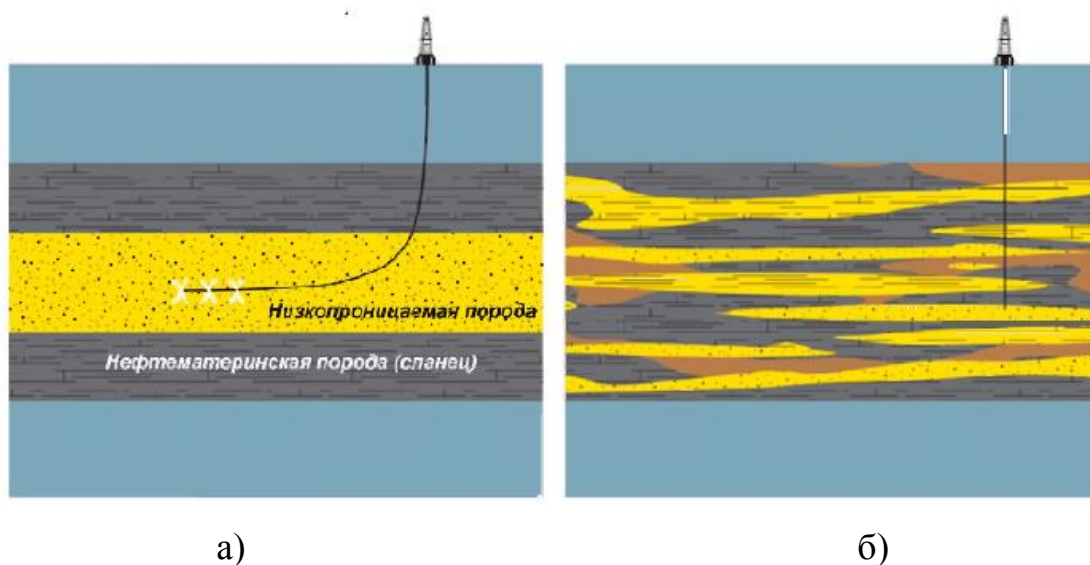


Рисунок 1.1.1.2 – Схема строения коллекторов формаций Баккен (а) и баженовской свиты (б) [12]

Главные потенциальные ресурсы углеводородного сырья баженовских отложений связывают, прежде всего, с высокими концентрациями твердого органического вещества в породе, которое имеет возможность, при определенных условиях, преобразовываться в подвижные углеводороды. Однако, основной проблемой добычи нефти, при этом, является практически нулевая проницаемость глинисто-карбонатно-кремневых пород. Именно отсутствие высокоперспективной технологии разработки пластов баженовской свиты, заключающейся в превращении твердой органики в подвижные углеводороды и создании сети фильтрационных каналов в матричной породе, и не позволяет вести успешную промышленную разработку нефтематеринской залежи.

1.1.2 Классификация нефтематеринских пород

Согласно материалам [16, 17] можно классифицировать нефтегазоматеринские породы в зависимости от величины генерационного

потенциала, типа керогена и зрелости органического вещества (таблицы 1.1.2.1, 1.1.2.2).

Таблица 1.1.2.1 – Классификация нефтегазоматеринских пород по углеводородно-генерационному потенциалу

Углеводородно-генерационный потенциал	Содержание $C_{орг}$, % масс.	Параметры Rock-Eval, мгУВ/г породы	
		S_1	S_2
Бедные	<0-0,5	<0-0,5	<0-2,5
Удовлетворительные	0,5-1	0,5-1	2,5-5
Хорошие	1-2	1-2	5-10
Очень хорошие	2-4	2-4	10-20
Отличные	>4	>4	>20

где, $C_{орг}$ – содержание в породе органического углерода, % масс.;

S_1 – содержание свободной нефти, мг УВ/ г породы;

S_2 – нефтегенерационный потенциал, мг УВ/ г породы.

Таблица 1.1.2.2 – Индекс водорода для разных типов керогена и тип генерируемых углеводородов

Основные типы керогена	Тип керогена	HI (мг УВ/ $C_{орг}$)	Преимущественный состав генерируемых углеводородов
Сапропелевый	I	>600	Нефть, газ
	II	300-600	Нефть, газ
Гумусовый	III	50-300	Газ, небольшое количество нефти

Органическое вещество баженовской свиты относится к сапропелевому и частично гумусовому типам.

1.2 Методы увеличения нефтеотдачи сланцевых коллекторов

1.2.1 Обзор существующих методов повышения нефтеотдачи сланцевых коллекторов

Стоит отметить, что разработка традиционных залежей углеводородов значительно отличается от сланцевых. Это обусловлено различием условий формирования и геологической особенностью строения сланцевых формаций.

На рисунке 1.2.2.1 представлены отличия формирования традиционной залежи и сланцевой.

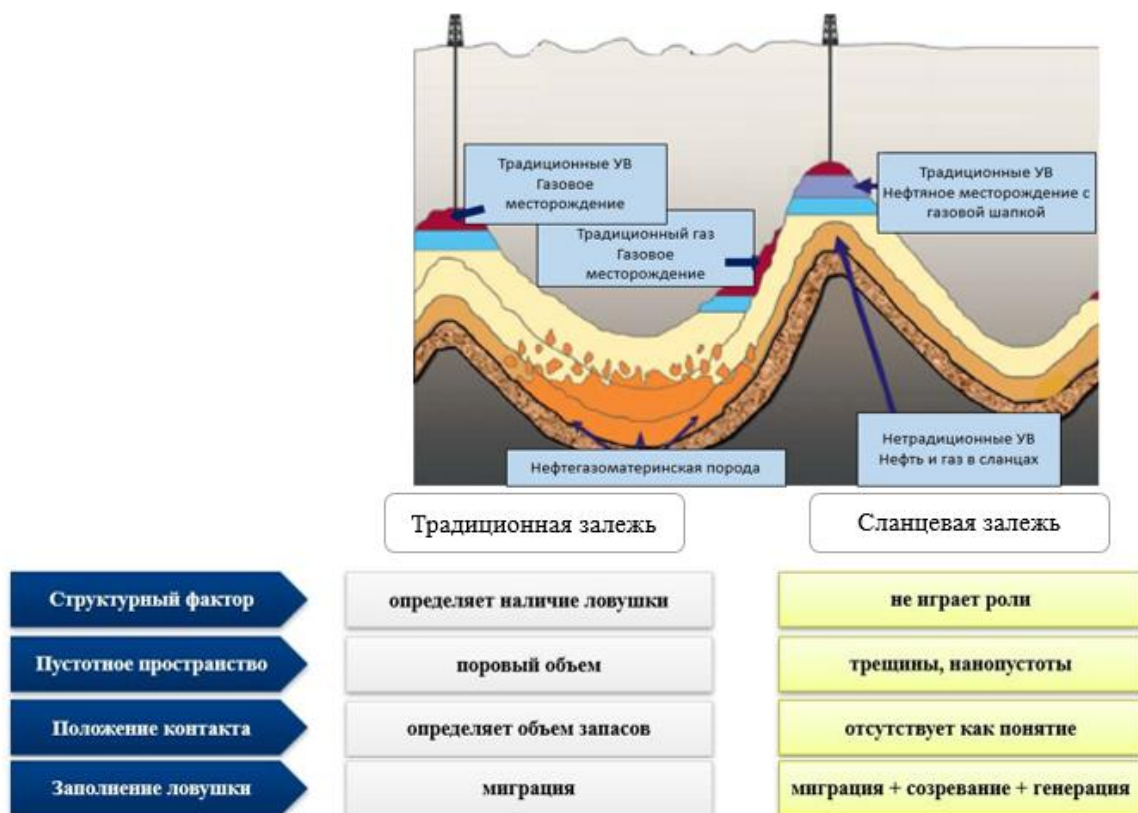


Рисунок 1.2.1.1 – Схема традиционной и сланцевой залежи [18]

Рассмотрим существующие подходы к добыче нефти сланцевых объектов.

Поскольку сланцевые коллекторы отличаются низкими фильтрационно-емкостными свойствами и имеют сложное геологическое строение, основными методами повышения нефтеотдачи являются бурение горизонтальных скважин (ГС) с проведением многостадийного ГРП и тепловые методы.

На текущий момент основной технологией разработки сланцевых пород являются методы, направленные на извлечение подвижных УВ посредством бурения ГС с МГРП (таблица 1.2.1.1).

Таблица 1.2.1.1 – Существующие подходы к добыче нефти сланцевых объектов (подвижные УВ)

Метод разработки	КИН, %	Технология МГРП	Система заканчивания
МГРП	6	Slickwater, Hybrid и др.	Plug&Perf и др.
МГРП + CO ₂	9-12	Slickwater	Plug&Perf с закачкой CO ₂
МГРП + ПАВ	12-15	Slickwater	Plug&Perf с закачкой ПАВ

Опыт бурения горизонтальных скважин с последующим проведением многостадийного ГРП в качестве технологии освоения трудноизвлекаемых запасов с пониженными фильтрационно-емкостными свойствами отмечается не только за рубежом, но и в России.

Дочернее общество ОАО «Газпром нефти» технологический центр «Бажен» на протяжении последних лет тестирует новые технологии освоения баженовской свиты на Пальяновской площади Красноленинского месторождения в ХМАО, где пробурено 20 высокотехнологичных скважин и проведено более 250 операций многостадийного ГРП, что позволило увеличить приток из баженовской свиты в 2,2 раза [9].

В ПАО «Газпромнефть» были опробованы технологии ГС с МГРП. Схематичное изображение технологии представлено на рисунке 1.2.1.2.

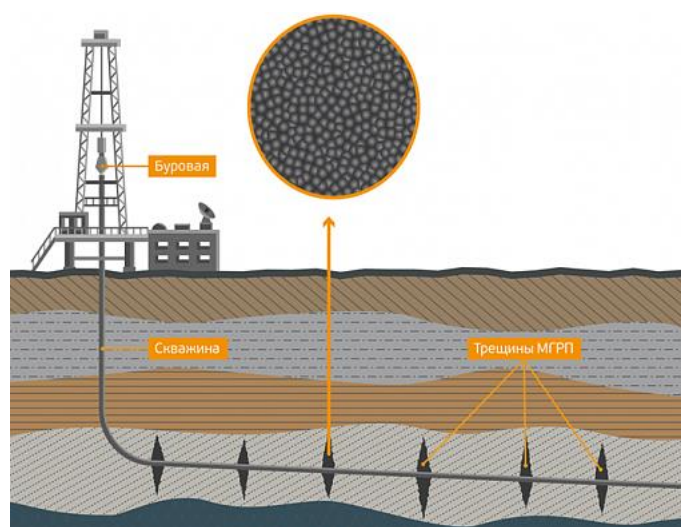


Рисунок 1.2.1.2. – Бурение горизонтальной скважины с последующим проведением МГРП

Данная технология позволяет проводить закачку жидкости с проппантом или кислоты в выбранные интервалы горизонтального ствола скважины.

Среди компоновок для проведения МГРП можно выделить следующие:

1. Цементируемый хвостовик с муфтами ГРП.
2. Нецементируемый хвостовик с системой заклонных пакеров и муфт ГРП.
3. Цементирование хвостовика с выполнением перфорации и использованием систем изоляции интервалов.

В настоящее время данной компанией опробованы следующие технологии:

- ГС с длинами ствола от 400 до 1500 м;
- МГРП с числом стадий от 4 до 30 и массой проппанта на стадию от 33 до 140 т, максимальная масса проппанта на скважину – 1187 т;
- установка равнопроходных цементируемых хвостовиков с целью проведения адресных инициаций трещин и определение влияния их числа на продуктивность (11 скважин);
- кластерный МГРП (около 50 скважино-операций);
- раздвижные муфты многоразового использования для открытия (закрытия) порта (более 80 скважин).

На начало 2017 г. фонд ГС с МГРП составлял около 200 скважин, или 14% действующего фонда, эти скважины обеспечивают сегодня примерно 24 % всей суточной добычи нефти [19].

Отложения баженовской свиты часто сравнивают с отложениями Баккена. При разработке сланцевой формации Баккен хорошо себя зарекомендовала и доказала свою эффективность технология Plug&Perf. В работах [20, 21] авторы утверждают, что применение данной технологии также может привести к хорошим результатам в Западной Сибири.

При использовании данной технологии отмечается наибольшее образование трещин в пласте (рисунок 1.2.1.3) и наибольшая добыча углеводородов.

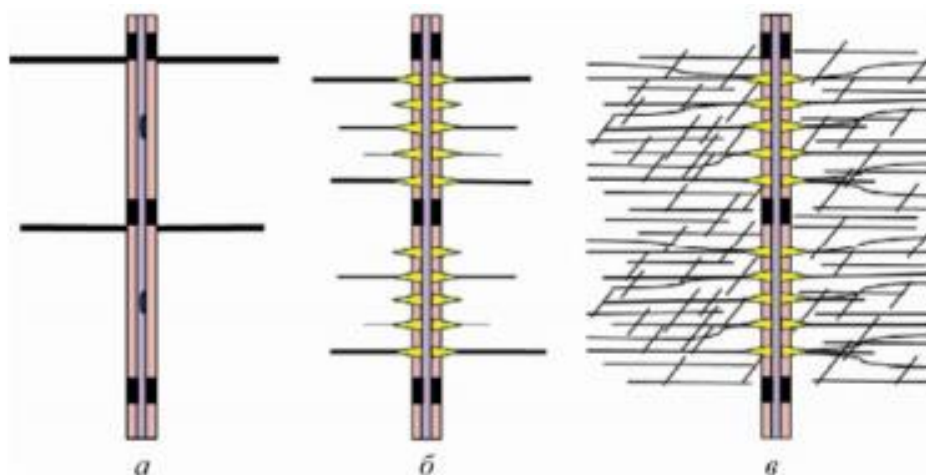


Рисунок 1.2.1.3 – Создание трещиноватости в пласте при различных методах проведения ГРП: а – низкая скорость закачки жидкости ГРП, небольшой объем закачиваемого геля, технология Siding Sleeves; б – низкая скорость закачки жидкости ГРП, небольшой объем закачиваемого геля, технология Plug&Perf; в – высокая скорость закачки жидкости ГРП, большой объем закачиваемой воды, технология Plug&Perf [22]

При проведении МГРП в горизонтальных скважинах по технологии Plug&Perf используется следующая схема:

1. Расстояние между интервалами перфорации от 10 до 15 метров.
2. Длина интервала перфорации – четырехкратный диаметр ствола.
3. Число интервалов перфорации на каждую стадию ГРП 4-8.
4. Число интервалов зависит от возможных скоростей закачки при ГРП: 0,235 м³/мин через одно перфорационное отверстие, 1,5-2,3 м³/мин на интервал.

На сегодняшний день в планы ряда компаний входит использование технологии Plug&Perf при испытании отложений баженовской свиты [17]. При планируемой технологии заканчивания используется нецементируемый хвостовик 114 мм, толщина стенки 7 мм, подвесное устройство хвостовика и полированное седло, с установкой саморазбухающих пакеров через 100 м. На башмаке хвостовика устанавливается одна скользящая муфта для проведения первой стадии ГРП без перфорации.

Сама перфорация проводится по технологии Plug&Perf. На одну стадию производится перфорация 5 интервалов – через 15-16 м каждый, длина одного перфорированного интервала 0,5 м. Доставка перфосборки с пробкой в интервал перфорации производится закачкой жидкости продавки по окончании очередной стадии. Выполнение основных стадий перфорации планируется без применения НКТ – закачка жидкости будет осуществляться по эксплуатационной колонне диаметром 173 мм, переходящей на хвостовик диаметром 114 мм [22].

Более перспективной технологией для разработки баженовской свиты является внутрислоистовый нагрев (рисунок 1.2.1.4), позволяющий под действием высоких температур превращать кероген в жидкие и газообразные углеводороды, а также формировать дополнительные трещины, что позволяет повысить коэффициент извлечения нефти и газа за счет увеличения дренируемых зон.

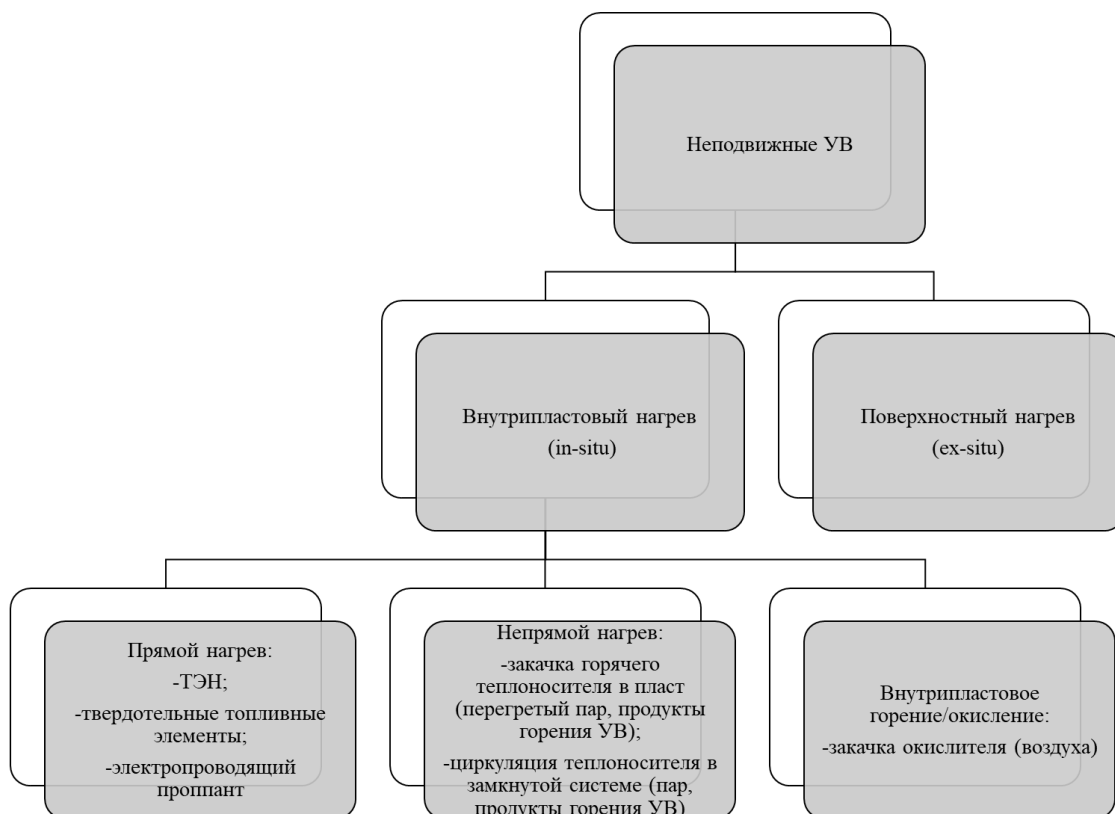


Рисунок 1.2.1.4 – Существующие подходы к добыче нефти сланцевых объектов (неподвижные УВ)

На сегодняшний день существует множество зарубежных энергоэффективных методов внутрипластового нагрева.

Один из инновационных методов прямого внутрипластового ретортинга был разработан компанией Shell. Технология Shell In-Situ Process (ICP) (рисунок 1.2.1.5) заключается в местном нагреве участка пласта путем сочетания нагревающих и замораживающих скважин.

После подготовки месторождения к добыче по его контуру устанавливаются «замораживающие стены», далее бурят добывающие скважины, через которые вместо нефти сначала поступает вода, и пласт обезвоживается. Создание «замораживающих стен» при помощи закачки в замораживающие скважины водного аммиака позволяет равномерно прогреть изолированный сланцевый пласт. Отдельно бурят «нагревательные скважины», в которых тепловые насосы нагревают сланцевые пласты до 200 °С, за счет чего начинается перегонка нефти внутри пласта. Для получения на устье добывающих скважин смесь низкокипящих углеводородов в нагнетательные скважины закачивают легкие углеводороды. Данный способ нагрева позволяет начать переработку органического вещества сланца в нефть и газ непосредственно под землей, добыча продуктов пиролиза производится традиционными методами [1].

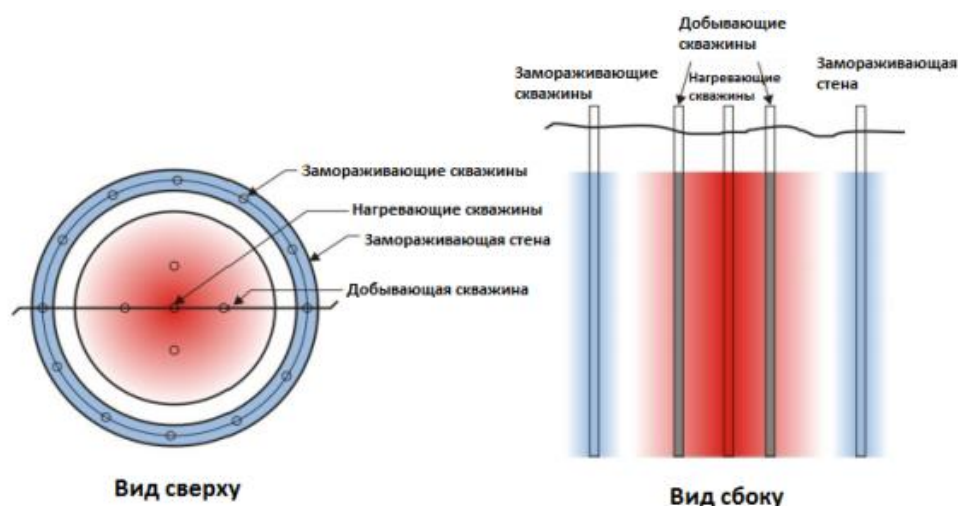


Рисунок 1.2.1.5 – Технология Shell In-Situ Process [1]

Еще один из методов прямого внутрипластового ретортинга предложен американской компанией Chevron Corporation (рисунок 1.2.1.6). Нагрев пласта в

данном методе происходит за счет нагнетания в скважину под большим давлением нагретого природного газа. Энергетическая эффективность достигается за счет рециркуляции воздуха через отработанные пласты под высоким давлением. Фактически воздух выступает в качестве теплоносителя, нагреваясь в отработанных пластах за счет сгорания тяжелых углеводородных остатков, поступает в новые добычные пласты через нагнетательные скважины, где за счет собственной высокой температуры стимулирует распад керогена [1].

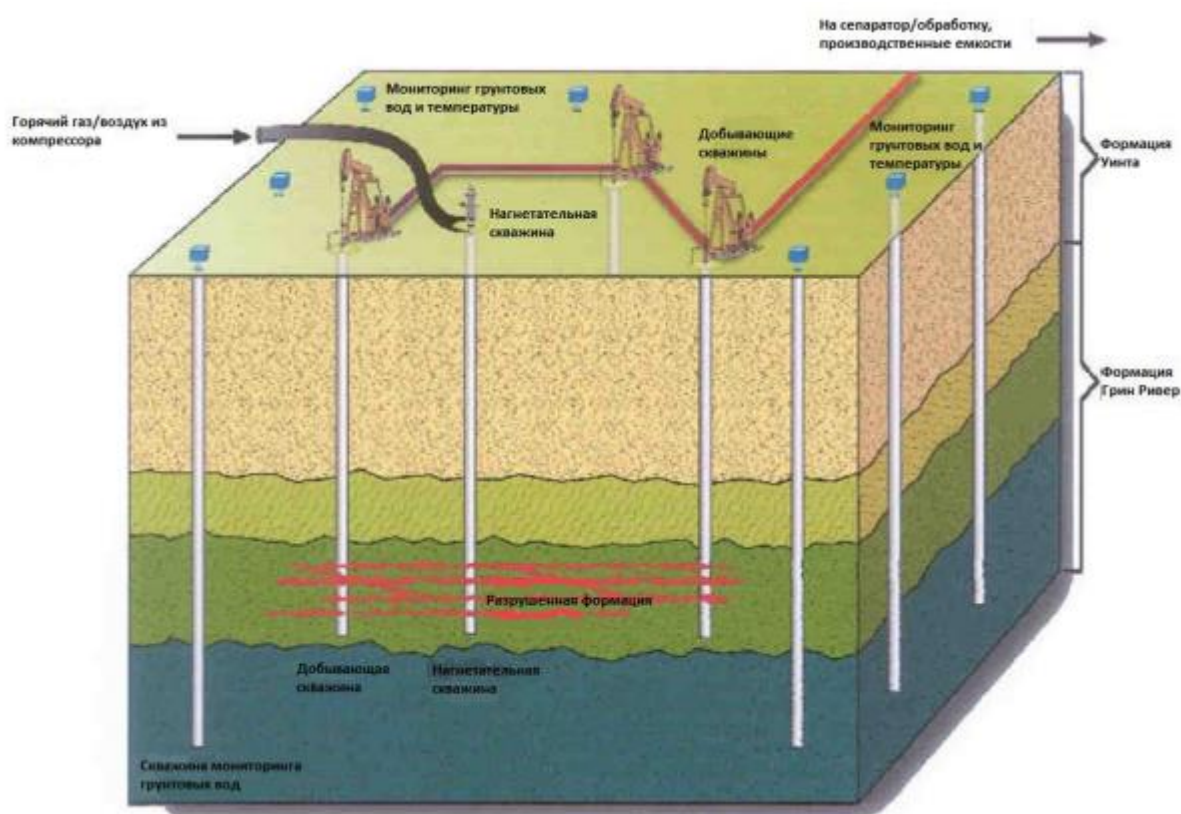


Рисунок 1.2.1.6 – Технология Chevron In-Situ Process [1]

Также к технологии внутрипластового ретортинга можно отнести технологию гидроразрыва с проводящим материалом ExxonMobil Electfrac. Под воздействием электричества электропроводящий флюид нагревает сланцевый пласт и содержащийся в нем кероген (рисунок 1.2.1.7). Дальнейшая добыча нефти происходит традиционными способами [1].

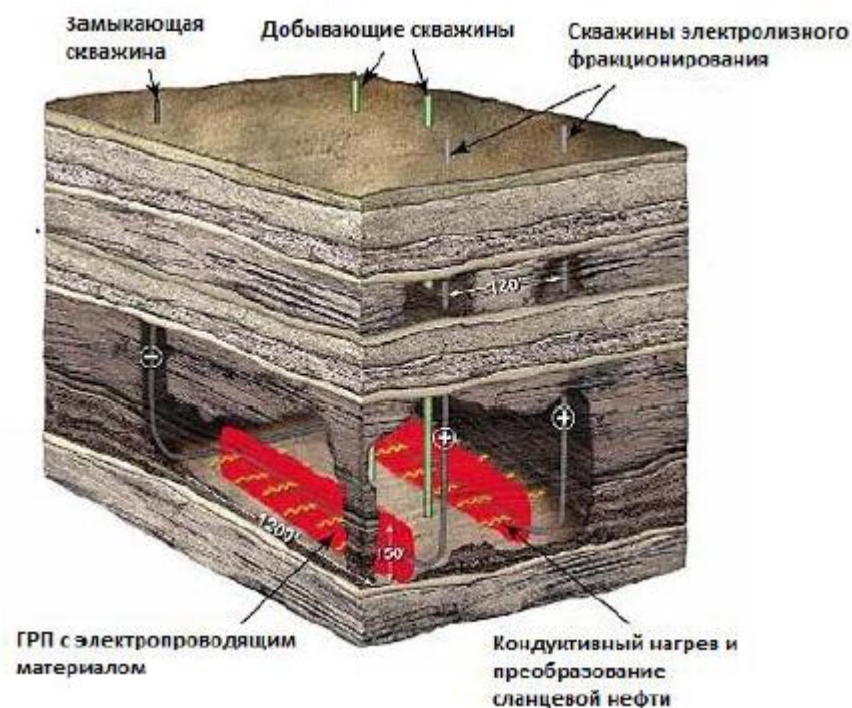


Рисунок 1.2.1.7 – Технология ExxonMobil Electofrac [1]

Проведем сравнительный анализ основных типов технологий подвода тепла в пласт (таблица 1.2.1.2).

Используемые параметры для проведения оценки согласно геологическим особенностям строения баженовской свиты:

- Пористость до 10%.
- Проницаемость $\sim 0,0005$ мД.
- Пластовое давление 280-450 атм.
- Пластовая температура 90-120 °С.
- ОВ твердая фаза (кероген) 13-18 %.
- ОВ жидкая фаза ~ 2 % [23].

Таблица 1.2.1.2 – Условия применения технологий подвода тепла в пласт

Методы воздействия	Глубина залегания (2800-3000м)	ФЕС (Кпр $\sim 10^{-5}$ мД)	Толщина (30-40м)	Пластовое давление (300-400атм)	Контролируемость процесса	Радиус воздействия
Внутрипластовое горение, ТГВ						
Закачка агента в виде CO ₂ , находящегося в сверхкритическом состоянии						
Закачка агента в виде воды, находящейся в сверхкритическом состоянии						
Высокочастотные волны						
Электронагрев						
Геотермические тепловыделяющие элементы						
Закачка прогретого воздуха или пара						
Поверхностные методы						

Удовлетворяет условиям применения метода
 Требуется дополнительные исследования
 Критичный фактор

Исходя из предложенной информации, потенциально возможным методом воздействия в условиях баженовской свиты могут быть тепловые методы с использованием энергии пласта (термогазовое воздействие, внутрипластовое горение) при выполнении следующего условия: предварительного создания равномерной проницаемой среды.

С одной стороны, органическое вещество обладает «хорошими» окислительными способностями, с другой, доступ кислорода к керогену ограничивается низкой проницаемостью пород и решение проблемы по улучшению фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов позволит в значительной мере вовлечь в разработку содержащееся в пластах твердое органическое вещество.

Необходимо отметить разрабатываемую в настоящее время технологию внутрипластового каталитического ретортинга, в основе которой лежит физическое и химическое воздействие на пласты материнской породы с использованием рабочего агента (состоящего из сверхкритической воды, углекислого газа, углеводородных растворителей и наноразмерного катализатора) с формированием температуры до 500 °С и давления до 50 МПа [15].

В ходе реализации указанной технологии ожидается генерация углеводородов из твердого органического вещества, увеличение подвижности нефти за счет дробления крупных углеводородных молекул на более мелкие и повышение проницаемости продуктивных пластов на макро-, мезо- и микроуровнях.

1.2.2 Типичные химические реакции, происходящие в пласте при высокотемпературном горении и низкотемпературном окислении

Сложность составов как нефти в целом, так и отдельных фракций делает составление полного набора химических реакций, происходящих при внутрипластовом горении (ВГ) и термогазовом воздействии (ТГВ).

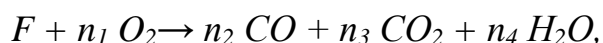
Накопленные в настоящее время достаточно многочисленные лабораторные данные [24, 25, 26, 27, 28] позволяют указать несколько характерных типов реакций, происходящих при данных способах воздействия на пласт. Отметим, что реакции, происходящие при ВГ и ТГВ, отличаются от реакций, протекающих при термической переработке твёрдых горючих сланцев в специальных химических реакторах на поверхности [29-31]. Главными в обоих типах воздействия (ВГ и ТГВ) являются три вида реакций [24, 25, 28, 32]:

1. Реакции с разрывом связей в молекуле.
2. Реакции с присоединением кислорода к молекуле.
3. Термическое преобразование, иными словами, термолиз (пиролиз).

Первый тип реакций, по сути, является реакциями горения; их можно представить схематично в следующем виде [24, 28]:



В тяжёлой нефти, при температурах выше 350 °С, этот тип реакций играет заметную роль (эта температура часто называется «порогом воспламенения»), а при температуре выше 450 °С является преобладающим. В лёгкой нефти такие реакции начинаются при более низких температурах, близких к пластовым или несколько более высоких, во всяком случае, они наблюдались при температурах 150–300 °С. В частности, начальное самовоспламенение лёгкой нефти начинается уже при повышении температуры прискважинной зоны выше 210 °С. Тем не менее, в легкой нефти такой тип реакций играет подчинённую роль ввиду небольшого содержания высокомолекулярных соединений; основным типом реакций является низкотемпературное окисление [28], рассмотренное ниже. Полное сгорание топлива приводит к образованию CO_2 и H_2O , неполное сгорание – к образованию CO и H_2O . Упрощённо реакции горения топлива, образовавшегося в результате предварительного окисления, описывают следующей формулой [24]:



где F – полутвёрдый остаток, образующийся при преобразовании пластовой нефти в результате низкотемпературного окисления, предшествующего

горению; коэффициенты n_i определяются экспериментально. Этот остаток (F) часто называют «коксом». Реакции такого типа являются гетерогенными (газ/твёрдое тело) и (газ/жидкость) и экзотермическими (температура системы во время процессов горения самопроизвольно возрастает).

Реакции низкотемпературного окисления схематично можно представить в следующем виде [24, 28]:

Углеводороды + O₂ = окисленные углеводородные соединения + тепло,

где окисленные соединения представлены альдегидами, спиртами, кетонами, гидроперекисями, карбоновыми кислотами, фенолами и т.д. [24, 26]. При этом количество образующихся оксидов углерода крайне незначительно.

Этот тип реакций при окислении тяжёлой нефти преобладает при температурах ниже 300-350 °С, а при окислении лёгкой нефти – при температурах ниже 150 °С [28]. При сравнительно низких температурах этот тип реакций вызывает увеличение вязкости и плотности тяжёлой нефти, увеличение её молекулярной массы и доли асфальтенов в нефти.

Третий тип реакций, термическое преобразование или термолиз, происходящее только за счёт повышения температуры в пласте при недостатке или отсутствии кислорода, которое происходит приблизительно по следующей схеме [24, 28]:

углеводороды (жидкие) →

углеводороды (жидкие и/или твёрдые) + углеводороды (газ).

В качестве реагирующих веществ могут быть как исходные углеводороды нефти, так и продукты её низкотемпературного окисления, в том числе и кислородсодержащие соединения. Этот, третий тип реакций крайне важен при ВГ и ТГВ, поскольку именно при этом процессе образуется большая часть топлива для последующего горения. Эти реакции являются эндотермическими, т.е. идут с поглощением тепла.

1.2.3 Опыт применения метода внутрислового горения (окисления) при разработке баженовской свиты

Исследователями [14] был проведен ряд экспериментов на породах баженовской свиты Сахалинского и Быстринского месторождений по определению зависимости температуры инициирования процесса горения от удельной поверхности контакта породы и кислорода воздуха. Согласно исследованиям, температура инициирования процесса горения на породах баженовской свиты находится в диапазоне от 110 до 410 °С. Отмечается, что создание новой системы трещин обеспечит необходимую величину площади контакта для инициирования процесса горения и применение специальных инициаторов горения не потребуется.

Повышение температуры для всех литотипов нефтекерогеносодержащих пород оказывает позитивное влияние на улучшении фильтрационно-емкостных свойств низкопроницаемых коллекторов, обусловленное увеличением общей пустотности и трещиноватости [13].

Стоит отметить реализацию опытно-промышленных работ в ПАО «Лукойл» на опытном участке Средне-Назымском месторождении.

Одними из главных предпосылок применения термогазового воздействия являются зависимость определения фильтрационно-емкостных свойств породы баженовской свиты уровнем температуры и значительное содержание керогена в породе. Авторы статьи [33] утверждают, что именно интегрированное воздействие водовоздушной смесью на пласт позволяет обеспечить самопроизвольные окислительные процессы кислорода с углеводородами, находящимися в пласте, в результате которых образуется вытесняющий газовый агент.

Для отработки данной технологии был создан опытный участок, который состоит из одной нагнетательной и четырех добывающих скважин (рисунок 1.2.3.1), комплекса наземного оборудования, состоящего из воздушной компрессорной установки, насосной установки, дизельной электростанции,

операторной, индивидуальных замерных установок на устьях добывающих скважин и др.).

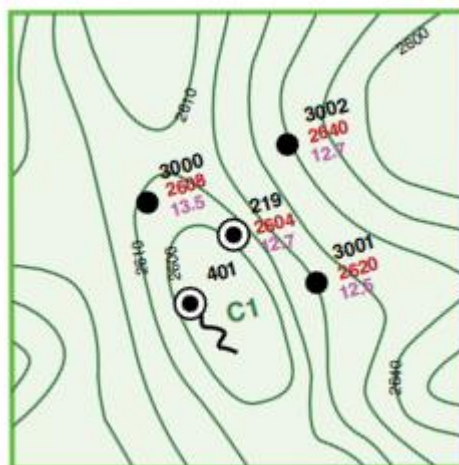


Рисунок 1.2.3.1 – Схема участка ТГВ№1
Средне-Назымского месторождения [33]

Воздух из атмосферы, сжимаясь в компрессорном блоке до необходимого давления, подается в скважину совместно с водой из артезианской скважины с помощью насосного блока (рисунок 1.2.3.2).



Рисунок 1.2.3.2 – Принципиальная схема реализации термогазового
воздействия [33]

За период эксперимента в нагнетательную скважину закачено более 6 млн. м^3 воздуха. При реализации термогазового воздействия в скважинах опытного участка наблюдается рост пластового давления на 20-100 атм. В ходе проведения данного эксперимента были получены промышленные результаты, которые доказывают существенное влияние термогазового воздействия на породы баженовской свиты. Во-первых, отмечаются активные внутрислоевые окислительные процессы, этому подтверждение – значительный рост в добываемом газе углекислого газа до 16 % об., азота до 45 % об., отсутствие кислорода (рисунок 1.2.3.3).

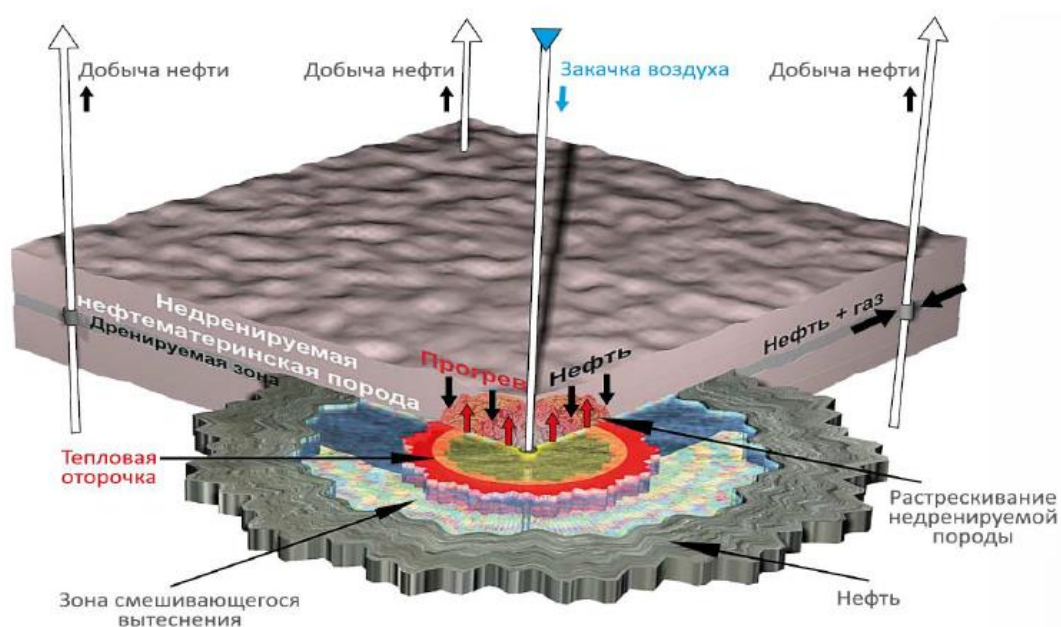


Рисунок 1.2.3.3 – Схема применяемого метода компанией ПАО «Лукойл»

Во-вторых, увеличение до двукратного объема добываемых углеводородных газов и увеличение доли добычи углекислого газа говорит о том, что в качестве топлива при окислительных процессах выступает кероген. Также наблюдается изменение группового состава нефти: увеличивается содержание легких углеводородов ($\text{C}_1\text{-C}_7$) (рисунок 1.2.3.4), вследствие чего снижается вязкость и плотность нефти [33].

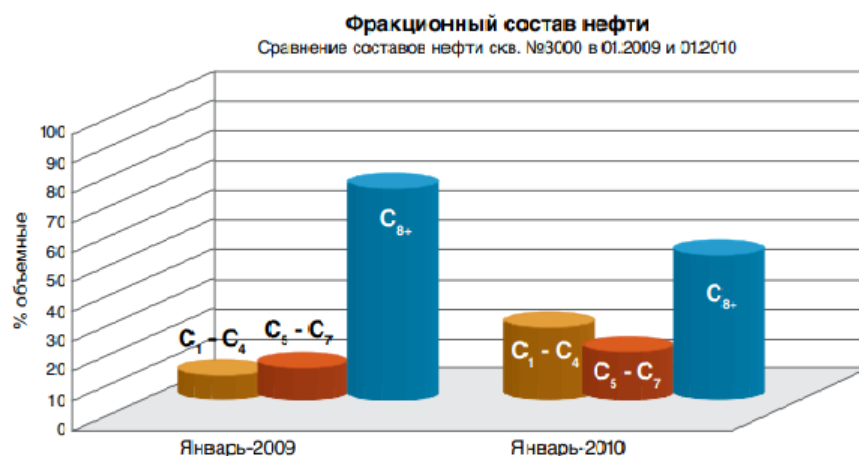


Рисунок 1.2.3.4 – Изменения фракционного состава нефти [33]

1.2.4 Предлагаемый технологический подход

Таким образом, обобщая опыт применения термогазового воздействия на опытных промысловых участках за рубежом и в России, можно сформировать технологический подход разработки баженовской свиты методом внутрипластового горения:

- Выбор отработанных участков пласта Ю₀ (т.е. после извлечения имеющихся подвижных УВ) для применения технологии закачки окислителя и инициирования внутрипластового горения/окисления.
 - Закачка окислителя (инициирование процесса окисления/горения), оценка скорости генерации синтетических УВ и их накопления в вышележащих интервалах за счет миграции УВ в каналах индуцированной трещиноватости (скорость «всплытия» капелек нефти).
 - Выбор участков и интервалов для бурения добывающих скважин.
- На рисунке 1.2.4.1 изображена схема реализации технологии.



Рисунок 1.2.4.1 – Схема реализации предлагаемой технологии

На рисунке 1.2.4.2 схематически продемонстрирована предлагаемая технология.

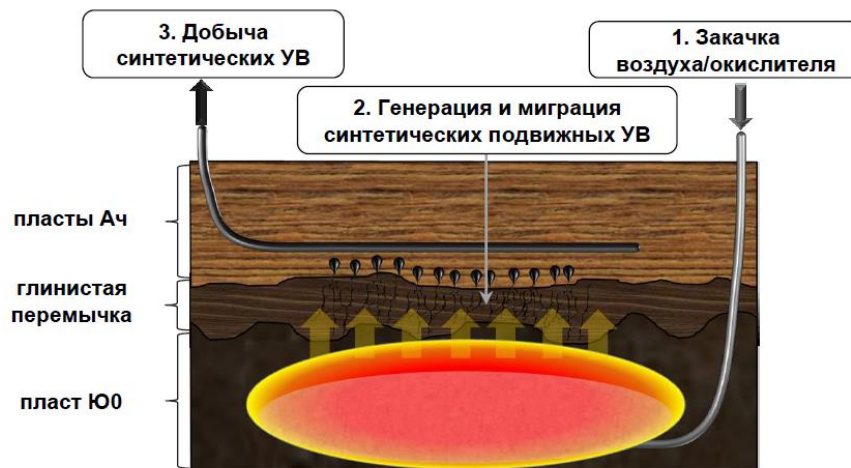


Рисунок 1.2.4.2 – Схематическая иллюстрация предлагаемой технологии

Полувекое освоение объектов баженовской свиты как традиционными способами, так и привнесенными американскими технологиями в настоящее время не позволяет обеспечить рентабельность добычи углеводородного сырья, которая за весь период разработки едва превысила ~10 млн. тонн. Для обеспечения эффективного вовлечения в разработку углеводородного потенциала твердого органического вещества необходимо ускорить процесс

преобразования керогена в подвижные углеводороды, что возможно с помощью изменения термических условий в породах баженовской свиты.

1.3 Опыт лабораторного моделирования теплового воздействия на сланцевые коллекторы

Породы баженовской свиты обладают низкими фильтрационно-емкостными свойствами, по промысловым характеристикам свиту относят к низкопроницаемому коллектору, а сосредоточенные в ней запасы – к трудноизвлекаемым [34]. Поскольку нефть низкопроницаемых коллекторов невозможно добыть традиционными способами, на сегодняшний день разрабатывают множество методов, которые позволяют увеличить нефтеотдачу.

В породах баженовской свиты содержится существенное количество керогена, который при температуре более чем 250°C начинает распадаться на газообразные и жидкие углеводородные компоненты. Поэтому самыми эффективными в плане выработки запасов керогеносодержащих сланцевых пород являются тепловые методы. На данный момент в научных центрах России проводятся лабораторные исследования моделирования тепловых методов, разрабатываются такие технологии добычи сланцевой нефти, как закачка воздуха высокого давления, воды в сверхкритическом состоянии, внутрислоистовый каталитический ретортинг и др.

Закачка воздуха высокого давления предполагает процесс образования в пласте фронта окисления, который при продвижении вытесняет нефть к добывающим скважинам газами горения, паром и нагретым флюидом. Для выявления эффективности данного метода в лабораторных условиях был проведен эксперимент в «трубе горения», изображенной на рисунке 1.3.1 [35].

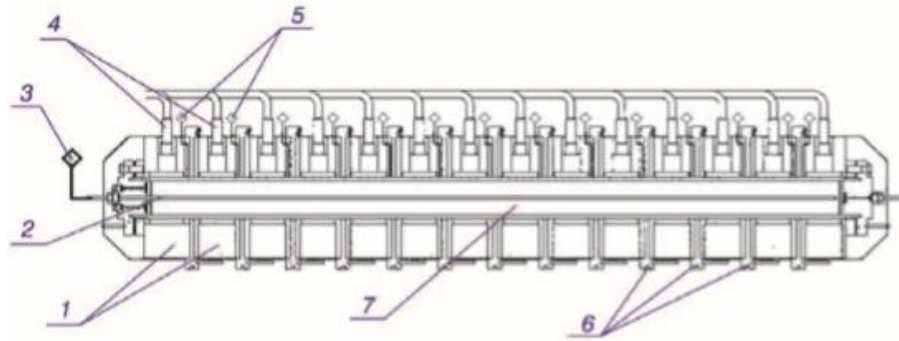


Рисунок 1.3.1 – Схема «трубы горения»:

1 – теплоизоляция; 2 - «ствол» с внутренними датчиками температур; 3 – коммутирующие разъемы внутренних датчиков температур; 4 – секционные нагреватели; 5 – внешние датчики температуры; 6 – межсекционные радиаторы; 7 – «труба горения» [36]

Труба горения была заполнена крошкой породы фракции 0,1–1 мм и консолидированными образцами различной формы (рисунок 1.3.2).

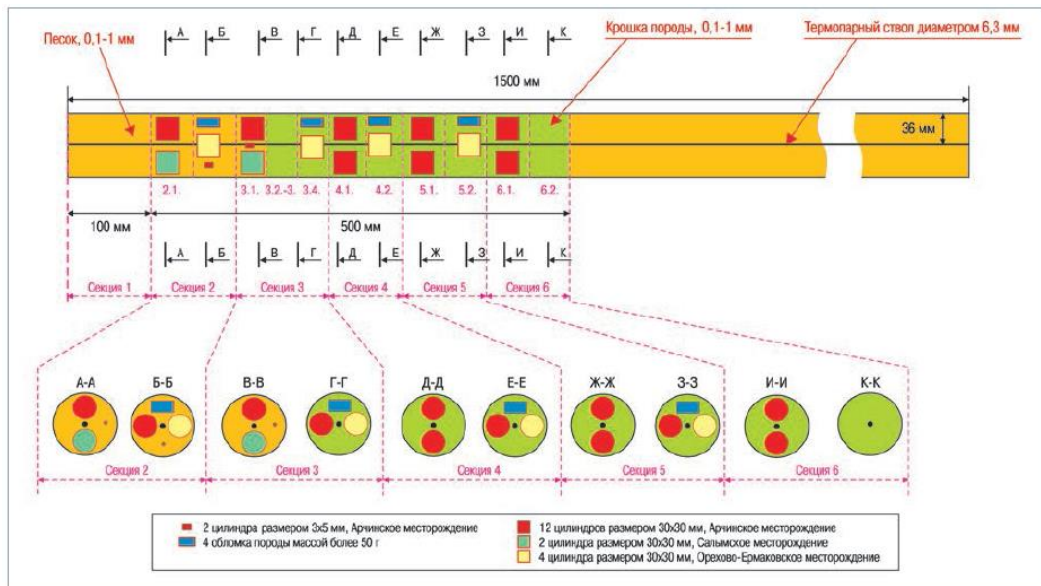


Рисунок 1.3.2 – Схема загрузки образцов и крошки породы, а также песка в трубу горения [36]

Данный эксперимент демонстрирует физическое моделирование непосредственно самого процесса внутрипластового горения. Его суть

заключается в преобразовании закачиваемого воздуха в высокоэффективные смешивающиеся с нефтью вытесняющие агенты за счет внутрислоевых окислительных и термодинамических процессов [36].

Для анализа результатов проведенного эксперимента, описанного в исследовательской работе [35], была проведена оценка изменений характеристик пород с помощью исследований фильтрационно-емкостных свойств пород до и после эксперимента в трубе горения [37].

В работе [37] авторами отмечено стабильное продвижение фронта горения нефти. В таблице 1.3.1 приведены результаты проведенного эксперимента в трубе горения.

Таблица 1.3.1 – Изменение фильтрационно-емкостных свойств пород до и после эксперимента в трубе горения

Номер секции в трубе горения	Номер образца	Максимальная температура, °С	Кп, %	Кпр, 10 ⁻³ мкм ²	Кп, %	Кпр, 10 ⁻³ мкм ²
			До трубы горения		После трубы горения	
2.1	1	300	1,067	0,004	4,04	0,062
2.2	13	368	0,576	0,024	26,07	5,768
3.1	18	430	2,433	0,065	18,39	0,577
3.4	14	461	0,467	0,012	31,92	4,277
4.1	5	462	0,8	0,004	11,25	0,111
5.1	7	348	0,502	0,756	1,99	0,964
5.2	9	257	0,347	0,003	0,75	0,014
6.1	11	207	0,433	0,005	1,16	0,044

Суммарная остаточная нефтенасыщенность по модели после прохождения фронта горения составила 2 %. Пористость и проницаемость значительно возросла, особенно в секциях 3 и 4, где наблюдаются самые высокие температуры. Самое большое увеличение коэффициента пористости наблюдалось для образца 14 (с 0,5% до 32% при температуре 461 °С). Значительное увеличение пористости приводило к увеличению проницаемости на 2 порядка. Данные изменения отмечаются у образцов 13 и 14: от 0,02 до 5,8 и от 0,01 до 4,3 мД соответственно. Минимальное изменения пористости наблюдается в секциях 5 и 6. Поскольку в данных секциях температуры самые низкие, изменения пористости и проницаемости не значительные. Увеличение

проницаемости образцов пропорционально потере массы образцов, что связано с реализацией генерационного потенциала. Анализ изменения геохимических характеристик подтвердил реализацию генерационного потенциала керогена до 90 %.

В качестве другого третичного метода воздействия на породы нетрадиционных углеводородных систем можно привести закачку воды в сверхкритическом состоянии.

Моделирование данного метода проводилось в автоклавах в присутствии воды в условиях, приближенных к пластовым. Цельные и измельченные образцы пород нагревали до температур 200-500 °С. Время воздействия на образцы составляло от нескольких часов до одного месяца. Полученные результаты показали, что получить синтетическую нефть можно при нагреве пород баженовской свиты под давлением при температуре выше 300 °С в присутствии воды. При этом, стоит отметить, что вода не является активным участником процесса крекинга керогена, но при ее отсутствии существенно изменялись строение и состав породы, а нефтяные фракции практически не образовывались. Если же вода в закрытом автоклаве в эксперименте отсутствовала, то преобразование некоторых компонентов происходило, но продукты в жидком состоянии не были получены.

Кроме того, было установлено, что для получения максимального количества синтетической нефти необходимо учитывать степень зрелости керогена и, учитывая это, выбирать условия и время воздействия. Так, для более зрелых образцов время воздействия на породу необходимо увеличить. Также в значительной степени на крекинг керогена влияет температура: ее повышение от 300 до 350–400 °С позволяет за несколько часов выработать генерационный потенциал керогена до 90-95 %. Однако только 30 % генерационного потенциала, реализуемого в результате гидротермальных экспериментов под давлением в закрытых системах, переходит в нефтяные фракции [38].

В некоторых экспериментальных и теоретических исследованиях [39-42] показана эффективность применения закачки углекислого газа в пласт. В ходе

экспериментов по циклической закачке газа в породы бажендовской свиты было установлено, что углекислый газ смешивается с нефтью при давлении 18-20 МПа и температуре 90-110 °С. Как результат, вязкость нефти снижается, а темпы добычи увеличиваются.

В лабораторных условиях также были проведены эксперименты по нагреву образцов в инертной среде и исследованию изменения строения породы. С помощью компьютерной микрофотографии наблюдали изменение пустотного пространства образцов пород. Данный метод основан на регистрации рентгеновского излучения, проходящего через объект, что и позволяет выделять в образцах поры и минералы, составляющие матрицу. На рисунке 1.3.3 продемонстрированы полученные изображения после сканирования образцов.

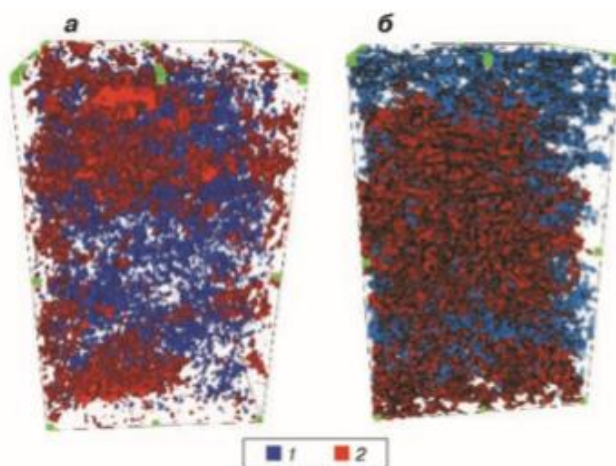


Рисунок 1.3.3 – Пример структуры пустотного пространства в образце породы бажендовской свиты до (а) и после (б) нагрева:

1 –матрица; 2 – поры [38]

Результаты исследований показали, что при воздействии температурой 400-450 °С объем пустотного пространства может увеличиваться до 7 раз. Кроме того, растет и связанная пустотность вследствие создания сети микротрещин и каналов, соединяющих изолированные ранее поры. Образование сети трещин при нагреве до указанной температуры многократно увеличивает проницаемость [38].

Глава 2: «Геологические и технологические параметры исследуемых месторождений» исключена, так как содержит коммерческую тайну.

Глава 3: «Методика исследования» исключена, так как содержит коммерческую тайну.

Глава 4: «Результаты исследования» исключена, так как содержит коммерческую тайну.

Глава 5: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение» исключена, так как содержит коммерческую тайну.

Приложения А, Б, В, Г, Д, Е, Ж исключены, так как содержат коммерческую тайну.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Современные понятия о геологическом строении баженовской свиты позволяют выделить в нем два противоположных по свойствам блока пород. Это порода-коллектор, содержащая легкую нефть, и нефтематеринская порода, содержащая кероген различной степени катагенетической зрелости, который может быть вовлечен в разработку только с помощью тепловых методов повышения нефтеотдачи. Одним из самых перспективных и менее энергозатратных методов, который может быть применен на территории Западной Сибири, является внутрислоевый ретортинг. Технология данного метода позволяет значительно повысить в пласте давление и температуру, привести к преобразованию керогена в синтетическую нефть и вытеснить ее из низкопроницаемых пород.

Поскольку внутрислоевый пиролиз является относительно «новым» в России, для его реализации необходимо провести комплекс лабораторных исследований влияния температуры на фильтрационно-емкостные свойства горных пород баженовской свиты и коэффициент извлечения углеводородов в процессе пиролиза.

В настоящее время многие научные центры (ВНИИнефть, Сколковский институт науки и техники, Инжиниринговый центр МФТИ, «Газпромнефть НТЦ» и т.д.) проводят исследования по моделированию тепловых методов для выявления основных закономерностей влияния температурной обработки на физико-химические свойства образующейся нефти и коллекторские свойства пород баженовской свиты разного литологического состава и разной степени зрелости органического вещества.

В данном разделе будут рассмотрены вопросы производственной безопасности при проведении работ в лабораториях Научного парка и Отделения нефтегазового дела (20 корпус) НИ ТПУ, где проводились исследования теплового воздействия на образцы горной породы баженовской свиты Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Трудовые нормы трудового законодательства

Рассмотрим работу специалиста (лаборанта) в лаборатории геологии месторождений нефти и газа в ТПУ. Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 [70] к работе в химические лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории, а также прошедшие вводный инструктаж о соблюдении мер безопасности, инструктаж на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности.

Согласно Приложениям № 7 и 8 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы лаборанту, работающему по анализу с применением газообразных и легколетучих токсических веществ, дается право на дополнительный отпуск 12 рабочих дней [71], а также устанавливаются доплаты до 24% должностного оклада [72]. Сокращенная продолжительность рабочего времени лаборанта не положена.

Кроме того, работнику лаборатории необходимо выдача специальной одежды, специальной обуви и другие средства индивидуальной защиты бесплатно [73], выдача смывающих и (или) обезвреживающих средств [74], бесплатная выдача молока [75].

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Для работы лаборанта характерно выполнение работ сидя и стоя.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [76] конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности и сиденья и пространства для ног. Если регулирование

невозможно, допускается использовать оборудование с нерегулируемыми параметрами рабочего места, т.е. высота рабочей поверхности при организации рабочего места для мужчин и женщин при рассматриваемой работе лаборанта должна составлять 655 мм, высота сиденья – 420 мм, пространство для ног – не менее 500 мм.

При выполнении работ средней категории стоя высота рабочей поверхности должна составлять 955 мм, а для обеспечения удобного подхода к рабочей поверхности предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине согласно ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ [77].

Используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости [76].

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

В процессе лабораторных исследований работник может столкнуться с проявлением неблагоприятных производственных факторов, которые по результирующему воздействию на организм делятся на вредные факторы, приводящие к заболеваниям, и на опасные факторы, которые приводят к травме (таблица 6.2.1.1).

Таблица 6.2.1.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [78])	Этапы работ		Нормативные документы
	Подготовка образцов	Эксперимент	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [79]
Превышение уровня шума		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [80]. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [81] СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [79]
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [82]
Недостаток искусственной освещенности, прямая и отраженная слепящая блескость, пульсация освещенности	+	+	
Действие вредных веществ на организм		+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [83]. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [84]

Отклонение показателей микроклимата

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха и интенсивность теплового излучения.

Источниками возникновения рассматриваемого фактора могут выступать неотрегулированная система отопления, неисправная система вентиляции и кондиционирования, неорганизованный план перемещения персонала по лаборатории.

Допустимые параметры микроклимата вызывают быструю нормализацию теплового состояния организма работника, сопровождающуюся напряжением механизмов терморегуляции, но могут нарушать состояние теплового комфорта, ухудшать самочувствие и способствовать снижению уровня работоспособности (таблица 6.2.1.2).

Таблица 6.2.1.2 – Допустимые величины параметров микроклимата [79]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более **
Холодный	Ia (до 139)	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0- 26,0	15 - 75 *	0,1	0,1
	Iб (140 - 174)	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0- 25,0	15 - 75	0,1	0,2
	IIa (175 - 232)	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0- 24,0	15 - 75	0,1	0,3
	IIб (233 - 290)	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0- 23,0	15 - 75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0 - 15,9	18,1 - 21,0	12,0- 22,0	15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0 - 22,9	25,1 - 28,0	20,0- 29,0	15 - 75 *	0,1	0,2
	Iб (140 - 174)	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0- 29,0	15 - 75 *	0,1	0,3
	IIa (175 - 232)	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0- 28,0	15 - 75 *	0,1	0,4
	IIб (233 - 290)	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0- 28,0	15 - 75 *	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0 - 17,9	20,1 - 26,0	14,0- 27,0	15 - 75 *	0,2	0,5
* При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со специальными требованиями							
** При температурах воздуха 26 - 28° С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со специальными требованиями							

Для исключения неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, направленные на нормализацию теплового состояния организма работающего (спецодежда, средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха с нормируемыми показателями

микроклимата, регламентация времени непрерывного пребывания в неблагоприятном микроклимате).

Превышение уровня шума

Причинами проявления шумового воздействия на работника могут стать отсутствие или повреждение звукоизоляции, звукопоглощения, несоблюдение перерывов в работе, игнорирование применения средств индивидуальной защиты.

Превышение уровня шума приводит к быстрой утомляемости работника, поскольку оказывает раздражительное влияние. Также шум способен привести к росту ошибок и увеличению времени выполнения поставленных задач [80].

Нормируемыми показателями шума на рабочих местах являются: эквивалентный уровень звука A за рабочую смену; максимальные уровни звука, измеренные с временными коррекциями S (медленно, $\varphi = 1$ с) и I (импульс, $\varphi = 40$ мс); пиковый уровень звука C . Допустимые показатели шума на рабочих местах регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 [79].

В качестве средств индивидуальной защиты для лаборанта предлагается использовать противозумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему [81].

Отсутствие или недостаток естественного света

Нарушение плана расположения рабочей поверхности относительно естественного освещения, работа в темное время суток, нахождение световых проемов в наружных стенах здания в плохо освещаемой зоне может привести к недостатку или отсутствию естественного света, что отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии работника, самочувствии и работоспособности.

Помещение с постоянным пребыванием людей должно иметь естественное освещение. Оно подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное. В рассматриваемых лабораториях есть только боковое естественное освещение, которое можно охарактеризовать с помощью

коэффициента естественной освещенности (КЕО, %). При высокой точности зрительных работ и относительной продолжительности зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70 % КЕО не должно быть менее 1,0 % согласно СП 52.13330.2016 [82].

Недостаток искусственной освещенности, прямая и отраженная слепящая блескость, пульсация освещенности

Недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная пульсация светового потока, повышенная блескость и яркость на рабочей поверхности, клавиатуре при длительной работе приводят к снижению зрительного восприятия, головным болям, развивают близорукость, болезнь глаз.

Требования к освещению помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий (КЕО, нормируемая освещенность, цилиндрическая освещенность, объединенный показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности) следует принимать по таблице 4.2 и приложению К свода правил СП 52.13330.2016 [82].

Действие вредных веществ на организм

В зависимости от норм и показателей, приведенных в таблице 6.2.1.3, устанавливают класс опасности вредных веществ [83].

Таблица 6.2.1.3 – Классификация вредных веществ по степени воздействия на организм вредные вещества

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/ м	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500

Продолжение таблицы 6.2.1.3

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих. Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны должен проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005 [84].

Для минимизации воздействия данного фактора в первую очередь необходимо:

- применение средств индивидуальной защиты работающих;
- специальная подготовка и инструктаж обслуживающего персонала;
- проведение периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами;
- контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с требованиями.

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Для обеспечения снижения влияния выявленных опасных и вредных факторов на лаборанта предполагается провести следующие мероприятия:

- использование средств индивидуальной защиты;
- введение регламентированных дополнительных перерывов;
- проведение обязательных предварительных и периодических медосмотров;
- устранения нарушений, обнаруженных несоответствий (ремонт или установка звукоизоляции, звукопоглощения, системы вентиляции, регулирование системы отопления, замена устройств искусственного освещения и т.д.);
- контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с требованиями;
- организованный план передвижения персонала по лаборатории.

6.2.3 Расчет системы общего равномерного искусственного освещения

Дано помещение с размерами: длина $A = 8$ м, ширина $B = 5$ м, высота $H = 4,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 500$ лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 30\%$, потолка $R_n = 50\%$. Коэффициент запаса $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$. Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Тип выбранного светильника – плафон потолочный для общего освещения закрытых сухих помещений Л71Б03, мощность ламп 10x30 Вт (таблица 6.2.3.1). $\lambda = 1,2$.

Таблица 6.2.3.1 – Характеристики плафона потолочного Л71Б03 с люминесцентными лампами [85]

Количество и мощность лампы	Область применения	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	КПД, %
10x30	Освещение производственных помещений с нормальными условиями среды	1096	1096	187	45

Для борьбы со слепящим действием источников света на рабочем месте введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом.

На рисунке 6.2.3.1 изображены основные расчетные параметры для размещения светильников.

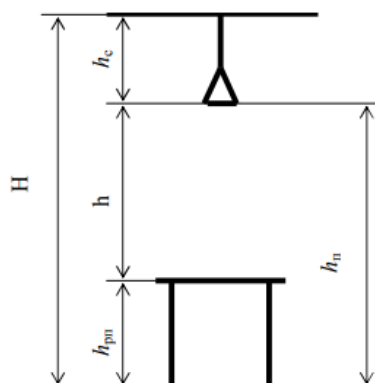


Рисунок 6.2.3.1 – Основные расчетные параметры [85]

Наилучшими вариантами равномерного размещения светильников являются шахматное размещение и по сторонам квадрата (расстояния между светильниками в ряду и между рядами светильников равны) (рисунок 6.2.3.2).

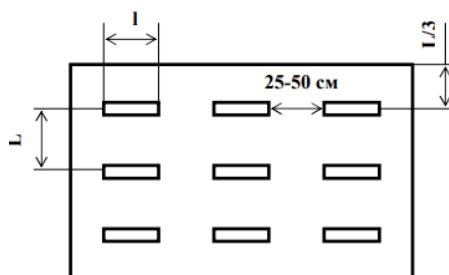


Рисунок 6.2.3.2 – Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп [85]

Приняв $h_c = 0,2$ м, определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{\text{рп}} = 4,5 - 0,2 - 0,8 = 3,5 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

$$L = 1,2 \cdot 3,5 = 4,2 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$\frac{L}{3} = 1,4 \text{ м.}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 4,2)}{4,2} + 1 \approx 2$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(8 - \frac{2}{3} \cdot 4,2)}{1,096 + 0,5} \approx 4$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 плафона Л71Б03 с мощностью 30 Вт (с длиной 1,096 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 27 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 6.2.3.3). Учитывая, что в каждом светильнике установлено 10 ламп, общее число ламп в помещении $N = 80$.

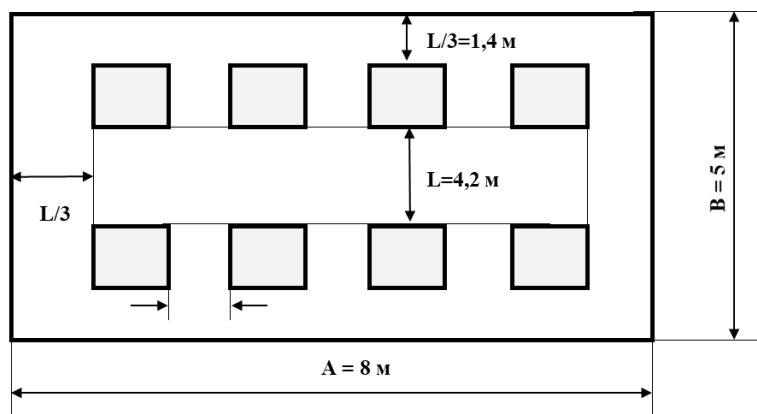


Рисунок 6.2.3.3 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{40}{3,5 \cdot (8 + 5)} = 0,88$$

Определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,27$ [85].

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы Φ определяется по формуле 6.2.3.1:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} \quad 6.2.3.1$$

где E_n – нормативная освещённость по СП 52.13330.2016 [82], лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

N_l – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов. Световой поток Φ составил 1528.

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 30 Вт с потоком 1650 лм. Делаем проверку выполнения условия (формула 6.2.3.2):

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad 6.2.3.2$$

Получаем: $-10\% \leq 7,39\% \leq +20\%$.

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 80 \cdot 30 = 2400 \text{ Вт.}$$

Таким образом, для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте были произведены расчеты общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности. В результате произведенного расчета был выбран плафон потолочный для общего освещения закрытых сухих помещений Л71Б03, мощность ламп 10x30 Вт. Для помещения размером 40 м² (5*8 м) необходимо установить 8 таких плафонов (в 2 ряда по 4 плафона). Согласно заданным условиям необходимой освещенности помещения, был произведен выбор в пользу люминесцентной лампы с излучением дневного цвета ЛД 30 Вт с потоком 1650 лм. Для 8 плафонов необходимо использовать 80 ламп.

Расчет светового потока показал, что подобранная осветительная установка отвечает необходимым требованиям (СП 52.13330.2016 [82]). Электрическая мощность осветительной установки составила 2400 Вт.

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Анализ влияния объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду

При исследовании кернового материала горной породы не было выявлено отрицательного воздействия данного объекта на окружающую среду. После выполнения всех анализов образцы керна и его остатки сохраняются в лаборатории. Коллекции исследованных образцов подлежат длительному хранению, поскольку они являются фактическим материалом, необходимым для контроля достоверности ранее полученной информации, проведения анализов с применением новых методов согласно РД 39-0147716-505-85 [86].

6.3.2 Анализ влияния применения объекта исследования на окружающую среду

Исследование теплового воздействия на горные породы баженовской свиты предполагает моделирование внутрипластового пиролиза на конкретных месторождениях при применении технологии внутрипластового ретортинга. В основе данной технологии лежит тепловое воздействие на углеводородосодержащие пласты с использованием рабочего теплового агента.

Защита атмосферы

Основным источником загрязнения атмосферы при применении данной технологии могут выступать выделяющиеся углеводороды. Класс опасности вредных веществ устанавливается согласно ГОСТ 12.1.007-76 [83], контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны производится в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [84]. Также обязательно устанавливаются санитарно-защитные зоны в соответствии с санитарной классификацией

предприятий, производств и объектов [87]. Чистота атмосферного воздуха обеспечивается путем сокращения абсолютных выбросов газов и обезвреживанием выбросов, содержащих вредные вещества.

Защита гидросферы

Из-за утечки газа возле неисправных скважин в подземных водах значительно превышен уровень метана и тяжелых металлов. Использование водного ресурса для личных и фермерских нужд не представляется возможным. ГОСТ 17.1.3.06-82 [88] определяет общие требования к охране подземных вод от загрязнений. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2016 г. N 94 г. Москва «Об утверждении Правил охраны подземных водных объектов» устанавливает мероприятия по охране подземных водных объектов и порядок их осуществления [89].

Защита литосферы

На первом этапе подготовки месторождения к добыче бурятся добывающие и нагнетательные скважины. Для обеспечения охраны недр предусматривается строительство скважин в соответствии с действующими требованиями технологии бурения, крепления и испытания скважин в соответствии с ВРД 39-1.13-057-2002 [90].

Технология внутрипластового ретортинга предполагает, что тепловой агент (воздух), нагреваясь в отработанных пластах за счет сгорания тяжелых углеводородных остатков, поступает в новые пласты. Таким образом, возможно возникновение внутрипластового горения, недостатки которого связаны с необходимостью принятия мер по охране недр [91] и утилизации продуктов горения [92].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных природных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

В качестве природной ЧС можно отметить грозу и молнию. Молния – это гигантский электрический искровой разряд. Сопровождается ослепительной вспышкой и громом. Температура разряда молнии достигает до 300 000 °С.

Для снижения опасности поражения молнией объектов промышленности, зданий и сооружений устраивается защита в виде заземленных металлических мачт и натянутых высоко над сооружениями объекта проводами.

Согласно Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 N 68-ФЗ определяются основные принципы составления плана и заработка действий для ликвидации ЧС природного и техногенного характера [93].

Для установки общих принципов защиты от молнии зданий, сооружений и их частей, включая находящихся в них людей, инженерных сетей, относящихся к зданию (сооружению), и других объектов существует Национальный стандарт РФ – ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии [94].

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

В процессе проведения исследований в лаборатории возможны чрезвычайные ситуации техногенного характера: пожар и взрыв на коммуникациях и технологическом оборудовании.

Возникновение пожара часто связано с неисправностью электрических приборов.

В лаборатории установлены баллоны с газами. При нарушениях правил эксплуатации, хранения и транспортировки баллонов возможна утечка содержимого газа. При определенной концентрации и возникновении искрения в неисправных электрических приборах газовоздушная смесь взрывается.

6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность в ФГАОУ ВО НИ ТПУ обеспечивается в соответствии с требованиями Федерального Закона о пожарной безопасности № 69-ФЗ от 21.12.1994 г., правилами противопожарного режима в Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. №390) и другими нормативно-правовыми актами по организации и обеспечению ПБ [95].

Во избежание утечек газовой смеси из баллонов необходимо соблюдать ПБ 10-115-96 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением [96].

При обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении необходимо действовать согласно Инструкции о мерах пожарной безопасности (Приложение №2 к Приказу от 21.06.2013 № 52/од «О мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности») [95].

Вывод:

Лабораторные исследования играют огромную роль в нефтегазовой сфере. С их помощью представляется возможным смоделировать процессы, происходящие в пласте, произвести расчеты для разработки и использования новых технологий.

Однако в процессе работы в лаборатории могут возникнуть неблагоприятные ситуации, связанные с возникновением опасных и вредных производственных факторов, экологическими опасностями, и непредвиденными ЧС. Данные ситуации приводят к увеличению времени выполнения необходимых исследований и снижению работоспособности персонала. Поэтому необходимо рассмотреть возможные последствия и влияние данных лабораторных исследований на человека и окружающую среду. В разделе рассмотрены нормативные документы, которые позволят

исключить несчастные случаи и снизить вредное воздействие на окружающую среду.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были определены оптимальные технологические параметры проведения внутрислоевого пиролиза на Мамонтовском нефтяном и Приобском нефтяном месторождениях.

В ходе изучения особенностей геологического строения баженовской свиты было установлено, что данный объект является и коллектором, содержащим легкую нефть, и нефтематеринкой породой, содержащей значительное количество керогена, который при высоких температурах способен преобразовываться в синтетическую нефть. Добычу сланцевой нефти баженовской свиты затрудняют геологическое строение, отличающееся переслаиванием низко- и высокоглинистых пород, и геологические условия залегания, обусловленные низкими фильтрационно-емкостными свойствами, высокими пластовыми температурами и давлениями.

На сегодняшний день существует множество отечественных и зарубежных технологий добычи сланцевой нефти, одной из самых популярных является горизонтальное бурение с проведением многостадийного ГРП. Однако данная технология позволяет извлечь только легкую нефть. В связи с высоким содержанием органического вещества в виде керогена в породах баженовской свиты наиболее перспективными способами разработки являются технологии внутрислоевого ретортинга, позволяющие под действием высоких температур искусственно ускорять преобразование керогена в жидкие и газообразные углеводороды.

Одни из крупнейших в Западной Сибири Мамонтовское и Приобское месторождения находятся на завершающей стадии разработки. Но наличие большого фонда скважин и развитой инфраструктуры на месторождениях позволяет перейти на добычу нефти из баженовской свиты, в горных породах которых содержится значительное количество керогена, которое возможно вовлечь в разработку с помощью теплового воздействия.

Для проведения лабораторного моделирования теплового воздействия на

породы баженовской свиты были отобраны образцы из разведочной скважины Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений.

В ходе проведения лабораторных экспериментов было установлено:

1. Термическое воздействие на породы БС в пределах рассматриваемых месторождений позволяет существенно улучшить ФЕС в диапазоне температур от 160 до 340 °С за счет пиролиза асфальтено-смолистых веществ, керогена и потери кристаллизационной воды глинистых компонентов, приводящей к их растрескиванию.

2. Эффективность проведения внутрипластового пиролиза напрямую зависит от содержания органического вещества в горных породах баженовской свиты.

3. Тепловое воздействие на породы баженовской свиты позволяет вовлечь в разработку жидкие углеводороды и потенциальную нефть керогена за счет формирования дренируемых зон с улучшенными ФЕС к добывающим скважинам.

4. Оптимальной температурой проведения внутрипластового пиролиза в кислородной среде для образцов керна баженовской свиты в пределах Мамонтовского месторождения является 340 °С, Приобского – 320 °С.

Полученные результаты лабораторного моделирования внутрипластового пиролиза могут стать основой для дальнейшего проектирования в компьютерном симуляторе и опытно-промышленных испытаний технологии внутрипластового пиролиза горных пород баженовской свиты в пределах Мамонтовского нефтяного и Приобского нефтяного месторождений с целью повышения нефтеотдачи пласта Ю₀.

Список публикаций

1. Горшков А. М., Хомяков И. С., Субботина М. В., Мазурова А. С., Алтиева А. Е., Мырзабаева А. Влияние высоких температур на фильтрационно-емкостные свойства горных пород баженовской свиты (Influence of high temperatures on reservoir properties of Bazhenov Formation rocks) // Энергоресурсоэффективность в интересах устойчивого развития: сборник научных трудов Международной научной конференции, Томск, 12-16 Ноября 2018. – Томск: ТПУ, 2018 – С. 229-231.
2. Субботина М. В. , Мазурова А. С. , Горшков А. М. Особенности применения тепловых методов воздействия на пласт для сланцевых коллекторов// Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева, 135-летию со дня рождения академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири, Томск, 2-7 Апреля 2018. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018 – Т. 2 – С. 201-203.
3. Субботина М. В., Мазурова А. С., Горшков А. М., Хомяков И. С. Экспериментальное исследование влияния теплового воздействия на коллекторские свойства горных пород баженовской свиты // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 8-12 Апреля 2019. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019 – Т. 2 – С. 181-183.
4. Мазурова А. С. , Субботина М. В. , Горшков А. М. , Хомяков И. С. Лабораторное исследование влияния степени катагенеза органического вещества на технологические параметры проведения внутрислоевого пиролиза с целью повышения нефтеотдачи пород баженовской свиты //

Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 6-10 Апреля 2020. - Томск: Изд-во ТПУ, 2020 - Т. 2 - С. 104-105.

5. Gorshkov A. M., Khomyakov I. S., Mazurova A. S. Some Aspects to Develop Method for Determining the Open Porosity of Ultralow-Permeability Rocks on Crushed Core (Article number 022068) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021 - Vol. 459. - p. 1-7. doi: 10.1088/1755-1315/459/2/022068.

Список использованных источников

1. Грушевенко Д. Нефть сланцевых плеев – новый вызов энергетическому рынку? / Д. Грушевенко // Нефтегазовая вертикаль аналитический журнал: –М: Москва, 2012 - №11.
2. Немова В. Д., Матюхина Т. А. Зависимость содержания и состава органического вещества от литологических типов пород баженовской свиты // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 4. – С. 23-26.
3. Афанасьев И.С., Гаврилова Е.В., Бирун Е.М., Калмыков Г.А., Балущкина Н.С. Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010. – № 4. – С. 20 – 25.
4. Вассоевич Н. Б. Исходное вещество для нефти и газа // Происхождение нефти и газа и формирование их месторождений. – М.: Недра, 1972. – С. 39-70.
5. Конторович А. Э., Нестеров И. И., Салманов Ф. К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. – М.: Недра, 1975. – 679 с.
6. Афанасьев И.С., Гаврилова Е.В., Бирун Е.М., Калмыков Г.А., Балущкина Н.С. Баженовская свита. Общий обзор. Нерешённые проблемы // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010 - № 4. – С. 20-25.
7. Билибин С.И., Калмыков Г.А., Ганичев Д.И., Балущкина Н.С. Модель нефтесодержащих пород баженовской свиты // Научно-технический журнал ЕАГО. – 2015. - № 3. – С. 2-15.
8. Севастьянов А.А., Коровин К.В., Зотова О.П., Зубарев Д.И. Перспективы добычи нефти из отложений баженовской свиты // Neftegaz.RU. – 2018 - №3. – С. 35-40.
9. «Газпром нефть» совершенствует технологии разработки баженовской свиты [Электронный ресурс]: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-sovershenstvuet-tekhnologii-razrabotki-bazhenovskoy-svity/> (Дата обращения: 10.03.2022).

10. Устинова Т. Пошли в свиту. Oil & Gas Journal Russia, июнь/июль 2014г. С. 23-27
11. Танурков В. Добыча сланцевой нефти в России не имеет экономического смысла. Текст: электронный // «Российская Бизнес-газета» Инновации №847 – 2012. – 15 мая. – URL: <https://rg.ru/2012/05/15/neft.html> (дата обращения: 11.03.2022).
12. Выгон Г. Возможна ли сланцевая революция в России? «Россия во главе новой сланцевой революции». Текст: электронный // Круглый стол. Издательский дом «Коммерсантъ» и концерн «Шелл» – 2013. URL: https://www.kommersant.ru/conf/files/docs/234/KommersantShell_20130625.pdf (дата обращения: 11.03.2022).
13. Zolotukhin A., Bokserman A., Kokorev V., Shchekoldin K. New Upstream and Downstream Technologies for Extra Heavy Oils. SPE Heavy Oil Conference Canada held, Calgary, Alberta, Canada, 2012.
14. Кирсанов Я.В. Высокотемпературное окисление пород пласта Ю₀ [баженовской свиты Сахалинского и Быстринского месторождений]: (инициирование, кинетика). V конференция молодых специалистов организаций, осуществляющих виды деятельности, связанной с использованием участками недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа - Югры (Ханты-Мансийск, 16-18 февраля 2005 г.): сб. тез. докл. - Уфа, 2005. - С. 150-156.
15. Зорина С. Баженовские вызовы. «Газпромнефть» реализует технологическую стратегию разработки нетрадиционных запасов / С. Зорина – Текст: электронный // Журнал сибирская нефть №121 – 2015. URL: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneftonline/archive/2015-may/1108060/>
16. Merrill, R.K., 1991, Preface to this volume, in Merrill, R.K. (ed.), Source rock and migration processes and evaluation techniques: American Association of Petroleum Geologists, Treatise of petroleum geology, Handbook of petroleum geology, pp. xiii-xvii.

17. Peters, K.E., Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, v. 70, – 1986 – pp. 318-329.
18. Шустер В.Л., Пуанова С.А. Нетрадиционные трудноизвлекаемые ресурсы нефти и газа: проблемы освоения и экологии // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 3. – С. 14-18.
19. Листик А.Р., Попов Н.Г., Ситников А.Н., Асмандияров Р.Н., Шеремеев А.Ю., Зулькарниев Р.З., Колупаев Д.Ю., Чебыкин Н.В. Выбор лучших технологических решений для повышения эффективности применения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта на Приобском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 1130. – С. 46-49.
20. Гладков Е.А. Прострелочно-взрывные работы при разработке низкопроницаемых коллекторов многостадийным ГРП // Oil&Gas J. Russia. – 2014. – № 11. – С. 18–20.
21. Гладков Е.А. Проведение прострелочно-взрывных работ под ГРП по технологии Plug&Perf для низкопроницаемых коллекторов Западной Сибири // Горные ведомости. – 2015. – № 1. – С. 52–57.
22. Гладков Е.А., Гладкова Е.Е., Карпова Е.Г. Применение технологии Plug&Perf в Западной Сибири при разработке низкопроницаемых коллекторов // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 5. – С. 30-33.
23. Щеколдин К.А. «Обоснование технологических режимов термогазового воздействия на залежи бажендовской свиты», Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва. – 2016г. – 105 с.
24. Partha S. Sarathi. In-situ combustion handbook - principles and practices. Final Report, November 1998. Performed Under Contract No. DE-AC22-94PC91008 (Original Report Number NIPER/BDM-0374). BDM Petroleum Technologies, BDM-Oklahoma, Inc. Bartlesville, Oklahoma, National Petroleum Technology Office U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, Tulsa, Oklahoma,

http://repository.icse.utah.edu/dspace/bitstream/123456789/5336/2/DOE-PC_91008-0374-OSTI_ID-3175-.pdf.

25. Антониади Д.Г., Гарушев А.Р., Ишханов Б.Г. Настольная книга по термическим методам добычи нефти. Краснодар: Советская Кубань, 2000.
26. Бурже Ж., Сурио П., Комбарну М. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов. М.: «Недра», 1988.
27. Petroleum Engineering Handbook. Chapter 46. Thermal Recovery by Chieh Chu // <http://ru.scribd.com/doc/221532349/46-Thermal-Recovery>.
28. Tunio A.H. To Investigate the Use of Air Injection to Improve Oil Recovery from Light Oil Reservoirs // PhD. Thesis, 2008. <http://prh.hec.gov.pk/Thesis/602S.pdf>.
29. Burnham A.K. Chemical Kinetics and Oil Shale Process Design // Lawrence Livermore National Laboratory, July 1993.
30. Burnham A.K., Braun R.L. General Kinetic Model of Oil Shale Pyrolysis // Lawrence Livermore National Laboratory, December 1984; In-Situ, Vol.9(1), pp. 1 – 23, 1985.
31. Forsberg Ch. W. High-Temperature reactions for Underground Liquid-Fuels Production with Direct Carbon Sequestration // Proceedings of ICAPP, 2008, Paper 24.
32. Кокорев В.И. Техничко-технологические основы инновационных методов разработки месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами нефти // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук: ИПНГ РАН. - М., 2010.
33. РИТЭК: Термогазовое воздействие на залежи баженовской свиты// РОГТЕС Российские нефтегазовые технологи. - №35.
34. Недоливко Н.М., Перевертайло Т.Г. Литолого-петрографические особенности коллекторов баженовской свиты на юго-востоке Западной Сибири (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 1. – С. 77-87.

35. Бондаренко Т.М., Попов Е.Ю., Черемисин А.Н., Козлова Е.В., Карпов И.А., Морозов Н.В. Лабораторное моделирование процесса закачки воздуха высокого давления на месторождениях баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 34-39.
36. Никитина Е.А., Толоконский С.И., Гришин П.А. Особенности теплового воздействия на керогенсодержащую породу баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 68-71.
37. Бондаренко Т.М., Мухаметдинова А.З., Попов Е.Ю., Черемисин А.Н., Калмыков А.Г., Карпов И.А. Анализ изменения свойств пород баженовской свиты в результате закачки воздуха высокого давления на основе лабораторного моделирования // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 40-44.
38. Попов Е.Ю., Бондаренко Т.М., Добровольская С.А., Калмыков А.Г., Морозов Н.В., Ерофеев А.А. Потенциал применения третичных методов воздействия на нетрадиционные углеводородные системы на примере баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2017. № 3. С. 54-57.
39. Iglauer S., Al-Yaseri M.S.A., Lebedev M., Permeability evolution in sandstone due to injection of CO₂-saturated brine or supercritical CO₂ at reservoir conditions, Proceedings of GHGT-12, 2014.
40. Y Zhang.P., Sayegh S.G., Huang S.S., Dong M., Laboratory investigation of enhanced light oil recovery by CO₂, Flue Gas Huff-n-puff Process, Journal of Canadian Petroleum Technology, 2006, V. 45(2), pp. 24–32.
41. Yu W., Lashgari H., Sepehrnoori K., Simulation study of CO₂ huff-n-puff process in Bakken tight oil reservoirs, Proceedings of Western North American and Rocky Mountain Joint Conference and Exhibition, 2014.
42. Kong B., Wang S., Chen S., Simulation and optimization of CO₂ huff-and-puff processes in tight oil reservoirs, SPE 179668-MS, 2016, DOI:10.2118/179668-MS.
43. Карагодин Ю.Н. Приобская нефтеносная зона Западной Сибири. Системно-литмологический аспект. Карагодин Ю.Н., Ершов С.В., Сафонов В.С. и др.: - Новосибирск, 1996. – 252 стр.

44. Багаутдинов А.К. Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных и нефтегазовых месторождений России. – Т.2 – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1996. – 352 стр.
45. Изотова Т.С., Денисов С.Б., Вендельштейн Б.Ю. Седиментологический анализ данных промысловой геофизики. М.: «Недра», 1993.
46. Нежданов А.А. Сейсмогеологический прогноз и картирование неантиклинальных ловушек нефти и газа в Западной Сибири. М.: «Геоинформмарк», 1992.
47. Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных и нефтегазовых месторождений России / Абдулмазитов Р. Д. [и др]. – М.: ВНИИОЭНГ. – 1996. – Т. 1. – С. 280.
48. Проект разработки Мамонтовского месторождения. – Уфимский филиал ООО «ЮганскНИПИнефть». – Уфа. - 2000 г.
49. ГОСТ 9965-76. Общие правила и нормы. Нефть для нефтеперерабатывающих предприятий.
50. Тренин Ю.А., Лигус В.Е., Подсчет запасов нефти и растворенного газа Приобского месторождения Ханты-Мансийского района Тюменской области. Тюмень, 1988 г.
51. Технологическая схема разработки Приобского месторождения (СЛТ, ЮЛТ, Верхне и Средне – Шапшинское месторождение), утвержденный ЦКР Роснедра (протокол №5334 от 29.12.2011 г.).
52. Солодовников А.Ю., Солодовников Д.А. К вопросу географии добычи сланцевой нефти в Тюменской области // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: Материалы международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2016. – С. 197-198.
53. Попов Е.Ю., Черемисин А.Н., Куликов Л.А., Карпов И.А. Оценка изменения фильтрационно-емкостных свойств пород баженовской свиты в процессе моделирования гидротермального воздействия // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 45-49.

54. ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением.
55. Luffel D.L., Hopkins C.W. Matrix Permeability Measurement of Gas Productive Shales. SPE Annual Technical Conference and Exhibition (3–6 October, Houston, Texas, USA). SPE 26633-MS, – 1993.
56. ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации.
57. Горшков А.М. Методика определения пористости ультранизкопроницаемых пород баженовской свиты на дезинтегрированном керне // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 12. – С. 129-133; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36618> (дата обращения: 29.04.2022).
58. GRI-95/0496 Development of Laboratory and Petrophysical Technigues for Evaluating Shale Reservoirs/ Final technical report. – Gas Research Institute. Chicago, Illinois. October 1986 – September 1993.
59. Эксплуатация нетрадиционных залежей. Анализ кернов методом GRI (анализ дробленых сланцев) [Электронный ресурс] <https://www.corelab.com/ru/ps/gri-analysis> (дата обращения: 28.04.2022).
60. Баталин О.Ю., Вафина Н.Г. Формы захвата свободных углеводородов керогеном // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10. – С. 418–425.
61. Козлова Е.В., Спасенных М.Ю., Калмыков Г.А., Гутман И.С., Потемкин Г.Н., Алексеев А.Д. Баланс углеводородных соединений нефтяного ряда в пиролизуемом органическом веществе баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 18-21.
62. Espitalie J., Bordenave M.L. Rock-Eval pyrolysis // Applied Petroleum Geochemistry. Technip ed. – 1993. – P. 237–361.
63. Ермолкин В. И. Геология и геохимия нефти и газа: учебник для вузов / В. И. Ермолкин, В. Ю. оглы Керимов. – М.: Недра, 2012.

64. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев [и др.]; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
65. Спиридонова, Е. А. Управление инновациями: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Е. А. Спиридонова. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 298 с.
66. ГОСТ РД 50-492-84. Методика оценки научно-технического уровня АСУ. Типовые положения.
67. Прогноз социально-экономического развития. – Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/. (Дата обращения: 24. 04.2022).
68. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 19.07.2000 № 118-ФЗ (ред. от 26.03.2022) / [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (Дата обращения: 24. 04.2022).
69. Об утверждении классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска: Приказ N 851н от 30.12.2016 Министерства труда и социальной защиты РФ (в ред. Приказа Минтруда России от 10.11.2021 N 788н) [Электронный ресурс]. – URL: <http://mvf.klerk.ru/spr/spr143.htm> (Дата обращения: 29. 04.2022).
70. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
71. Приложение № 8 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.
72. Приложение № 7 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.
73. Приложение № 10 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

74. Приложение № 11 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.
75. Приложение № 12 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.
76. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
77. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
78. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
79. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
80. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
81. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
82. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
83. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
84. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
85. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.
86. РД 39-0147716-505-85. Порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин.

87. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
88. ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.
89. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2016 г. N 94 г. Москва «Об утверждении Правил охраны подземных водных объектов».
90. ВРД 39-1.13-057-2002. Регламент организации работ по охране окружающей среды при строительстве скважин.
91. ПБ 07-601-03. Правила охраны недр.
92. ГОСТ Р 57703-2017 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отработанных нефтепродуктов.
93. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 N 68-ФЗ.
94. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии.
95. Приложение №2 к Приказу от 21.06.2013 № 52/од «О мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности».
96. ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.