

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ НЕФТИ И ГАЗА РАН

На правах рукописи

УДК 622.276.1/4

РОЩИН АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ОСНОВЕ МНОГОЗАБОЙНЫХ СКВАЖИН**

Специальность – 25.00.17 –

«Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва – 2009

Работа выполнена в ИПНГ РАН

Научный руководитель –

доктор технических наук,
профессор Закиров Сумбат Набиевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Еремин Николай Александрович

кандидат технических наук,
Устимов Сергей Кузьмич

Ведущая организация

Российский государственный университет
нефти и газа им. И.М.Губкина

Защита состоится " 21 " октября 2009 г. в 15 час. 00 мин. на заседании
Диссертационного Совета Д 002.076.01 при Институте проблем нефти и газа РАН, в
актовом зале на 7 этаже.

С диссертацией можно ознакомиться у Ученого секретаря Диссертационного
Совета ИПНГ РАН. Отзывы на автореферат можно присылать по адресу: 119991
г.Москва, ГСП-1, ул. Губкина, 3, ИПНГ РАН.

Автореферат разослан " 18 " сентября 2009 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета,
канд. техн. наук

М.Н. Баганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тематики исследований.

В настоящее время нефть и газ являются важнейшими энергоносителями, обеспечивающими жизнедеятельность человечества. С каждым годом растет значение нефти в мировой экономике, что влечет рост ее добычи в мире. Но мировые запасы нефти не безграничны. Полнота извлечения нефти из пластов является на сегодня основной проблемой в нефтяной отрасли. Кроме того, на сегодня большинство оставшихся запасов углеводородного сырья относятся к трудноизвлекаемым. Они приурочены к залежам со сложным геологическим строением, низкой проницаемостью, высокой вязкостью нефти, наличием разломов, газовых шапок, зон малых нефтенасыщенных толщин, водонефтяных зон, зон вблизи населенных пунктов, заповедников, водных источников и их санитарно-защитных зон, а также к арктическому шельфу. Доля таких запасов неуклонно возрастает. Поэтому актуальность поиска технологий, позволяющих повысить коэффициент извлечения углеводородов, не вызывает сомнения. Одним из таких методов является применение технологии бурения многозабойных скважин (МЗС) и разработка месторождений на их основе.

В стране и за рубежом выполнено немалое число исследований, посвященных этой тематике. Но можно отметить, что, в основном, они касаются использования единичных МЗС и, как правило, при разработке месторождений на естественном режиме. Поэтому, с нашей точки зрения, имеется потребность в исследовании возможностей повышения эффективности процессов добычи нефти из отмеченных типов залежей нефти при реализации площадных систем разработки на основе МЗС.

Для решения проблем повышения эффективности разработки залежей с трудноизвлекаемой нефтью имеется возможность привлечь современные методы компьютерного моделирования. Это позволяет, с одной стороны, учесть различные геолого-физические условия и факторы. С другой стороны, удастся избежать

постановки сложных, а нередко и невыполнимых лабораторных и промысловых экспериментов.

Сказанное позволяет говорить об актуальности выбранной нами для исследований тематики.

Цель работы.

Состоит в обосновании, на основе 3D математических экспериментов, новых технологических решений и технологий разработки с использованием многозабойных скважин применительно к чисто нефтяным и водонефтяным зонам в нефтяных месторождениях и нефтяным оторочкам в нефтегазоконденсатных месторождениях. А также в анализе показателей эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин, особенностей выработки запасов углеводородов в рассматриваемых типах залежей.

Основные задачи исследований.

Они заключаются в следующем.

- Обоснование эффективной технологии выработки запасов нефти из чисто нефтяных зон (ЧНЗ) нефтяных месторождений на основе многозабойных скважин.
- Повышение эффективности извлечения нефти из водонефтяных зон (ВНЗ) нефтяных месторождений на основе многозабойных скважин.
- Обоснование технологических решений по выработке запасов нефти из нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных залежей на основе многозабойных скважин.
- Анализ результатов крупномасштабных математических экспериментов в 3D многофазной постановке с целью изучения особенностей процессов разработки при использовании многозабойных скважин в чисто нефтяных зонах, водонефтяных зонах и нефтегазоконденсатных залежах.
- Изучение влияния свойств пласта и флюидов, а также различных геолого-технологических мероприятий на показатели разработки ЧНЗ, ВНЗ и нефтяных оторочек.

Методы решения поставленных задач.

Для решения поставленных задач использована современная методология решения задач теории фильтрации в 3D многофазной постановке. Она включает в себя проведение крупномасштабных математических экспериментов, с использованием сертифицированных программных пакетов Eclipse 100 и Eclipse 200. При анализе получаемых результатов использовано программное приложение Microsoft Excel с программами на Visual Basic.

Научная новизна.

По мнению автора, она заключается в следующем.

1. На основе математических экспериментов впервые обоснованы технологические решения по вытеснению нефти водой к стволам горизонтальных многозабойных скважин в системах площадного заводнения, основывающиеся на применении горизонтальных многозабойных нагнетательных скважин с соответствующей трассировкой её стволов, что позволяет заметно увеличить площадные размеры элементов разработки.

2. В результате математических экспериментов обоснованы технологии повышения эффективности разработки залежей нефти с трудноизвлекаемыми запасами в чисто нефтяных, водонефтяных зонах и нефтяных оторочках на основе площадных систем воздействия с многозабойными горизонтальными как добывающими, так и нагнетательными скважинами, приводящие к сокращению числа скважин и кустовых площадок при высоких коэффициентах извлечения нефти (КИН).

3. Выполненные крупномасштабные математические эксперименты на трехмерных моделях выявили влияние различных факторов на показатели разработки чисто нефтяных зон, водонефтяных зон и нефтяных оторочек, необходимых для обоснования адекватных геолого-технологических мероприятий (ГТМ) и практических рекомендаций для этих залежей.

Практическая значимость.

Состоит в следующем.

1. На уровне патентной новизны предложен способ разработки нефтяных залежей на основе горизонтальных многозабойных добывающих и нагнетательных скважин, способствующий улучшению технико-экономических показателей добычи запасов трудноизвлекаемой нефти. Получен патент РФ на изобретение №2330156.

2. Выполненные исследования особенностей разработки месторождений углеводородов на основе многозабойных скважин позволили обосновать технологические решения по доставке энергии к добывающим стволам многозабойных скважин, что открывает возможности для широкого внедрения не реализованных до последнего времени достоинств технологий сооружения многозабойных скважин.

3. Показано, что при отсутствии потребителей газа разработка нефтяных оторочек на основе многозабойных скважин при эксплуатации их в режиме безгазовых дебитов может быть экономически эффективной. При наличии потребителей попутно добываемого газа разработка с эксплуатацией многозабойных скважин при сверхкритических дебитах также может оказаться целесообразной.

4. Внедрение результатов исследований на конкретных месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти будет способствовать повышению эффективности их разработки.

Степень достоверности выводов и рекомендаций.

Познание закономерностей фильтрационных процессов в рассматриваемых объектах разработки осуществлено в многочисленных 3D математических экспериментах. Визуализация и анализ полученных результатов позволили обосновать рекомендуемые в работе искомые технологические решения. При этом учтен опыт предшествующих исследований отечественных и зарубежных авторов.

Защищаемые положения.

Это технологические решения и технологии разработки на основе многозабойных добывающих и нагнетательных скважин с горизонтальными стволами и соответствующей их трассировкой в площадных системах заводнения применительно к

- чисто нефтяным зонам,
- водонефтяным зонам,
- нефтяным оторочкам нефтегазоконденсатных залежей.

Апробация работы.

Результаты исследований доложены на

- научных семинарах лаборатории газонефтеконденсатоотдачи, а также общеинститутском семинаре ИПНГ РАН,
- международном технологическом симпозиуме «Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтеотдачи», Москва, 21-23 марта, 2007г.

Внедрение результатов исследований.

Результаты выполненных исследований переданы ООО "СахалинНИПИморнефть" и частично реализованы в Проекте разработки месторождения Катангли.

Публикации.

По результатам исследований опубликованы три статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, доклад на международной конференции, получен патент РФ на изобретение с регистрационным номером № 2330156. Результаты исследований позволили также стать соавтором коллективно опубликованной книги.

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, содержит 159 страниц текста, 53 рисунка и 31 таблицу, список

использованных источников насчитывает 124 наименования.

Благодарности.

Автор глубоко признателен профессору С.Н.Закирову за научное руководство. Автор также выражает свою благодарность всем сотрудникам лаборатории газонефтеконденсатоотдачи ИПНГ РАН и коллегам по работе в КНТЦ ОАО "НК "Роснефть" за внимание, помощь и поддержку в ходе работы над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность тематики работы, ее цель, основные задачи и методы их решения. Приводится научная новизна результатов исследований, а также практическая значимость работы.

В **главе 1** дается обзор предшествующих публикаций, где описана история появления и развития многозабойных скважин, теории фильтрации, техники и технологии их бурения в нашей стране и за рубежом. Дается обоснование тематики диссертационной работы и методики решения поставленных задач.

В настоящее время актуальность поиска технологий, позволяющих повысить коэффициент извлечения углеводородов, не вызывает сомнения. Одним из таких методов является применение технологии бурения многозабойных скважин (МЗС). Под многозабойными понимаются такие скважины, которые имеют ответвления в виде нескольких дополнительных стволов от основного ствола скважины в пределах продуктивного пласта.

Впервые разветвление скважин для увеличения полезной протяженности скважин и увеличения поверхности фильтрации в СССР было предложено в 1941 году Н.С. Тимофеевым. Но в тот момент времени отсутствовала необходимая техника и технология бурения. В 1946 году В.А.Брагиным и А.М. Григорьяном был предложен способ забуривания дополнительных наклонных стволов. Экспериментальные работы в этом направлении проведены в 1947 г. на Краснокамском месторождении.

Сотрудниками ВНИИнефти в 1951 – 1953 гг., затем ВНИИБТ

(ВНИИбурнефти) совершенствовались технические средства и технологии, позволяющие разветвлять скважину с последующим сохранением в целостности входов в стволы. Разработаны технологические приемы и правила проведения операций по бурению многозабойных и горизонтальных скважин (спуско-подъемные операции, промывки и проработки, наращивание, ловильные работы, приемы для безошибочного ввода различного бурового или эксплуатационного инструмента). А.М.Григорьяном совместно с В.А.Брагиным, К.И.Коваленко, Г.П.Ованесовым обоснованы формы разветвления. Конструкции искривленных турбобуров были созданы М.Т.Гусманом и Б.Д.Малкиным. Способ геофизических измерений в горизонтальных стволах обоснован А.М.Григорьяном, Б.С.Филатовым, П.В.Шиповским, Б.А.Червяковым и др.

В это же время начато широкое применение МЗС при разведочном бурении на некоторых нефтяных месторождениях и залежах полезных ископаемых, где требовалось частое заложение разведочных скважин.

В 1958 г в НПУ Кинельнефть был создан первый в СССР специализированный цех многозабойного вскрытия пластов. Следует отметить, что месторождения Башкирии были своеобразным учебным полигоном для создания технологий многозабойно – горизонтального бурения. Так к 1953 г. число горизонтальных скважин в этом регионе было около 50, включая МЗС (рис.1).

В американской технической литературе того времени довольно подробно описывается техника и технология бурения МЗС. Вопросы же теории притока нефти к горизонтальным (ГС), наклонно-направленным скважинам (ННС) и МЗС не рассматривались. Первые теоретические исследования соответствующих задач теории фильтрации принадлежат отечественным ученым. Это – И.А.Чарный, А.М.Пирвердян, В.И.Щуров, В.П.Меркулов, А.П. Телков, М.М.Глоговский и др.

В 60-х годах во ВНИИнефти учеными В.П.Пилатовским, Ю.П.Борисовым и В.П. Табаковым проведены работы по созданию теоретических основ разработки нефтяных месторождений ГС и МЗС.

Теоретические исследования и фактические данные подтвердили высокую

эффективность использования ГС при освоении нефтяных месторождений.

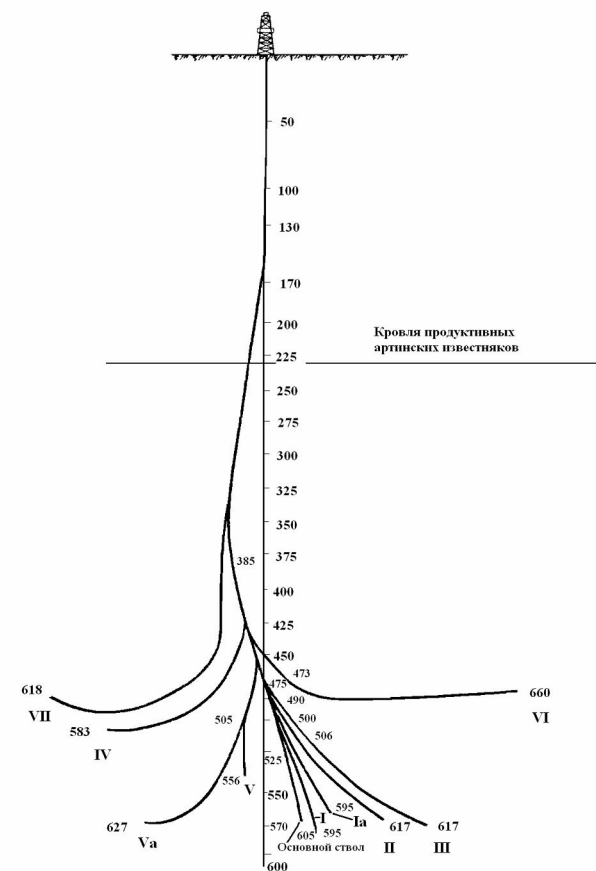
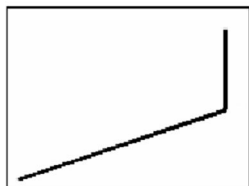


Рис. 1. Профиль стволов многозабойной скв. 66/45 Карташовского месторождения НПУ “Ишимбайнефть”

К сожалению, затем идея горизонтального бурения в нашей стране была предана забвению на долгие годы. Лишь, когда во всем мире начался бум с горизонтальными скважинами в начале 90-х годов прошлого столетия, они стали медленно внедряться в отечественную нефтегазодобычу. Поэтому сегодня немалые

новации в области горизонтального бурения поступают к нам с Запада.

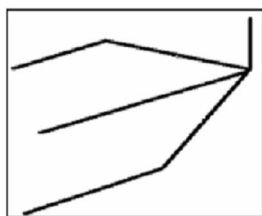
Как ни странно, в практику нефтедобычи, несмотря на кажущуюся эффективность, как в нашей стране, так и за рубежом, многозабойные скважины не вошли повсеместно. Хотя в зарубежной практике давно имеется даже классификация многозабойных скважин (рис.2).



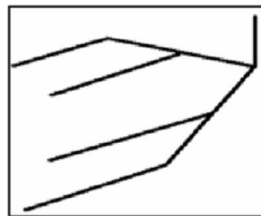
Однозабойная скважина



Двухзабойная скважина



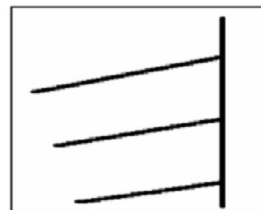
Трехзабойная скважина



Четырёхзабойная скважина



“Перистая” (“рыбий хвост”) скважина



Многостаяная скважина

Рис. 2. Классификация многозабойных скважин

Можно видеть, что такого рода многозабойные скважины мало пригодны для создания систем разработки реальных месторождений нефти. Пока они рассчитаны на случаи, когда имеют место ощутимые источники природной энергии. Например, при активном продвижении в залежь подошвенной воды или проявлении режима

газовой шапки. Именно таким случаям посвящены известные публикации по применению многозабойных скважин.

Таким образом, повсеместной распространенности многозабойных скважин мешало отсутствие понимания, как осуществлять процесс вытеснения нефти водой к стволам многозабойных скважин. По крайней мере, к тем, которые изображены на рис.2. Отсюда видно, почему многозабойные скважины образца 50-х годов (рис.1) также не получили широкого распространения на практике.

За рубежом первые существенные результаты горизонтального бурения были получены в 80-ых годах:

- в штате Нью-Мексико - месторождение Impire Abo Unit, 1979 год;
- на шельфовых месторождениях - Raspo Mare в 1982г. (итальянский шельф), Lasq Superior и Castera Lou (Юго-западный берег Франции) и Galoc Clastic Unit в 1988 году (шельф Филиппин, Южно-Китайское море);
- на Аляске- месторождение Прадхо-Бей, начало 80-х годов.

На этих месторождениях были пробурены вертикальные, наклонные и горизонтальные скважины. ГС показали значительно более высокую производительность, чем наклонные и вертикальные. Они позволяли достичь:

- высокие начальные дебиты с нулевой обводненностью в течение года;
- увеличение коэффициента охвата вытеснением;
- более высокие критические безводные дебиты по сравнению с вертикальными скважинами;
- сокращение потребного количества скважин;
- увеличения безгазовой добычи, за счет уменьшения депрессии на пласт;
- высокой производительности скважин в низко проницаемых коллекторах.

Следующим шагом после использования ГС было бурение МЗС на месторождении Shaybar (Саудовская Аравия), на южном окончании одного из крупнейших в мире нефтяном месторождении Haradh (Саудовская Аравия), на месторождении Тролл (Норвегия).

В настоящее время экономический эффект от использования МЗС не вызывает сомнения. Поэтому идет дальнейшее усовершенствование техники и технологии бурения МЗС, поиск новых, экономически эффективных технологических режимов работы МЗС. Например, на месторождении Shaybar внедрены:

- smart технология (система контроля притока на забое);
- технология увеличения длины стволов;
- выравнивание профиля притока для более равномерной выработки запасов;
- комбинирование конфигураций МЗС.

Месторождение Haradh III, являющееся южным окончанием одного из крупнейших в мире нефтяных месторождений, разрабатывается системой, которую называют smart field («интеллектуальное» месторождение). Отмечается, что если затраты на освоение рассматриваемого участка на основе вертикальных скважин принять за единицу, то затраты в случае горизонтальных скважин составляют 0,7 (на 30% меньше), а при использовании многозабойных скважин – 0.35.

При реализации этого проекта I-Field была внедрена технология MRC (максимального контакта с продуктивным пластом), smart комплектация забоев, а также технология контроля за работой скважины в реальном времени.

Таким образом, приводимые данные красноречиво подтверждают вывод о начале нового этапа научно-технического прогресса в нефтедобывающей промышленности на основе МЗС.

В **главе 2** исследуется возможность повышения эффективности разработки нефтяных залежей на основе многозабойных скважин. Главный проблемный вопрос при возможном применении МЗС заключается в доставке вытесняющего агента к отдельным стволам МЗС. Это одна из причин отсутствия их в системах разработки многих нефтяных месторождений. Лишь при активных естественных режимах истощения такую проблему удаётся избежать.

В последние годы увеличивается число добывающих скважин, сооружаемых на основе технологий горизонтального бурения. Однако, они не всегда проявляют

свои потенциальные возможности. Добычные возможности горизонтальных стволов не подкрепляются требуемой энергетикой со стороны нагнетательных скважин. Ибо они сооружаются в варианте вертикальных. Поэтому нередко преимущества горизонтальных добывающих скважин могут раскрываться при «обслуживании» их горизонтальными нагнетательными скважинами.

Таким образом, проблема эффективной доставки энергии (рабочего агента) к горизонтальным стволам свойственна не только системам разработки на основе многозабойных скважин, но и с обычными горизонтальными скважинами.

Обосновываемая автором технология разработки нефтяных месторождений на основе многозабойных скважин заключается в следующем.

- Месторождение разрабатывается с реализацией площадной системы размещения добывающих и нагнетательных скважин. При этом площадь каждого элемента площадной системы принимается кратно большей традиционных размеров. Размеры же элементов вариантно обосновываются, исходя из коллекторских свойств пласта и параметров флюидальной модели.
- Как добывающие, так и нагнетательные скважины сооружаются в варианте многозабойных. Стволы скважин являются горизонтальными или псевдогоризонтальными.
- Стволы многозабойных добывающих скважин располагаются по граням каждого элемента площадной системы разработки. Стволы каждой многозабойной нагнетательной скважины в элементе разработки трассируются в направлении его углов (Рис. 4).

Для обоснования технологии и изучения особенностей разработки залежей нефти многозабойными и альтернативными типами скважин рассмотрено влияние ряда факторов на показатели добычи нефти. К этим факторам относятся:

- типы эксплуатационных скважин;
- длины горизонтальных стволов добывающих скважин;
- длины горизонтальных стволов нагнетательных скважин;
- использование пилотных стволов.

При секторном моделировании рассматривались факторы, в наибольшей степени влияющие на показатели разработки. К этим факторам относятся интервалы

вскрытия пласта в добывающей скважине, тип скважины, технологический режим эксплуатации скважины, проведение ГРП, положение горизонтального ствола.

В каждом случае задача решалась в 3D трехфазной (нефть – вода – растворенный в нефти газ) постановке. В качестве объекта исследования рассматривается элемент чисто нефтяной залежи с размерами 2500*2500*15м. Можно отметить значительность размеров элемента пласта, которые выходят за пределы применимости традиционных площадных систем разработки.

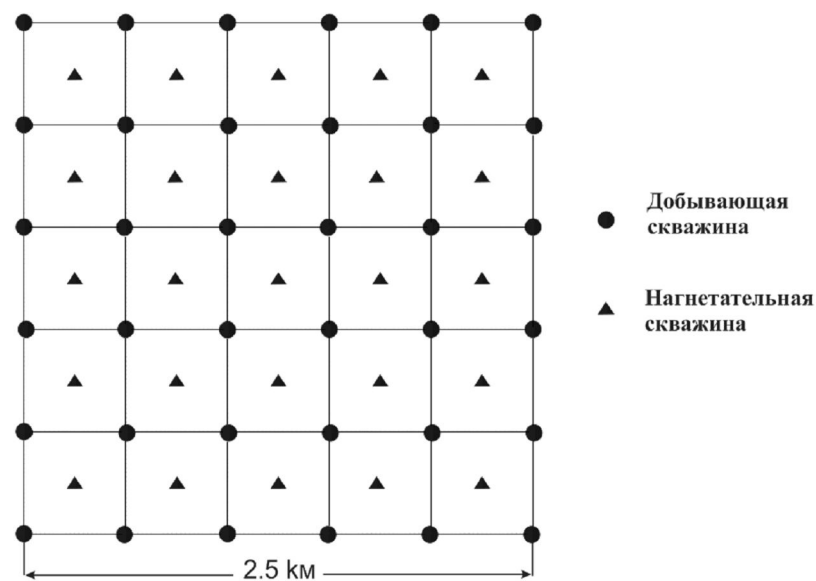


Рис.3. Схема расположения скважин в вертикальном исполнении

Исследованы варианты с вертикальными скважинами (рис.3), горизонтальными скважинами (с сеткой аналогичной рис.3), многозабойными скважинами (рис.4), с различными местоположениями горизонтального ствола, с разными технологическими режимами эксплуатации скважины, с разнообразными интервалами вскрытия пласта, с проведением ГРП.

Трещина гидроразрыва пласта моделировалась двумя способами: путём задания отрицательного скин-фактора и при помощи локального измельчения сетки. Различные варианты моделирования трещины ГРП дают практически одни и те же

результаты по начальным дебитам нефти и величине КИН, но положительно сказывается на величине КИН по сравнению с вариантом без ГРП. А именно, КИН возрастает с 0.613 до 0.6745 - 0.6781. Правда, ценою увеличения ВНФ с 1.22 до 4.11

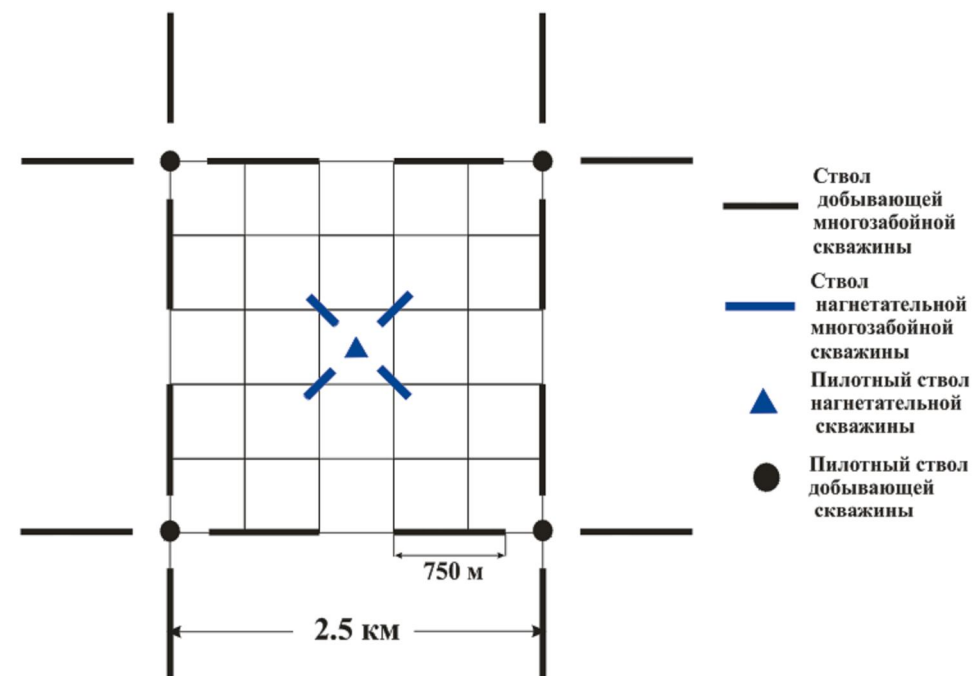


Рис.4. Схема расположения многозабойных скважин

В связи с практической значимостью исследованы варианты эксплуатации многозабойными скважинами нефтяных залежей с различными свойствами нефти, включая применение полимеров для снижения соотношения вязкостей вытесняющего и вытесняемого флюидов. По результатам исследования выявлена привлекательность полимерного заводнения при разработке залежей нефти повышенной вязкости. Увеличение величины КИН составило от 0.100 до 0.115 д.ед. Так как повышенная вязкость полимерного раствора способствует росту коэффициента охвата.

Известно, что коллекторские свойства пласта являются ключевым фактором с точки зрения показателей разработки залежей нефти. Поэтому исследование влияния данного фактора на показатели добычи нефти при использовании МЗС заслуживает немалого внимания, что было реализовано в одном из параграфов. Исследовались варианты эксплуатации многозабойными скважинами нефтяных залежей с различной нефтенасыщенной толщиной.

Известно, что площадные системы разработки, в теории и практике добычи нефти, представлены различными схемами размещения и количеством добывающих и нагнетательных скважин в элементах разработки. Поэтому в параграфе 2.6 экспериментированию подвергнуто влияние различных площадных систем размещения многозабойных скважин на показатели разработки. Это пяти-, девяти- и семиточечные системы разработки на основе МЗС, с различной трассировкой стволов нагнетательной скважины (Рис. 5).

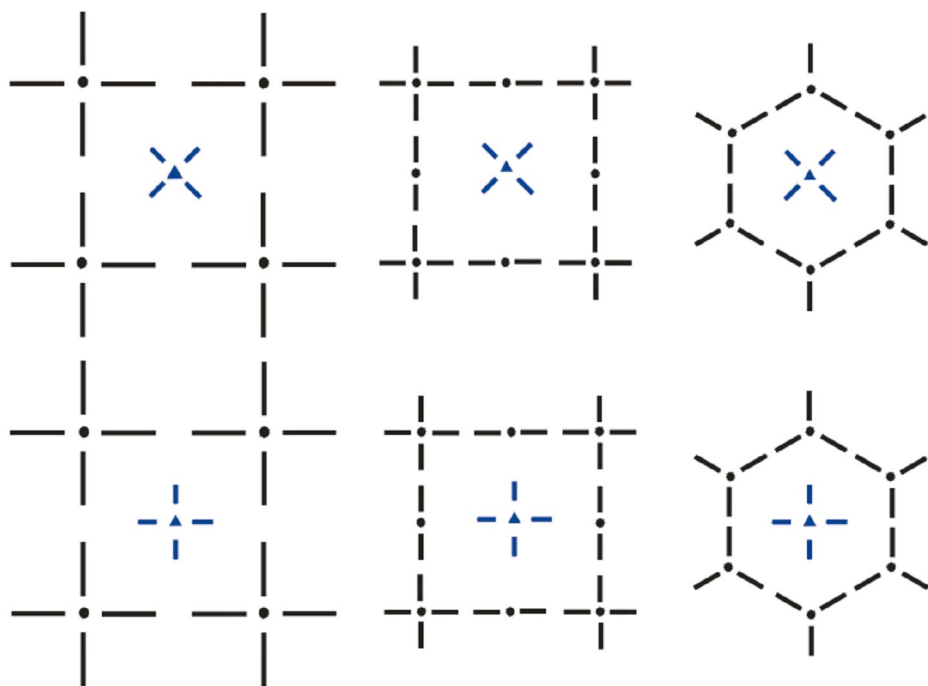


Рис. 5 Схемы расположения скважин в альтернативных вариантах

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработка месторождений нефти на основе площадных систем с многозабойными скважинами предпочтительней по сравнению с вертикальными. По важнейшему показателю – КИН – варианты с МЗС не уступают традиционным сеткам. Срок разработки в некоторых случаях короче, чем в случае с вертикальными скважинами или сопоставим с ними, также ниже конечный водонефтяной фактор. Применение многозабойных скважин позволяет:

- значительно увеличивать размеры элементов разработки,
- кратно сокращать потребное число скважин на разработку,
- на порядок уменьшать потребное число кустовых площадок.

2. Определение оптимальных размеров элементов разработки, длин и трассировки горизонтальных стволов добывающих и нагнетательных скважин, их технологические режимы эксплуатации необходимо устанавливать для каждого конкретного случая.

3. Вместе с тем, на основе многочисленных экспериментов выявлено, что соотношение длин 3:1 добывающих и нагнетательных стволов у МЗС является оптимальным или близким к таковому.

4. Включение в эксплуатацию пилотных стволов положительно влияет на конечную нефтеотдачу.

5. Результаты данной главы в наибольшей мере пригодны для разработки месторождений шельфа. Во-первых, именно наличие ограниченного числа платформ делает привлекательной идею использования МЗС. Во-вторых, трудности морской нефтедобычи. Однако, природа часто компенсирует эти трудности высокими коллекторскими свойствами и немалой однородностью этих свойств.

6. Довольно случайный набор исходных данных, несмотря на заданные их вариации, а также допущения об однородности пластов по коллекторским свойствам не дают оснований для абсолютизации полученных результатов. Однако, именно фактор случайности приводит к возрастанию степени универсальности получаемых выводов и рекомендаций.

В главе 3 исследованы и обоснованы технологические решения применения многозабойных скважин при разработке водонефтяных зон и залежей с подошвенной водой.

Практически все нефтяные месторождения характеризуются наличием контурных или подошвенных вод. Разработка этих зон, как показывает практика добычи нефти, является трудной задачей. Поэтому актуальны исследования, посвященные повышению эффективности разработки водонефтяных зон (ВНЗ) и залежей с подошвенной водой. Ибо к этим зонам приурочены немалые запасы нефти. С другой стороны, по ним имеют место пониженные значения КИН и высокие значения водонефтяного фактора (ВНФ). При исследованиях данной главы принимаются во внимание полученные в предыдущих разделах результаты. В частности, из рассмотрения исключены варианты с вертикальными скважинами. Так как и опыт разработки уже давно выявил их низкую эффективность при наличии ВНЗ или подошвенной воды.

В данной главе исследованию подвергнуто влияние на технологические показатели важнейших факторов - местоположения в разрезе пласта горизонтальных стволов многозабойной нагнетательной скважины.

Известно, что величина забойного давления неоднозначно влияет на показатели добычи нефти из ВНЗ. С одной стороны, увеличение депрессии на пласт способствует подтягиванию конуса воды к забою ВС или – гребня воды к забою ГС. С другой стороны, увеличение разности давлений между забоями нагнетательной и добывающей скважин приводит к интенсификации латеральных фильтрационных течений. Они, в свою очередь, подавляют, в определенной мере, вертикальные потоки подошвенной воды.

Поэтому в рассматриваемой главе оправданными являлись математические эксперименты по определению степени влияния забойных давлений в многозабойных добывающих скважинах на показатели разработки. В исследованиях добывающие скважины эксплуатировались с забойными давлениями в 25.0 МПа, 20.0 МПа, 15.1 МПа, 12.5 МПа, 10.0 МПа, 7.5 МПа и 5.0 МПа. Определенную

специфику имеют значения КИН по мере роста депрессии на пласт. Так, при снижении забойного давления с 25.0 МПа до 10.0 МПа КИН увеличивается с 0.639 до 0.654. Затем снижается до 0.651 в варианте, где забойное давление равняется 5.0 МПа.

Далее определенный цикл исследований был посвящен изучению влияния коллекторских свойств пласта на показатели разработки водонефтяных зон и залежей с подошвенной водой. Если коллекторские свойства являются одним из ключевых факторов даже для чисто нефтяных зон залежей, то тем более они значимы для ВНЗ и залежей с подошвенной водой.

Более чем в предыдущей главе, теоретический и практический интерес представляет вопрос о влиянии анизотропии коллекторских свойств на показатели разработки ВНЗ. Под понятием ВНЗ, ради краткости, понимаются и залежи нефти с подошвенной водой. Поэтому исследована серия вариантов эксплуатации многозабойными скважинами ВНЗ залежей с различной анизотропией коллектора.

Отдельный параграф посвящен исследованию степени влияния на показатели разработки неоднородности пласта и анизотропии его коллекторских свойств, при наибольшей мере приближенное к реальности. Поэтому коллекторские свойства элемента пласта, предназначенные для 3D компьютерных экспериментов, взяты, «вырезаны» из реального месторождения Западной Сибири. Как показали результаты исследований, разница по величине КИН составила 0.045 д.ед между вариантами с неоднородными и однородными коллекторскими свойствами. Это ожидаемо, так как учет реальной неоднородности по коллекторским свойствам всегда приводит к более низким значениям КИН.

По аналогии с предыдущей главой исследованы варианты эксплуатации многозабойными скважинами залежей с различными свойствами нефти.

Во многих предшествующих исследованиях, на основе в том числе фактических данных, говорится о нефтенасыщенной толщине как о важном факторе, предопределяющем эффективность выработки запасов нефти из рассматриваемой категории объектов разработки. В этой связи исследованы

варианты эксплуатации многозабойными скважинами водонефтяных зон в залежах с различной нефтенасыщенной толщиной.

По аналогии с предыдущей главой, отдельные компьютерные эксперименты заключались в определении влияния различных площадных систем размещения многозабойных скважин на искомые показатели разработки. Пяти- и семиточечные площадные системы разработки дают близкие результаты по величинам конечных КИН. Несколько большие значения КИН имеют место в случае девятиточечной системы. Это объясняется принятым большим числом добывающих скважин и за счет большего срока разработки и более значимых объёмов попутно добытой воды. И, естественно, варианты с ВНЗ более значимо проигрывают вариантам без ВНЗ по значениям водонефтяного фактора.

Анализ результатов проведенных крупномасштабных математических экспериментов позволяет сделать следующие выводы.

1. Применение многозабойных скважин вполне может рассматриваться в качестве перспективного направления повышения эффективности разработки ВНЗ и залежей нефти подстилаемых подошвенной водой.

2. Технологические решения, обоснованные применительно к чисто нефтяным зонам залежей нефти, являются приемлемыми и оправдывают себя при разработке ВНЗ и залежей нефти с подошвенной водой на основе МЗС.

3. Наличие подошвенной воды ухудшает, по сравнению с чисто нефтяными зонами, показатели добычи нефти, как при разработке вертикальными скважинами, так и с использованием МЗС. Это проявляется в снижении КИН, увеличении ВНФ, уменьшении начальных дебитов по нефти, сокращении сроков рентабельной добычи нефти.

4. Идея разнесения по вертикали забоев добывающих и нагнетательных скважин (при достаточной нефтенасыщенной толщине) оправдывает себя как при разработке чисто нефтяных зон, так и зон с подошвенной водой. Это подтверждает плодотворность развиваемой в ИПНГ РАН идеи о целесообразности реализации в ряде случаев технологии вертикально-латерального заводнения. Так, в случае ВНЗ

нагнетательные горизонтальные стволы привлекательно размещать и ниже отметки ВНК.

В главе 4 основное внимание в предпринятых исследованиях уделено возможности и целесообразности использования многозабойных скважин при добыче нефти из нефтяных оторочек газонефтяных залежей. Объектом рассмотрения выбрана площадная система воздействия, как наиболее предпочтительная при разработке нефтяных оторочек.

Теоретический и практический интерес представляет рассмотрение зависимости показателей добычи нефти от следующих технологических факторов.

- Взаиморасположение стволов добывающих и нагнетательных скважин.
- Использование пилотных стволов.
- Тип и параметры нагнетательной скважины.
- Гидроразрыв пласта (ГРП) в добывающих и/или нагнетательных скважинах.
- Интервалы воздействия на нефтяную оторочку рабочим агентом.
- Технологические режимы эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин.

К нефтяным оторочкам нефтегазоконденсатных залежей приурочены значительные запасы нефти в стране. Однако, общеизвестно, что эти запасы относятся к категории трудноизвлекаемых. Это связано с тем, что их разработка осложнена явлениями конусообразования. Вследствие формирования газовых и водяных конусов происходит снижение дебитов скважин по нефти. Поэтому закономерно сокращается период рентабельной добычи нефти, что предопределяет низкие значения конечного коэффициента извлечения нефти. Это подтверждается как результатами теоретических исследований, так и фактическими данными разработки. По нефтяным оторочкам КИН обычно характеризуется низкими значениями (на уровне 20% и менее).

Одним из негативных факторов, снижающих эффективность разработки нефтяных оторочек, являются газовые конуса и соответственно - загазование добываемой продукции. Избежать загазования добываемой нефти прорывным газом

газоконденсатной шапки можно при эксплуатации скважин с критическими безгазовыми дебитами. В эпоху вертикальных скважин такие дебиты скважин по нефти оказывались нерентабельными, за исключением Анастасиевско-Троицкого месторождения. Поэтому разработка нефтегазоконденсатных залежей осуществлялась при сверхкритических дебитах скважин. Увеличению дебитов по нефти (согласно исследованиям ИПНГ РАН) может способствовать эксплуатация скважин при контролируемой загазованности добываемой продукции – при режимах заданного газового фактора. Такой режим эксплуатации скважин ОАО «Лукойл» заложил в проектный документ для месторождения им. Ю.Корчагина на шельфе Каспийского моря.

Появление горизонтальных скважин изменило ситуацию. Так, была показана целесообразность и успешно реализована добыча нефти из нефтяных оторочек месторождения Тролл (Норвегия) на основе горизонтальных скважин и эксплуатации их в режиме безгазовых дебитов. Этому способствовали два обстоятельства

- использование в качестве добывающих протяженных горизонтальных скважин,
- высокие коллекторские свойства (проницаемость около 5 мкм^2 и более).

Отличительной особенностью соответствующей технологии разработки является добыча нефти в режиме истощения пластовой энергии. Основанием для этого были значительные запасы газа в газоконденсатной шапке (в каждом из изолированных блоков).

Режим безгазовых дебитов может реализовываться и на отечественных месторождениях. Особенно если его дополнить процессом поддержания пластового давления. Известно, что особая привлекательность режима безгазовых дебитов имеет место при разработке месторождений шельфа. Этой проблеме посвящены исследования параграфа 4.1.

Вследствие рассмотрения площадных, симметричных систем воздействия, эксперименты выполнены на четверти элемента, расположенного в подгазовой зоне нефтегазового месторождения с подстилающей водой. Прогнозные

гидродинамические расчеты осуществлялись в 3D трехфазной (нефть – вода – растворенный в нефти газ – свободный газ) постановке.

Результаты исследований показывают, что в случае нефтяных оторочек оправданным является применение добывающих МЗС. Они обеспечивают достаточно высокие начальные безгазовые дебиты по нефти, от $63 \text{ м}^3/\text{сут}$ до $570 \text{ м}^3/\text{сут}$, в зависимости от размеров элемента разработки и длин стволов. При этом КИН может достигать значений 0.259 д.ед.

В параграфе 4.2 исследованы последствия разработки нефтяных оторочек при сверхкритических режимах эксплуатации добывающих многозабойных скважин. Тем более, что этот режим, сопровождавшийся сжиганием газа на факелах, был основным в практике нефтедобычи всех предыдущих лет. Поэтому выполнен ряд компьютерных экспериментов при различных условиях.

Для эффективной разработки нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных залежей (НГЗ) необходима надежная информация о содержании остаточной нефти в газонасыщенной части залежи. Остаточная нефть в газонасыщенных частях пласта имеет важное значение, не только при подсчете запасов или в определении коэффициентов газонасыщения, но и при эксплуатации НГЗ.

О возможности насыщения порового пространства газоконденсатных залежей нефтью высказывалось М.Т.Абасовым, А. Г. Дурмишьяном, Ю.В. Желтовым, В.Н.Мартосом и др. начиная с 60-х годов. Ими было обращено внимание, например, на несоответствие запасов газа некоторых месторождений Азербайджана, подсчитанных объемным методом и методом падения пластового давления. В результате изучения керна, поднятого из газонасыщенных зон, было установлено, что среднее значение остаточной нефтенасыщенности пород составляет от 12 % до 17.8% для различных месторождений. В дальнейшем наличие остаточной нефти в газоконденсатных залежах месторождений в России и за рубежом было подтверждено нашими и зарубежными исследователями.

Поэтому исследования параграфа 4.4 посвящены изучению влияния наличия остаточной нефти в газоносной зоне пласта на показатели разработки

нефтяной оторочки на основе МЗС. Сравнивая результаты исследований вариантов разработки с наличием погребенной нефти и без неё, приходим к следующим выводам. Наблюдается увеличение КИН с 0.360 – 0.389, до 0.463 – 0.535 в вариантах с наличием погребенной нефти. Увеличивается конечный водонефтяной фактор, с 9.4 – 14.1 в вариантах без остаточной нефтенасыщенности, до 12.8 – 15.2. Достаточно сильно возрастает срок разработки. Это наиболее отчетливо видно в вариантах с малой депрессией, при работе скважин на больших депрессиях этот фактор менее заметен.

Поскольку коллекторские свойства пласта являются определяющими параметрами, в параграфе 4.5 проведены исследования вариантов эксплуатации многозабойными скважинами нефтяных оторочек с различными коллекторскими свойствами. А в параграфе 4.6 рассмотрено влияние анизотропии коллекторских свойств на показатели разработки нефтяных оторочек. Кроме того, исследовано влияние свойств нефти на параметры разработки нефтяных оторочек.

В параграфе 4.8 исследовались варианты эксплуатации многозабойными скважинами нефтяных оторочек с различной нефтенасыщенной толщиной.

В заключительном параграфе 4.9, как и в предыдущих главах, рассматривается влияние различных схем размещения многозабойных скважин на параметры разработки нефтяных оторочек. Дополнительно проведены исследования на неоднородном по коллекторским свойствам элементе пласта.

Анализ вариантов разработки проводился по следующим показателям: коэффициент извлечения нефти (КИН), начальный дебит нефти ($Q_{н.н}$), начальная обводненность продукции (W_n), водонефтяной фактор (ВНФ), коэффициент извлечения газа из газовой шапки (КИГ), срок разработки.

Все эти показатели в полном объеме характеризуют варианты разработки и оказывают непосредственное влияние на экономические параметры разработки нефтяной оторочки.

Результаты исследований по рассмотренной совокупности вариантов позволяют отметить следующие моменты.

- Выполненные исследования показывают, что повышение эффективности разработки нефтяных оторочек может иметь место при использовании многозабойных скважин. При этом реалистичной становится добыча нефти при критических безгазовых дебитах нефти, что особенно привлекательно при разработке шельфовых месторождений и нефтегазоконденсатных залежей с высокими конденсатогазовыми факторами.

- Применительно к системе разработки нефтяных оторочек на основе безгазовых дебитов выполненные исследования показывают, что при режиме безгазовых дебитов использование многозабойных нагнетательных скважин не обеспечивает явного предпочтения перед вертикальными (более дешевыми) нагнетательными скважинами. Другими словами, применительно к рассмотренным геолого-физическим условиям и площадным системам разработки использование вертикальных нагнетательных скважин является оправданным для шадящей добычи нефти в режиме безгазовых дебитов.

- При использовании многозабойных скважин и режима их эксплуатации при безгазовых дебитах имеет место многофакторная связь оптимальных технологических решений и коллекторских свойств пласта. Поэтому в каждом конкретном случае целесообразны многовариантные оптимизационные расчеты. Тем более, что приводимые результаты относятся к однородным по коллекторским свойствам пластам.

- Эксплуатация скважин при сверхкритических дебитах имеет разнонаправленные технико-экономические последствия.

Так, значительные объемы попутно добываемого природного газа требуют развития, наряду с нефтяным, газового проекта.

Газовый проект нуждается в дополнительных и немалых капитальных и эксплуатационных расходах. Однако, вынужденная попутная добыча газа и конденсата приносит дополнительную прибыль. То есть, одновременная реализация нефтяного и газового проектов имеет положительный аспект в том, что запасы газа и конденсата не консервируются.

Добыча природного газа добывающими нефтяными скважинами полностью или частично снимает проблему бурения добывающих газовых скважин.

Высокие газовые факторы при сверхкритических дебитах позволяют добывать нефть в течение довольно продолжительного времени фонтанным способом.

Технические и технологические решения по поддержанию пластового давления, при значительных конденсатогазовых факторах, должны минимизировать потери конденсата в газоконденсатной шапке вследствие проявления явления ретроградной конденсации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Применение многозбойных добывающих и нагнетательных скважин можно рассматривать в качестве перспективного направления повышения эффективности разработки чисто нефтяных зон, ВНЗ, залежей нефти, подстилаемых подошвенной водой, а также нефтегазоконденсатных залежей.

- Технологические решения, обоснованные применительно к чисто нефтяным зонам залежей нефти, являются приемлемыми и оправдывают себя при разработке ВНЗ и залежей нефти с подошвенной водой на основе МЗС. Тем не менее, наличие подошвенной воды ухудшает показатели добычи нефти, как при разработке вертикальными скважинами, так и с использованием МЗС. Это проявляется в снижении КИН, увеличении ВНФ, уменьшении начальных дебитов по нефти, сокращении сроков рентабельной добычи нефти.

Влияние исследуемых технологических и природных факторов на показатели разработки ВНЗ и залежей с подошвенной водой имеют те же тенденции и закономерности что и в случае освоения запасов чисто нефтяных зон.

- Идея разнесения по вертикали забоев добывающих и нагнетательных скважин (при достаточной нефтенасыщенной толщине) оправдывает себя как при разработке чисто нефтяных зон, так и зон с подошвенной водой. Это подтверждает плодотворность развиваемой в ИПНГ РАН идеи о целесообразности реализации в

ряде случаев технологии вертикально-латерального заводнения. В случае ВНЗ нагнетательные горизонтальные стволы привлекательно размещать и ниже ВНК.

- Системы разработки на основе многозбойных добывающих и нагнетательных скважин, иногда в комбинации с вертикальными нагнетательными, могут обеспечивать сокращение проектного числа скважин, количества кустовых площадок, увеличение начальных дебитов скважин по нефти при разработке залежей разного типа. При этом имеют место многофакторные зависимости технологических показателей от свойств пласта и пластовых флюидов, особенно при разработке нефтегазоконденсатных залежей. Особая их перспективность – при разработке шельфовых месторождений.

- Разработка нефтяных оторочек многозбойными скважинами при эксплуатации добывающих МЗС при безгазовых дебитах является вполне реалистичной технологией. Между тем, декларативное отрицание технологии разработки нефтяных оторочек на основе эксплуатации добывающих скважин при сверхкритических дебитах не является строго научным. Результаты исследований показывают, что подбор и обоснование адекватных технологических решений для МЗС может приводить к приемлемым технико-экономическим результатам.

- Темпы разработки нефтяной оторочки, предопределяемые сверхкритической депрессией (дебитом), оказывают заметное влияние на все показатели добычи нефти. Многозбойные добывающие, вертикальные и многозбойные нагнетательные скважины – важнейшие орудия эффективной выработки запасов нефтяной оторочки.

- Учет остаточной нефтенасыщенности в газоконденсатной шапке оправдывает себя как с точки зрения достоверности прогнозных расчетов, так и достижения более высоких конечных КИН. Затраты на НИР касательно изучения остаточной нефтенасыщенности более чем окупаются последующими положительными последствиями.

- Приведенные выводы и рекомендации не являются предметом абсолютизации. Они свидетельствуют об увеличении факторов, влияющих на

эффективность разработки рассматриваемого типа залежей на основе МЗС. Следовательно, указывают на необходимость разносторонних предварительных исследований на элементах разработки. И только потом целесообразно осуществлять прогнозные расчеты на 3D крупномасштабной модели залежи с сопутствующими технико-экономическими расчетами.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Закиров Э.С., Роцин А.А., Закиров С.Н. Повышение эффективности разработки месторождений нефти на основе многозбойных скважин. Тр. Международного технологического симпозиума «Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи», Москва, 20-22 марта, 2007г.

2. Закиров Э. С., Роцин А. А. Разработка нефтяных оторочек при сверхкритических дебитах скважин по газу. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2007. — №11. — С. 30 — 35.

3. Закиров С. Н., Роцин А. А. Особенности разработки нефтегазо-конденсатных залежей при безгазовых дебитах скважин / // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2007. — №12. — С. 14 — 19.

4. Закиров Э.С., Роцин А.А., Закиров С.Н. Способ разработки нефтяной залежи многозбойными скважинами. Патент РФ на изобретение № 2330156.

5. Закиров С.Н., Индрупский И.М. Закиров Э.С., Закиров И.С. и др. Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа. Часть 2 –Москва–Ижевск, РХД,; 2009, -484с.

Соискатель

А.А. Роцин