



На правах рукописи

Щеколдин Константин Александрович

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ТЕРМОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАЛЕЖИ
БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Специальность 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Золотухин Анатолий Борисович

Официальные оппоненты: **Иктисанов Валерий Асхатович**,
доктор технических наук, профессор
институт «ГатНИПИнефть»,
главный научный сотрудник
Вольпин Сергей Григорьевич,
кандидат технических наук,
ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН,
заведующий отделом.

Ведущая организация: ОАО «Институт геологии и разработки горючих ископаемых» (ОАО «ИГиРГИ»).

Защита состоится 16 июня 2016 г. в ауд. 232 в 17 час. на заседании Диссертационного совета Д 212.200.15 на базе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина: 119991, Москва, Ленинский проспект, 65, корп. 1.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и на официальном сайте <http://www.gubkin.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета,
кандидат технических наук



Е.В. Богатырева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Основные запасы нетрадиционных углеводородов в Российской Федерации сосредоточены в нефтематеринских породах баженовской свиты, распространенных на площади свыше 1 млн км². Отложения баженовской свиты являются аналогом нефтеносных сланцев, но отличительной их особенностью является то, что процесс преобразования органического вещества в нефть еще не завершен. Поэтому углеводороды залежи баженовской свиты содержатся в двух формах – легкой нефти и керогене, среднее содержание которого составляет 23,3%.

В настоящее время огромный потенциал баженовской свиты используется неэффективно: накопленный опыт свидетельствует о том, что применение традиционных способов разработки позволяет извлечь всего 3-5% запасов нефти, содержащихся в поровом пространстве.

С целью освоения запасов баженовской свиты ведется разработка отечественной технологии термогазового воздействия (ТГВ), актуальность развития которой в настоящее время дополнена веским аргументом – необходимостью импортозамещения. Данная технология создана на основе интеграции тепловых и газовых методов увеличения нефтеотдачи и предполагает закачку в пласт воздуха и воды. Оценки показывают, что реализация данной технологии позволит увеличить нефтеотдачу залежей баженовской свиты до 35-40%.

Крупный проект по исследованию ТГВ осуществляется при непосредственном участии автора диссертационной работы на Средне-Назымском месторождении АО «РИТЭК». Результаты, полученные на опытных участках компании, могут стать основой для широкомасштабного применения данной технологии.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты за счет комплексного

регулирования темпа закачки рабочего агента, водовоздушного отношения и использования нагнетаемого агента с повышенным содержанием окислителя.

Основные задачи исследований

1. Определение конверсии образцов керогенсодержащих пород баженовской свиты в жидкие углеводороды при их нагреве в диапазоне температур, соответствующих условиям реализации технологии ТГВ на залежи баженовской свиты, для уточнения аналитической модели ТГВ.

2. Определение кинетических параметров реакции окисления пород баженовской свиты для уточнения аналитической модели ТГВ.

3. Определение эффективных режимов ТГВ с применением комплексного управления параметрами технологии на основе результатов лабораторных экспериментов и моделирования.

4. Обоснование эффективности применения нагнетаемого агента с повышенным содержанием окислителя для реализации комплексно управляемой технологии ТГВ на залежи баженовской свиты.

5. Проверка результатов численных исследований ТГВ в промысловых условиях.

Научная новизна

1. Разработан и предложен способ повышения эффективности ТГВ на основе комплексного управления следующими параметрами технологии: содержанием окислителя в нагнетаемом агенте, темпом закачки рабочих агентов и величиной водовоздушного отношения.

2. Исследованы основные особенности извлечения нефти на основе комплексно регулируемой технологии ТГВ на залежи баженовской свиты для условий Средне-Назымского месторождения.

3. Обосновано протекание окислительных процессов в залежах баженовской свиты при реализации комплексно регулируемой технологии ТГВ в промысловых условиях.

Основные защищаемые положения

1. Повышение эффективности ТГВ на залежи баженовской свиты за счет комплексного регулирования технологии и использования нагнетаемого агента с повышенным содержанием окислителя.
2. Рекомендуемые параметры реализации комплексно регулируемой технологии ТГВ на Средне-Назымском месторождении при использовании в качестве рабочих агентов атмосферного воздуха и воды: темп закачки воздуха 44-59 тыс. норм. м³/сут., водовоздушное отношение 0,0016-0,0023.
3. Обоснование протекания окислительных реакций в пласте при реализации комплексно регулируемой технологии ТГВ на участке в районе скважины №3003 Средне-Назымского месторождения.

Практическая ценность работы

Полученные в результате исследований основные параметры комплексно регулируемой технологии ТГВ использованы при подготовке «Технологической схемы разработки Средне-Назымского месторождения» (2016 г.), проведении проектно-изыскательских работ «Установка для проведения экспериментально-промысловых работ по опробованию термогазового воздействия. Куст №3 Средне-Назымского лицензионного участка (скважина № 210)» (2013 г.), а также при выполнении НИОКР по теме: «Совершенствование технологии термогазового воздействия для условий опытных участков в районе скв. №219 и 210 Средне-Назымского месторождения» (2012-2013 гг.).

Параметры работы оборудования, полученные в рамках исследований, используются при проведении опытно-промышленных работ на Средне-Назымском месторождении.

Предложенные принципы регулирования технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты позволяют увеличить охват воздействием, повысить степень извлечения нефти из недраенируемой части пород баженовской свиты и, как следствие, увеличить КИН.

Апробация работы

Результаты и основные положения диссертационного исследования были представлены автором и обсуждались на следующих научно-технических конференциях, выставках и конкурсах: Российская техническая нефтегазовая конференция и выставка SPE (2010, 2013, 2014, Москва); X Конференция молодых ученых и специалистов организаций Группы «ЛУКОЙЛ» (2013, Ухта); Международная конференция Nanotechoilgas (2014, Москва); Конференция молодых ученых и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (2013, 2014, Москва); Международная молодежная научная конференция «Нефть и Газ» (2013, 2014, Москва); XIV конференция молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (2014, Ханты-Мансийск); Конференция молодых ученых и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (2014, Тюмень); Конкурс научно-технических разработок среди молодежи предприятий и организаций топливно-энергетического комплекса «ТЭК-2014» (2014, Москва); Конференция «Контроль и автоматизация технологических процессов в нефтегазовой отрасли» (2010, Геленджик); Конкурс «Лучший ЭКО-проект года организаций Группы «ЛУКОЙЛ» (2013, Москва); Конкурс «Лучшая научно-техническая разработка организаций Группы «ЛУКОЙЛ» (2013, Москва), Конкурс МИНЭНЕРГО РОССИИ «Новая идея» (2014, Москва).

Публикации

По результатам выполненных научных исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержащего основные результаты и выводы. Общий объем работы составляет

105 страниц печатного текста, в том числе 11 таблиц, 30 рисунков. Список литературы включает 114 источников.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений в области проведения следующих исследований:

1. Геолого-физические и физико-химические процессы, протекающие в пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр нефти и газа известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для создания научных основ эффективных систем разработки месторождений углеводородов.

2. Технологии добычи нефти, осваиваемые на базе разработки научных основ комплексного использования пластовой энергии и компонентов осваиваемых минеральных ресурсов.

3. Научные основы компьютерных технологий проектирования, эксплуатации и управления природно-техногенными системами, формируемыми для извлечения углеводородов из недр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, показана научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы защищаемые положения.

В главе 1 диссертационной работы выполнен анализ особенностей технологии ТГВ на основе мирового опыта. В качестве основного объекта применения технологии ТГВ в работе рассматриваются залежи баженовской свиты.

Изучению технологий закачки в пласт кислородсодержащего рабочего агента посвящены работы таких ученых и специалистов, как: Амелин И.Д., Антониади Д.Г., Антонов С.В., Афанаскин И.В., Баишев Т.Б., Боксерман А.А., Булыгин М.В., Бурже Ж, Важеевкий А.Е., Зобов П.М., Ибатуллин Р.Р.,

Грайфер В.И., Дарищев В.И., Жданов С.А., Желтов Ю.П., Зазовский А.Ф., Золотухин А.Б., Кокорев В.И., Кудинов В.И., Малофеев Г.Е., Мигунов В.И., Палий А.О., Палий А.П., Плынин В.В., Розенберг М.Д., Ушакова А.С., Сургучев М.Л., Теслюк Е.В., Фомкин А.В., Хлебников В.Н., Теслюк Р.Е., Чекалюк Э.Б., Belgrave J.O., Chen W.H., Coats K.H., Craig F.F., Crookston H.B., Culham W.E., Moore G., Mekhta R, Parris D.R., Perkins T.K., Poetmann F., Scilson R., Smith F.W., Surcalo H., Yougreen G.K.

В настоящее время накоплен обширный опыт реализации технологии ТГВ на месторождениях легкой нефти. Согласно промысловому опыту внедрение технологии ТГВ позволяет увеличить нефтеотдачу в среднем на 10-15% в традиционных коллекторах. Потенциал прироста нефтеотдачи залежей баженовской свиты при внедрении ТГВ оценивается в более чем 30 процентных пунктов за счет адаптации технологии к особенностям строения, составу и свойствам пород данных залежей.

Первые в мире промысловые результаты по исследованию ТГВ в условиях залежей баженовской свиты получены при непосредственном участии автора на участке в районе скв. №219 Средне-Назымского месторождения, где в рамках экспериментальных работ в пласт закачано 7,3 млн норм. м³ воздуха. Результаты исследований ТГВ на опытном участке подтвердили теоретические основы новой разработки, обеспечившей согласно оценке дополнительную добычу нефти свыше 23 тыс. тонн. В ходе проведения эксперимента при непосредственном участии автора выполнена модернизация систем контроля и мониторинга ТГВ, а также обоснованы технологические режимы процесса воздействия на пласт, что повысило безопасность и обеспечило повышение эффективности регулирования ТГВ.

Кроме того, коллективом ученых ЗАО «МИМГО» (в том числе В.Д. Немовой) при участии автора диссертационной работы выполнены уникальные исследования кернового материала скважины №219бис Средне-Назымского месторождения, пробуренной в зону протекания окислительных

процессов. Забой данной скважины расположен на расстоянии 71 м от забоя нагнетательной скважины №219. На основе анализа кернового материала установлены интервалы протекания окислительных реакций.



Рисунок 1 – Внешний вид керна скважины №219бис, отобранного из зоны протекания окислительных процессов ТГВ

Данные интервалы отличаются красноцветным изменением внешнего вида пород, отсутствием запаха и следов углеводородов, керна из интервала ТГВ отличается гидрофильными свойствами, что характерно для пород бажендовской свиты, которые подверглись термическому воздействию (рис.1). Общая толщина интервалов ТГВ составила 2,08 м.

Анализ результатов численных, лабораторных и промысловых исследований показал, что перспективы развития ТГВ связаны с повышением охвата пласта воздействием, выбором оптимального режима ТГВ за счет комплексного регулирования параметров технологии и использования нагнетаемого агента с повышенным содержанием окислителя. На основе данного анализа определены задачи диссертационной работы.

В главе 2 выполнены лабораторные исследования ТГВ, результаты которых позволили уточнить действующую аналитическую модель данной технологии.

Образцы исследуемых кернов представлены кероген-глинисто-силицистыми породами с прослоями радиоляритов и аргиллитов. Основная

масса породы сложена перекристаллизованными остатками кремнистых организмов. Все образцы насыщены органическим веществом.

По результатам лабораторных исследований процесса окисления керогенсодержащих пород определены параметры уравнения Аррениуса: энергия активации составила 22,0 кДж/моль, логарифм предэкспоненциального множителя определен равным $-1,476$.

На следующем этапе лабораторных исследований определены значения конверсии керогена образцов кернового материала при температурах от 300 до 460 °С в жидкие и газообразные углеводороды (рис.2). Эффективная температура, обеспечивающая высокую степень преобразования исследуемого образца в жидкие углеводороды, составила 340-420 °С, наибольший уровень общей конверсии при этом определен равным 6-12%.

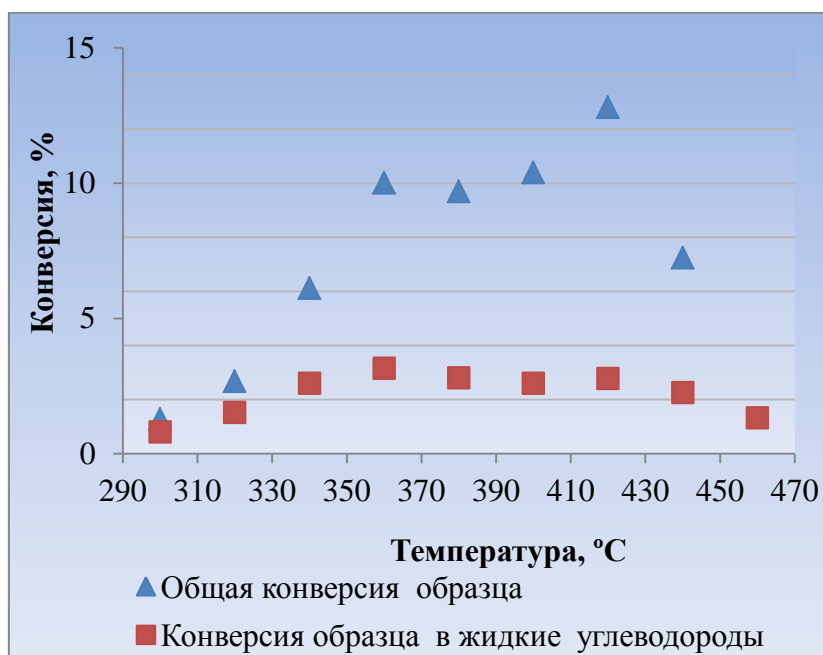


Рисунок 2 – График конверсии исследуемых образцов

В целом, результаты лабораторных исследований подтвердили высокий потенциал применения технологии ТГВ для извлечения углеводородов из пород баженовской свиты при термическом воздействии на них.

Наличие интервалов температур, при которых обеспечен наибольший выход жидких углеводородов из исследуемых образцов указывает на необходимость регулирования температурной обстановки в пласте при ТГВ. Возможности такого регулирования с учетом необходимости в прогреве максимального объема недренируемой части залежи могут быть определены на основе численных расчётов.

В главе 3 выполнены численные исследования ТГВ на залежи баженовской свиты для условий Средне-Назымского месторождения.

Исследование проводилось с помощью программного комплекса CMG STARS на моделях, реализующих основные особенности ТГВ на залежи баженовской свиты.

С целью проведения исследований на первом этапе моделировался линейный элемент пласта баженовской свиты Средне-Назымского месторождения, включающий нагнетательную и добывающую скважины, на котором изучались внутрислоевые процессы, реализуемые при закачке в залежь рабочего агента с повышенным содержанием окислителя. Одновременно на данном этапе рассмотрены вопросы безопасной реализации данной модификации ТГВ.

Второй и третий этапы исследований выполнены на 3D моделях опытного участка.

Основной составляющей исследований на втором этапе является изучение возможностей комплексного регулирования ТГВ с помощью изменения водовоздушного отношения и темпа закачки атмосферного воздуха.

На третьем этапе исследована эффективность увеличения содержания окислителя в рабочем агенте. Результаты данных расчетов стали основой для дальнейшей технико-экономической оценки проекта по внедрению ТГВ.

За базовый вариант принята технология закачки атмосферного воздуха, содержащего 21% кислорода и 79% азота.

На рис. 3 представлены профили температуры и насыщенностей нефти, газа и воды в пласте для варианта нагнетания в залежь рабочего агента с содержанием окислителя 50% объемных.

Как следует из рисунка, зона окислительных процессов характеризуется температурой около 300 °С, что на 80 °С выше температуры в зоне реакции при реализации базового варианта. Следует также отметить, что непосредственно перед зоной окислительных реакций образуется вал повышенной водонасыщенности, возникающий вследствие фильтрации воды, образовавшейся в результате окислительной реакции.

Постоянное изменение физико-химических характеристик пластовой нефти обусловлено изменением компонентного состава жидкой и газовой фаз за счет процессов испарения и конденсации, что говорит о реализации режима смешивающегося вытеснения.

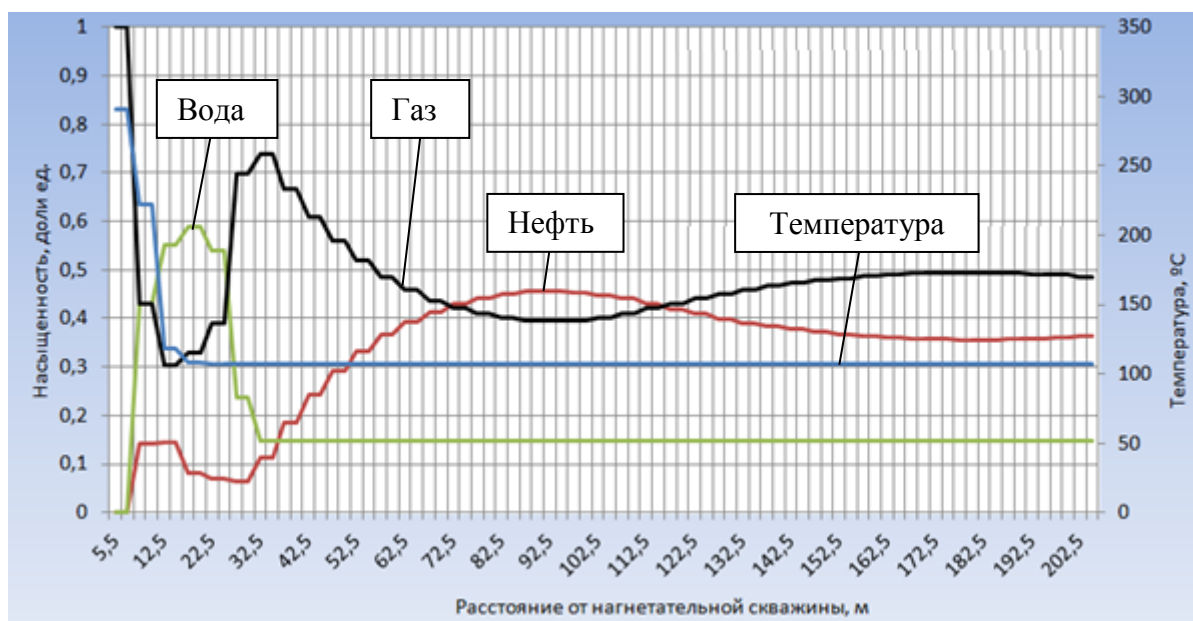


Рисунок 3 – График профиля температуры и насыщенности нефти, газа и воды в модели после прокачки $0,1 V_{\text{пор}}$ воздуха

Заметное влияние на характер протекания процессов в модели оказывает темп закачки рабочего агента. Как показали результаты исследований,

увеличение расхода нагнетаемого рабочего агента приводит к увеличению максимальной температуры в зоне реакции, что связано с ростом интенсивности окислительных процессов. Так, при увеличении темпа закачки рабочего агента с повышенным содержанием окислителя от 4 до 36 м³/сут максимальный уровень температуры возрастает с 163 °С до 370 °С.

Технология реализации ТГВ с использованием рабочего агента с повышенным содержанием окислителя должна обеспечивать полную безопасность процесса и исключать возможности прорыва кислорода в добывающие скважины. Результаты расчетов показали, что для всех рассмотренных вариантов зона полного потребления кислорода значительно меньше расстояния между добывающей и нагнетательной скважиной. Это, в первую очередь, связано с высокой начальной пластовой температурой 107-115 °С. Именно благодаря высокой пластовой температуре указанная модификация технологии ТГВ может быть реализована с соблюдением мер безопасности.

Следует также отметить, что при повышении содержания окислителя в рабочем агенте наблюдается увеличение времени прорыва газов в добывающую скважину. Это объясняется уменьшением количества закачиваемого в пласт азота – инертного газа, имеющего более низкую степень растворимости в нефти в сравнении с углекислым газом (одним из основных продуктов реакции окисления) при одинаковых термобарических условиях.

Принципиальной отличительной особенностью ТГВ на породы баженовской свиты является то, что применение технологии должно обеспечить эффективное вытеснение нефти из дренируемых зон – за счет формирования смешивающегося вытесняющего агента в результате самопроизвольных внутрислоевых окислительных процессов, и из матрицы – за счет формирования тепловой оторочки в дренируемых зонах и прогрева из них матрицы.

На основе анализа результатов выполненных автором расчетов обоснована возможность комплексного регулирования ТГВ, предполагающего одновременный выбор трех параметров технологии, определяющих эффективность воздействия на пласт (темпа закачки рабочего агента, водовоздушного отношения и содержания окислителя в рабочем агенте). По результатам исследований для базового варианта построена диаграмма, представленная на рис. 4.

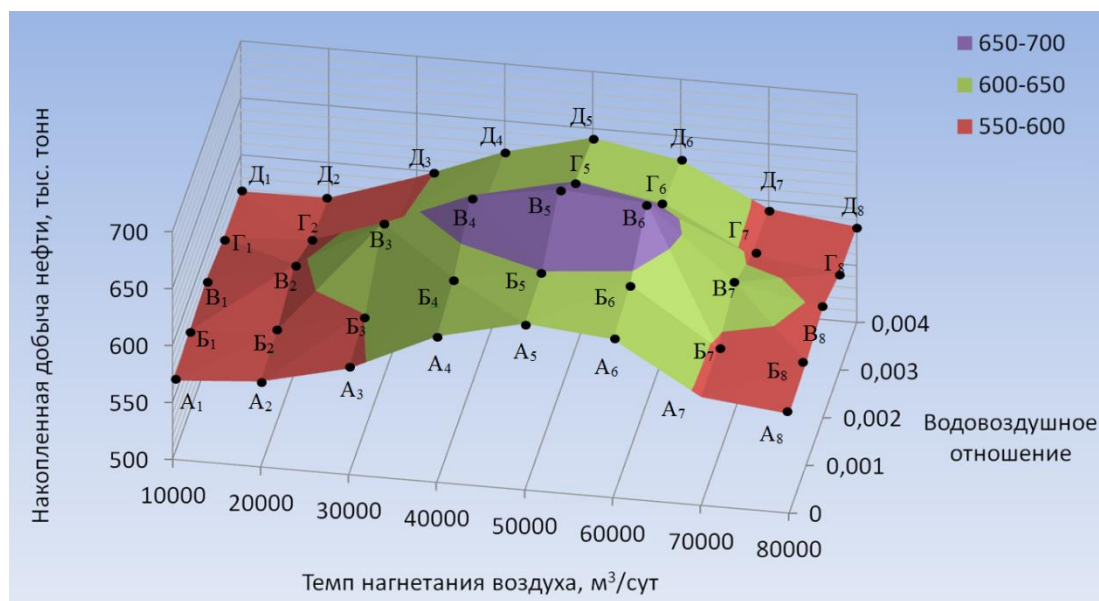


Рисунок 4 – Диаграмма накопленной добычи нефти для различных режимов ТГВ

На диаграмме видно, что расчетные режимы реализации ТГВ обеспечивают добычу углеводородов в объеме от 570 до 680 тыс. тонн. Например, в точке А₅ за счет выбора темпа нагнетания воздуха – 50 тыс. норм. м³/сут. и нулевого водовоздушного отношения (отсутствие закачки воды), объем полученной нефти составил 646 тыс. тонн, а при том же темпе закачки воздуха, но при закачке воды с темпом 100 м³/сут. в постоянном режиме (точка В₅), объем полученной нефти определен на 34 тыс. тонн больше. Дальнейшее увеличение объемов закачиваемой воды нецелесообразно. Так, при закачке воздуха темпом 50 тыс. норм. м³/сут. и водовоздушном отношении

0,004, объем добычи нефти составил 642 тыс. тонн.

Таким образом, на 3D модели подтверждается вывод об эффективности комплексного регулирования параметров ТГВ. Максимальный объем накопленной добычи нефти получен при следующем варианте работы установки ТГВ (точка В₅): темп нагнетания атмосферного воздуха 50 тыс. норм. м³/сут., водовоздушное отношение 0,002. С учетом погрешности расчётов рекомендованы следующие параметры технологии ТГВ: темп закачки воздуха 44-59 тыс. норм. м³/сут., водовоздушное отношение 0,0016-0,0023.

На основе полученных результатов выполнены численные исследования эффективности режимов ТГВ при изменении содержания окислителя в закачиваемой смеси и одновременном регулировании темпа закачки рабочего агента и водовоздушного отношения. В рамках исследований установлено, что при увеличении содержания окислителя в рабочем агенте наблюдается повышение оптимального водовоздушного отношения и уменьшение объема, необходимого для закачки рабочего агента.

Аналогично численным исследованиям, выполненным в рамках 2-го этапа, определены режимы работы установки ТГВ, обеспечивающие наибольшие объемы добычи углеводородов. Результаты расчетов представлены на рис. 5.



Рисунок 5 – График накопленной добычи нефти при комплексном регулировании технологии ТГВ

На рисунке видно, что увеличение содержания окислителя в закачиваемой при ТГВ водовоздушной смеси значительно влияет на накопленную добычу нефти. Удельный прирост накопленной добычи нефти при увеличении содержания окислителя снижается, начиная с 60% и более. С учетом погрешности расчётов эффективное содержание окислителя в рабочем агенте ТГВ составило 53-80%. Принимая во внимание результаты выполненных расчетов, подготовлена заявка на полезную модель – «Установка термогазового воздействия».

Технико-экономическая оценка эффективности внедрения ТГВ определена на основе четырех вариантов. Каждый из расчетных вариантов предполагает создание участка добычи нефти на Средне-Назымском месторождении, включает капитальные затраты на бурение скважин, строительно-монтажные работы, проектные работы, а также закупку и монтаж комплекса оборудования.

Вариант 1 (рекомендуемый вариант режима реализации ТГВ для случая закачки в пласт атмосферного воздуха). Вариант 2 (без выбора оптимального режима ТГВ, темп закачки воздуха 20 тыс. норм. м³/сут., без нагнетания воды). Вариант 3 (рекомендуемый вариант режима реализации ТГВ с учетом использования рабочего агента с повышенным содержанием окислителя). Вариант 4 (разработка опытного участка на естественном режиме без ТГВ).

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, наименьшие капитальные затраты обеспечивает 4-й вариант (1190 млн руб.). Большая часть из данных затрат – это инвестиции в строительство скважин опытного участка. Оценочная стоимость установки ТГВ с учетом рекомендуемых параметров составляет 160 млн руб. Таким образом, капитальные вложения в обустройство участка по варианту 1 составят 1350 млн руб.

Вариант 2 в сравнении с вариантом 1 имеет меньшие капитальные затраты в связи с отсутствием необходимости закупки и монтажа насосной

станции, а также в связи с меньшей производительностью компрессорной станции.

Вариант 3 имеет наибольшие капитальные затраты, связанные с необходимостью приобретения специального оборудования для создания и компримирования рабочего агента с повышенным содержанием окислителя.

Таблица 1 - Анализ технико-экономической эффективности инвестиций в разработку опытного участка

Вариант	Капитальные вложения, млн руб.	ЧДД, млн руб.	Срок окупаемости, лет	Накопленная добыча нефти, тыс. тонн
1	1350	165	13	680
2	1260	20	16	575
3	1390	235	11	730
4	1190	-880	-	113

Результаты оценки показали, что освоение опытного участка с применением традиционных систем разработки является экономически и технологически малоэффективным – инвестиции в разработку опытного участка по варианту 4 не окупаются.

Повысить эффективность разработки опытного участка возможно с помощью использования технологии ТГВ. Накопленный дисконтированный денежный поток за рассмотренный период для рекомендованного варианта реализации ТГВ составил 165 млн руб., срок окупаемости проекта – 13 лет. Эффективность от инвестирования в реализацию данного варианта проекта по показателю ЧДД на 145 млн руб. больше в сравнении с вариантом 2, который не предусматривает рекомендованных в настоящей работе параметров технологии ТГВ.

Наибольшая экономическая эффективность получена при реализации варианта 3 (использование рабочего агента с повышенным содержанием окислителя). Сравнивая варианты 1 и 3, видно, что дополнительные инвестиции

на закупку и монтаж систем повышения содержания окислителя в рабочем агенте и его компримирования, окупаются.

На основании изложенного для реализации рекомендуются варианты 1 и 3.

В главе 4 приведены результаты апробации лабораторных и численных исследований в промышленных условиях на участке ТГВ в районе скв. №3003 Средне-Назымского месторождения.

Опытный участок ТГВ, где выполнены промышленные исследования и апробация численных расчетов, состоит из семи скважин: одной нагнетательной и шести добывающих. Реагирующими на опытном участке являются скважины: №№210, 3008, 3009, 3005, 3007, 100Г. Нагнетательная скважина №3003. Скважина №210 – в консервации. Схема участка представлена на рис. 6.

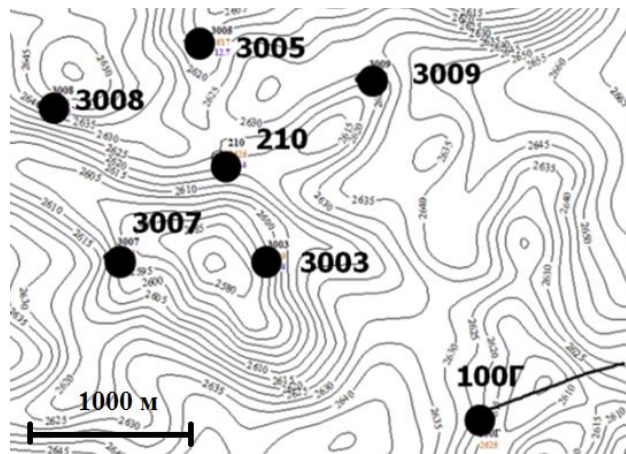


Рисунок 6 – Схема участка ТГВ в районе скважины №3003 Средне-Назымского месторождения

На основании исследований, выполненных в главах 1-3, для реализации технологии ТГВ на Средне-Назымском месторождении разработана технологическая схема основного оборудования для ТГВ в районе скважины №3003, включающая: блочную компрессорную станцию, обеспечивающую закачку воздуха под давлением до 37 МПа, темп закачки до 50 тыс. норм.

м³/сут. с помощью двух параллельно подсоединенных станций по 25 тыс. норм. м³/сут. каждая; насосную станцию, обеспечивающую закачку воды в необходимом расчетном диапазоне; системы контроля, мониторинга и автоматизации ТГВ.

Разработанная технологическая схема с указанными параметрами оборудования для ТГВ легла в основу проекта обустройства. Таким образом, предлагаемые автором технико-технологические решения внедрены на опытном участке в районе скважины №3003 Средне-Назымского месторождения. В соответствии с рекомендуемыми режимами ТГВ проведены промысловые исследования на указанном участке.

В 2015 году за период исследований в пласт закачано 2 674 тыс. норм. м³ воздуха и 453 м³ воды, обеспечена безопасность инициирования и реализации процесса ТГВ. Расчетный условный радиус распространения продуктов окислительной реакции от скважины №3003 за период 2015 года составил 220-230 метров.

В течение 2015 года на опытном участке получены данные, подтверждающие протекание окислительных процессов при реализации комплексно регулируемого процесса ТГВ: наблюдается увеличение содержания азота в попутном нефтяном газе скважины №3007 с 1,5 до 18% при отсутствии в нем кислорода, наблюдается повышение содержания СО₂ на 1 тонну нефти с 7 до 16 м³/т, увеличение содержания углеводородного газа на 1 тонну нефти с 216 до 380 м³/т.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основе результатов исследований обоснован способ повышения коэффициента извлечения нефти на величину до 0,08 долей единицы при разработке залежи баженовской свиты с помощью технологии термогазового воздействия за счет комплексного регулирования следующих ее параметров:

темпа закачки рабочего агента, водовоздушного отношения и использования нагнетаемого агента с повышенным содержанием окислителя.

2. На основе результатов лабораторных исследований образцов керн баженовской свиты при термогазовом воздействии определены следующие параметры, используемые для уточнения аналитической модели данного процесса: эффективная конверсия составила 6-12%, эффективная температура конверсии образцов в жидкие углеводороды составила 340-420 °С, энергия активации составила 22,0 кДж/моль, логарифм предэкспоненциального множителя определен равным $-1,476$.

3. Разработаны и обоснованы параметры комплексно управляемого процесса термогазового воздействия для условий Средне-Назымского месторождения: темп закачки воздуха 44-59 тыс. норм. м³/сутки, водовоздушное отношение 0,0016-0,0023. Согласно оценке, выбор данного режима в сравнении с закачкой воздуха темпом 20 тыс. норм. м³/сут. без нагнетания воды позволяет дополнительно добыть на опытной участке до 105 тыс. т нефти (прирост КИН на 8 процентных пунктов).

4. Установлено, что реализация комплексного регулирования технологии термогазового воздействия при увеличении содержания окислителя с 21% до 53-80% в составе нагнетаемого агента обеспечивает дополнительную добычу нефти в количестве не менее 50 тыс. т (прирост КИН на более чем 3 процентных пунктов).

5. В промышленных условиях апробирована установка термогазового воздействия, режим работы которой разработан и обоснован в настоящей диссертационной работе. В ходе исследований в пласт закачано 2,6 млн норм. м³ воздуха, получены результаты, подтверждающие протекание окислительных реакций при ТГВ: наблюдается увеличение содержания азота в попутном нефтяном газе 3007 скважины с 1,5 до 18% при отсутствии в нем кислорода, наблюдается повышение содержания CO₂ на 1 т нефти с 7 до 16 м³/т, увеличение содержания углеводородного газа на 1 т нефти с 216 до 380 м³/т.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Щеколдин К. А., Ахмадейшин И. А., Филенко Д. Г. Совершенствование техники и технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты // Бурение и нефть. – №2. – 2015. – С. 49.
2. Кокорев В. И., Дарищев В. И., Ахмадейшин И. А., Щеколдин К. А., Боксерман А. А. Результаты промысловых испытаний и перспективы развития термогазового способа разработки залежей баженовской свиты в ОАО «РИТЭК» // Бурение и нефть. – №11. – 2014. – С. 26-28.
3. Щеколдин К. А. Способ повышения эффективности технологии термогазового воздействия // Нефтяное хозяйство. – №6. – 2014. – С. 102-103.
4. Щеколдин К. А., Игнатова К. П. Анализ технико-экономической эффективности термогазового воздействия на залежи баженовской свиты // Территория Нефтегаз. – №10. – 2012. – С. 12-15.
5. Щеколдин К. А. Исследование возможностей регулирования технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты // Территория Нефтегаз. – №9. – 2012. – С. 66-70.
6. Ахмадейшин И. А., Филенко Д. Г., Щеколдин К. А. Совершенствование техники и технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты // Материалы всероссийского конкурса «Новая идея» на лучшую научно-техническую разработку среди молодежи предприятий и организаций топливно-энергетического комплекса. – 2015. – С. 9-11.
7. Кокорев В. И., Боксерман А. А., Дарищев В. И., Ахмадейшин И. А., Щеколдин К. А. Результаты реализации технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты // Материалы IV Международной Конференции «NANOTECHNOILGAS-2014», 11–12 ноября 2014, Москва. – С. 103-107.
8. Кокорев В. И., Дарищев В. И., Ахмадейшин И. А., Щеколдин К. А., Боксерман А. А. Результаты промысловых испытаний и перспективы развития

термогазового способа разработки залежей баженовской свиты в ОАО «РИТЭК», SPE №171172 // Тезисы Российской технической нефтегазовой конференции и выставки SPE по разведке и добыче, 2014, Москва.

9. Дарищев В. И., Ахмадейшин И. А., Щеколдин К. А. Совершенствование техники и технологии термогазового воздействия // Тезисы 68-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и Газ 2014», Москва.

10. Кокорев В. И., Дарищев В. И., Ахмадейшин И. А., Щеколдин К. А. (АО «РИТЭК»), А. А. Боксерман (ОАО «Зарубежнефть»). Результаты исследований технологии термогазового воздействия на залежи баженовской свиты, SPE №166890 // Тезисы конференции SPE по разработке месторождений в осложненных условиях и Арктике 15-17 октября 2013, Москва.

11. Щеколдин К. А., Кокорев В. И., Боксерман А. А. Обоснование технологических режимов термогазового воздействия на примере Средне-Назымского месторождения // Тезисы 67-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и Газ 2013», Москва.

12. Zolotukhin A. B, Bokserman A. A, Kokorev V. I., Nevedeev A. N., Ushakova A. S., Shchekoldin K. A. New Upstream and Downstream Technologies for Extra Heavy Oils, SPE №157870 // SPE Heavy Oil Conference, Calgary, Canada, 2012.

Соискатель



Щеколдин К. А.