



ВЕЛИЕВ ЭЛШАД МУБАРИЗОВИЧ

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ
НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ
(на примере месторождения Кумколь)**

Специальность 07.00.10 - История науки и техники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Транспорт и хранение нефти и газа» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Владимиров Игорь Вячеславович

Официальные оппоненты:

Низаев Рамиль Хабутдинович
доктор технических наук, доцент,
Татарский научно-исследовательский и
проектный институт нефти публичного
акционерного общества "Татнефть"
имени В.Д. Шашина / отдел разработки
нефтяных месторождений, заместитель
начальника отдела

Сарваретдинов Рашит Гасымович
кандидат технических наук,
ООО научно-производственная фирма
«Востокнефтегазтехнология», директор

Ведущая организация

ООО «Роснефть – Уфимский научно-
исследовательский проектный институт
нефти» (г. Уфа)

Защита состоится 25 декабря 2018 г. в 15:30 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.289.01 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте <http://www.rusoil.net>.

Автореферат разослан ____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сыркин Алик Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

История создания и развития каждой новой технологии проходит ряд этапов. Применительно к технологии нестационарного воздействия в разработке нефтенасыщенных коллекторов можно выделить следующие периоды: 1) создание технологии (конец 50-х - начало 60-х годов прошлого столетия); 2) экспериментальное обоснование технологии (первая половина 60-х – конец 60-х годов прошлого столетия); 3) теоретическое обоснование технологии (вторая половина 60-х – начало 70-х годов прошлого столетия); 4) опытно-промышленное испытание технологии (60-70 года прошлого столетия); 5) массовое применение технологии (вторая половина 70-х – конец 80-х годов); 6) снижение интереса к технологии, уменьшение числа применения технологии НЗ (начало 90-х - конец – 90-х годов); 7) возрождение интереса к технологии нестационарного воздействия (первая половина 2000-х годов); 8) увеличение числа применения НЗ, применение НЗ в разработке залежей высоковязкой нефти (вторая половина 2000-х по настоящее время). Каждый из этапов сопровождался интенсивными исследованиями, как в теоретическом, так и в опытно-промышленном направлениях. Изучались возможности комбинирования технологии нестационарного воздействия с другими технологиями, например, с технологиями изменения направления фильтрационных потоков, с технологиями теплового воздействия, водогазового воздействия и др.

Постоянный интерес к технологии нестационарного воздействия объясняется следующими особенностями. При разработке высокопродуктивных неоднородных по проницаемости коллекторов за счет опережающего заводнения высокопроницаемых зон (слоев, пропластков) происходит неравномерная выработка запасов нефти. При этом в зависимости от соотношения проницаемостей низкопроницаемых и высокопроницаемых слоев, соотношения вязкостей нефти и воды и других факторов обводненность добываемой продукции может достигать предельных значений при невысоких отборах от начальных извлекаемых запасов нефти. Данная ситуация, когда обводненность достигает и даже превышает предельные значения, а в пластах остаются значительные объемы подвижных запасов нефти, достаточно часто встречается при разработке нефтяных месторождений. Особенно ярко это проявляется на залежах высоковязкой нефти.

Наиболее часто применяемым методом в решении проблемы снижения обводненности являются технологии ограничения притока воды и потокоотклоняющие технологии. Данные виды технологий предполагают ограничение движения воды по высокопроницаемым интервалам пласта за счет закачки в них специальных тампонирующих составов. Как показывает практика, устойчивого положительного эффекта от применения таких технологий можно добиться при закачке больших объемов тампонирующих составов. В противном случае, область воздействия ограничивается околоскважинной зоной, что зачастую является недостаточным для получения положительного экономического эффекта.

В отличие от затратных технологий ограничения водопитока и потокоотклоняющих технологий, нестационарное заводнение (НЗ) является практически бесплатной технологией. Опыт применения нестационарного заводнения на месторождениях бывшего Советского Союза показал хорошую технологическую и экономическую эффективность технологии НЗ. Вместе с тем,

необходимо отметить, что теория и практика применения нестационарного заводнения разрабатывались для условий, когда обводненность добываемой продукции существенно ниже предельных значений. Для разработки высокопродуктивных неоднородных по проницаемости коллекторов, обводненность которых близка и даже превышает предельное значение, встает вопрос о применимости нестационарного заводнения. Более того, значительные отборы жидкости из высокопродуктивного коллектора при недостаточной мощности системы поддержания пластового давления (ППД) предполагает быстрое снижение пластового давления. Возможно ли применение в таких условиях нестационарного воздействия? Решению данных вопросов и посвящена настоящая диссертационная работа.

Степень разработанности темы

Основы метода нестационарного заводнения были заложены в 60-х годах прошлого столетия в работах таких ученых, как Боксерман А.А., Губанов А.И., Желтов Ю.П., Кочешков А.А., Оганджянц В.Г., Сургучев М.Л. Метод практически сразу вошел в список рекомендуемых технологий повышения нефтеотдачи. В 70-80-е годы прошлого столетия технология переживает период бурного развития. Технология НЗ в разных модификациях (в том числе и в сочетании с технологией изменения направления фильтрационных потоков) широко применялась на многих нефтяных месторождениях Советского Союза. В этот период необходимо отметить работы следующих ученых: Атанов Г.А., Баренблатт Г.И., Бочаров В.А., Гавура В.Е., Цынкова О.Э., Шарбатова И.Н., Горбунов А.Т., Муслимов Р.Х. и др. За рубежом случаи применения технологии нестационарного заводнения единичны.

В 90-е годы наблюдается спад интереса к технологии НЗ по ряду причин. В новом столетии в работах таких ученых, как Бакиров И.М., Владимиров И.В., Гафаров Ш.А., Крянев Д.Ю., Насыбуллин А.В. и другие продолжается изучение возможностей метода. Было показано, что технология НЗ является эффективной в разработке залежей высоковязкой нефти (Владимиров И.В., Пичугин О.Н., Горшков А.В., Альмухаметова Э.М.). В настоящее время наблюдается повсеместное возрождение интереса к технологиям нестационарного воздействия.

Цель работы – обобщение исторического опыта применения технологии нестационарного воздействия и определение основных направлений развития технологии в настоящее время. На основе данного исследования предложить пути повышения эффективности действующих систем разработки, эксплуатирующих высокопродуктивные неоднородные по проницаемости коллекторы, в результате применения нестационарного воздействия в сочетании с периодической работой добывающих скважин.

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

1 Изучение опыта применения технологии нестационарного заводнения на месторождении Кумколь, анализ эффективности применяемых видов технологии.

2 Анализ структуры запасов нефти эксплуатационных объектов месторождения Кумколь; анализ выработки запасов нефти; определение объемов недренируемых запасов нефти, сосредоточенных в низкопроницаемых слоях коллектора.

3 Теоретическое исследование условий эффективного применения нестационарного заводнения на залежах нефти, находящихся в заключительной стадии разработки.

4 Обоснование применения периодической работы высокообводненных добывающих скважин совместно с циклической закачкой воды.

5 Разработка программы развития нестационарного заводнения на месторождении Кумколь.

Объект исследования

Технология нестационарного воздействия в различных ее модификациях и применение ее в разработке высокопродуктивных послойно- и зонально-неоднородных по проницаемости коллекторов меловых и юрских горизонтов месторождения Кумколь.

Предмет исследования

Опыт применения технологии нестационарного воздействия на месторождении Кумколь; процессы фильтрации пластовых флюидов в неоднородных по проницаемости коллекторах при нестационарном воздействии; технологии нестационарного заводнения, периодической эксплуатации добывающих скважин.

Методы решения поставленных задач

Сформулированные в работе задачи исследований решались с применением рекомендованных в нефтяной промышленности гидродинамических симуляторов многофазной фильтрации. Исходная промысловая информация обрабатывалась с использованием современных методов статистики.

Научная новизна

1 Показано, что нестационарное заводнение является эффективным при любой «стартовой» обводненности (т.е. обводненности, при которой начинается циклическая закачка воды). При этом проявляется следующая особенность – эффект от НЗ тем меньше, чем выше «стартовая» обводненность.

2 Изменение длительности полуцикла работы/остановки нагнетательных скважин показало, что приращение коэффициента извлечения нефти (КИН) за счет НЗ всегда положительно для любой длительности полуцикла. При этом в зависимости КИН от длительности полуцикла имеется максимум эффективности НЗ. Но данный максимум достаточно «размыт», поэтому продолжительность полупериода простоя/работы может задаваться в достаточно широких пределах. В зависимости от соотношения проницаемостей высоко- и низкопроницаемых слоев (k) имеются следующие тенденции расположения максимума КИН: при невысоких значениях отношения k максимум КИН смещается в сторону более коротких полупериодов, при высоких значениях k – в сторону более длинных полупериодов.

3 Выявлено, что на скважинах, совместно эксплуатирующих два объекта (единым фильтром), нестационарное заводнение с большей вероятностью будет иметь отрицательный эффект. Разнородность фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и неоднородность поля пластового давления по разрезу таких скважин приводят к возникновению межпластовых внутрискважинных перетоков, что снижает эффективность циклического воздействия.

4 Показано, что логическим продолжением развития технологии НЗ на месторождении является комплексирование циклического заводнения с технологией изменения направления фильтрационных потоков и периодической эксплуатацией добывающих скважин.

Практическая ценность результатов работы

Полученные в диссертационной работе результаты используются для повышения эффективности действующих систем ППД в разработке сильно неоднородных по проницаемости высокопродуктивных коллекторов. Развитые в работе подходы могут быть использованы в качестве инженерных методик при проектировании технологий нестационарного заводнения. Предложенные рекомендации по расширению и модификации существующего на месторождении Кумколь метода нестационарного заводнения были внедрены на дополнительном участке НЗ первого эксплуатационного объекта. В результате внедрения рекомендаций по нестационарному заводнению, разработанных с участием автора, в 2014 г. получен эффект в 4.4 тыс. т дополнительно добытой нефти.

Положения, выносимые на защиту:

1 Детальный анализ геологических особенностей и состояния выработки горизонтов эксплуатационных объектов месторождения Кумколь показал, что в современных экономических условиях необходимо расширять применение технологии нестационарного заводнения;

2 Анализ применяемых технологий НЗ на месторождении Кумколь показал, что в настоящее время необходимо перейти к третьему этапу развития нестационарного заводнения – к комплексной технологии НЗ, включающей в себя периодическую работу высокообводненных добывающих скважин в противофазе с циклической работой нагнетательных скважин;

3 Разработаны направления развития технологий НЗ на месторождении Кумколь. Приведены методические подходы по практической реализации технологии НЗ.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность обосновывается применением при исследованиях стандартных гидродинамических симуляторов, рекомендованных для нефтедобывающей отрасли. В процессе обработки исходных данных использовались хорошо известные и апробированные методы математического моделирования и статистического анализа с использованием ПЭВМ. Рекомендации работы прошли апробации в промысловых условиях с положительным технологическим эффектом.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: научно-технических семинарах АО «Тургай-Петролеум» (г. Кызылорда, 2014 г.); семинарах ООО «Конкорд» (г. Москва, 2014-2017 гг.); XIV-ой международной научно-практической конференции «Энергоэффективность. Проблемы и решения» (г. Уфа, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа» (г. Уфа, 2015 г.).

Личный вклад автора

Автор принимал участие в численных расчетах на гидродинамических моделях, в формировании основных выводов работы, в разработке программы

совершенствования нестационарного заводнения и анализе результатов внедрения опытно-промышленных работ по применению НЗ на месторождении Кумколь.

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 научных трудах, в том числе в 5 ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н., проф. Владимирову И.В. за постоянный интерес и поддержку, а также сотрудникам ООО «Конкорд» (г. Москва) за помощь и полезные советы, высказанные в процессе выполнения диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и основные задачи, обозначены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая ценность результатов работы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору опубликованной научно-технической литературы по вопросам состояния изученности проблемы и опыта разработки залежей с применением нестационарного заводнения.

Разработкой основ технологии нестационарного заводнения, критериев эффективного применения циклической закачки воды в разные годы занимались следующие исследователи: Атанов Г.А., Баренблатт Г.И., Бочаров В.А., Гавура В.Е., Цынкова О.Э., Шарбатова И.Н., Горбунов А.Т., Муслимов Р.Х., Бакиров И.М., Владимиров И.В., Гафаров Ш.А., Крянев Д. Ю., Насыбуллин А.В. и др.

В обзоре рассмотрены вопросы разработки послойно-неоднородных по проницаемости пластов. Показано, что быстрая выработка запасов из высокопроницаемых слоев коллектора приводит к быстрому обводнению добываемой продукции при низких показателях отбора запасов. Для повышения эффективности разработки необходимо вовлечь в процесс дренирования запасы нефти, сосредоточенные в низкопроницаемых слоях.

Нестационарное заводнение как метод повышения нефтеотдачи основано на следующих физических принципах. В послойно неоднородном по проницаемости пласте скорости распространения возмущений пластового давления в низко- и высокопроницаемых слоях различны. При наличии гидродинамической связанности высоко- и низкопроницаемых слоев между слоями возникают градиенты давлений, способствующие межслойному перетоку жидкости. При повышении пластового давления вода внедряется в низкопроницаемые слои коллектора и удерживается там капиллярными силами. При снижении давления возникают условия для перетока нефти из низкопроницаемых слоев в высокопроницаемые и для дальнейшего ее дренирования к забоям добывающих скважин.

Организация нестационарного заводнения в основном происходит в результате периодического включения и отключения нагнетательных скважин. Однако существуют и другие способы осуществления периодического воздействия.

Преимущество нестационарного заводнения заключается в ее низкой стоимости, при этом эффект от технологии может достигать значимых величин (10...15 % от накопленных отборов за время применения технологии).

Технология НЗ крайне привлекательна для применения в разработке нефтяных залежей, особенно залежей, находящихся в заключительной стадии разработки. Однако массового применения технология НЗ в настоящее время не имеет. После бурного развития в 70-80 годы прошлого столетия технология НЗ оказалась за рамками наиболее популярных технологий методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Это связано с рядом обстоятельств. Во-первых, в период 90-х годов прошлого века в нефтедобывающей отрасли решающее влияние имели специалисты, ориентированные на западные технологии. Интересно, что, несмотря на успешный опыт применения нестационарного заводнения на ряде иностранных нефтяных месторождений, технология НЗ осталась «экзотическим» методом повышения нефтеотдачи для западных специалистов. Произошел разрыв между богатым опытом советской школы нефтяной науки и современными на тот момент представлениями о разработке нефтяных месторождений. Во-вторых, несмотря на свою относительную простоту, практическая реализация технологии НЗ требует значительной предварительной подготовки. Нестационарное заводнение является одним из наиболее наукоемких методов повышения нефтеотдачи. Поэтому разработка программ НЗ проводится специализированными научно-проектными организациями. Можно условно выделить три направления в подготовке данной технологии к реализации: выбор участка, выбор технологии НЗ и ее параметров, согласование технологии с возможностями систем ППД и сбора. В-третьих, технология НЗ, реализованная на нефтяной залежи, имеет тенденции к «старению», т.е. ее эффективность со временем снижается. Особенно быстро происходит «старение» технологии НЗ на залежах высоковязкой нефти. Это требует постоянного изменения технологии, ее комплексирования с другими методами.

Современное состояние рассматриваемой проблемы совершенствования технологий нестационарного воздействия показывает, что дальнейшие теоретические исследования нестационарных процессов, опытно-промышленные работы по адаптации и созданию новых технологий нестационарного воздействия, а также определение условий эффективности их применения остаются актуальными.

Во второй главе приведены основные сведения о геологическом строении коллекторов эксплуатационных объектов месторождения Кумколь (Казахстан). В разрезе месторождения Кумколь выявлено 6 продуктивных горизонтов: в меловых отложениях выделяется арыскупский горизонт, содержащий два продуктивных горизонта: М1 и М2; в верхнеюрских отложениях (кумкольская свита) содержатся три продуктивных горизонта: Ю1, Ю2 и Ю3; в средней юре (дошанская свита) – один продуктивный горизонт Ю4.

Продуктивные горизонты объединены в четыре объекта разработки: первый – горизонты М1 и М2 (совместно), второй – горизонты Ю1 и Ю2 (совместно), третий – Ю3, четвертый – Ю4. Детализация геологического строения показала, что продуктивные горизонты месторождения Кумколь характеризуются высокой продуктивностью, высокой проницаемостью, являются расчлененными, неоднородными по проницаемости, имеют высокое содержание глинистых минералов.

Анализ структуры запасов нефти продуктивных горизонтов показывает, что при достижении предельной обводненности добываемой продукции вне действия системы разработки остаются значительные запасы нефти: 16,5 % от всех начальных подвижных запасов и 19,7% от всех начальных геологических запасов

нефти. Вязкость нефти в пластовых условиях изменяется от 2,9 мПа·с (первый эксплуатационный объект) до 0,9 мПа·с (четвертый эксплуатационный объект). Наблюдается изменение свойств нефти в процессе разработки на всех эксплуатационных объектах месторождения.

На сегодня большая часть скважин месторождения (практически 64,2 % - 246 скв.) работает с обводненностью, близкой к предельной (более 95 %). Выработка запасов нефти происходит крайне неравномерно. Около 52,5 % всех скважин имеют текущие извлекаемые запасы менее 1 тыс. т (определены по характеристикам вытеснения). В среднем на одну скважину эксплуатационного фонда текущие извлекаемые запасы нефти составили: 2,3 тыс. т – первый эксплуатационный объект (М1+2), 3,6 тыс. т – Ю1+2, 3,1 тыс. т – Ю3, 1,7 тыс. т – Ю4.

На 01.11.2014 г. текущий КИН месторождения Кумколь составил 0,455 д.ед. При этом текущая обводненность в целом по месторождению составляет 97,0 %, а показатель отбора проектных начальных извлекаемых запасов (НИЗ) в среднем не выше 78,6 %. Темпы роста обводненности не соответствуют уровню отбора начальных извлекаемых запасов нефти. При существующей системе разработки проектный КИН при предельной обводненности 98 % достигнут не будет.

Большая часть текущих запасов нефти расположена в низкопроницаемых прослоях коллектора, выработка которых будет происходить при обводненности выше предельной. Поэтому, при наличии гидродинамической связи между высоко- и низкопроницаемыми прослоями необходимо применять нестационарное воздействие. Обращает внимание низкое пластовое давление всех эксплуатационных объектов. На сегодня в большей части нефтенасыщенного объема коллектора пластовое давление снизилось ниже давления насыщения нефти газом. Произошло разгазирование нефти в пластовых условиях и формирование фазы свободного газа в фильтрационном пространстве.

Для повышения эффективности действующей системы разработки необходимо расширить области применения нестационарного заводнения. В зонах отбора с низким пластовым давлением необходимо применение НЗ в сочетании с периодической остановкой высокообводненных большедебитных добывающих скважин. При этом необходимо согласовать периодическую работу добывающих и воздействующих нагнетательных скважин таким образом, чтобы интенсифицировать обмен жидкостью между низкопроницаемыми и высокопроницаемыми слоями в большей части межскважинного пространства.

Для выяснения условий эффективного применения технологий нестационарного воздействия на залежах с высокой обводненностью добываемой продукции **в третьей главе** проведены теоретические исследования.

В качестве гидродинамической модели процесса выработки запасов нефти из послойно-неоднородного по проницаемости коллектора была рассмотрена модель гипотетической залежи, основные свойства которой совпадали со свойствами горизонта М1. Рассмотрены следующие виды задач. Исследование эффективности нестационарного воздействия проведено на примере послойно-неоднородного по проницаемости коллектора с различными значениями коэффициента проницаемости низкопроницаемых слоев. В данной группе задач фиксировалось значение проницаемости высокопроницаемого слоя и изменялись значения низкопроницаемых слоев. Для каждой комбинации коэффициентов проницаемости слоев рассматривались несколько вариантов, из которых базовый предусматривал стационарное заводнение, а варианты с НЗ отличались длительностью

полупериода работы (остановки) нагнетательных скважин, «стартовыми» значениями обводненности.

Нестационарное заводнение на послойно неоднородных по проницаемости коллекторах с высоким показателем неоднородности позволяет существенно поднять нефтеотдачу пласта, при этом эффект достаточно быстро нарастает. Отметим, что также возрастает и время разработки за счет снижения обводненности добываемой продукции участка. Эффект от НЗ на высокопроницаемых достаточно однородных по проницаемости коллекторах более скромнен по величине и проявляется более медленно (рисунок 1 а).

Исследовано влияние НЗ на эффективность вытеснения нефти при различной «стартовой» обводненности. Показано, что в зависимости от соотношения проницаемостей высокопроницаемого и низкопроницаемого слоев ($k = K_{ВП}/K_{НП}$) нестационарное заводнение имеет разные тренды от значения «стартовой» обводненности. При высоких значениях k наблюдается монотонное снижение эффективности НЗ при росте «стартовой» обводненности.

Рассмотрим, как влияет продолжительность полупериодов работы/остановки нагнетательных скважин на эффективность нестационарного заводнения. Была проведена серия численных экспериментов для разных значений продолжительности полупериода: 3, 5, 10, 15 суток. При этом задавались следующие свойства коллектора: проницаемость высокопроницаемого слоя оставалась неизменной и равнялась 2.0 мкм^2 , проницаемость низкопроницаемых слоев принимала значения 0.10, 0.05, 0.01 и 0.001 мкм^2 . «Стартовая» обводненность – 90 %.

Было показано, что эффективность НЗ в краткосрочной перспективе (т.е. сразу после начала осуществления технологии) зависит от таких факторов, как проницаемостная неоднородность и длительность полупериода. Однако в долгосрочной перспективе знак технологического эффекта не зависит от указанных факторов. Справедливость данного утверждения продемонстрирована на Рисунке 2, где представлена зависимость прироста КИН, обусловленного применением нестационарного заводнения, для разных значений проницаемости низкопроницаемых слоев и продолжительности полупериодов. Видно, что прирост всегда положителен.

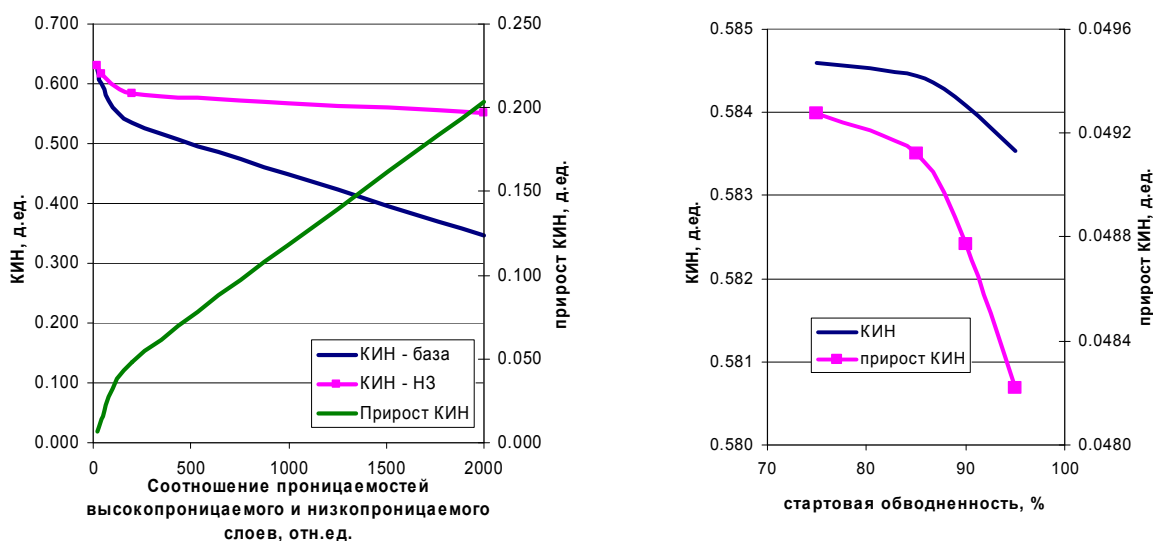


Рисунок 1 – Зависимости КИН и прироста КИН за счет НЗ от соотношения проницаемостей высокопроницаемого и низкопроницаемого слоев коллектора (а) и от «стартовой» обводненности ($k = 200$) (б)

Для малых величин продолжительности полуциклов период отрицательной эффективности незначителен, либо отсутствует вообще. Поэтому при организации нестационарного заводнения на залежах неоднородного по проницаемости коллектора необходимо начинать с непродолжительных циклов работы/остановки нагнетательных скважин. В дальнейшем при непрерывном применении нестационарного заводнения продолжительность полуциклов необходимо увеличивать.

Как видно на Рисунке 2, прирост КИН положителен при любой длительности полуцикла работы/остановки нагнетательных скважин. При этом имеется максимум эффективности НЗ. Но данный максимум достаточно «размыт», не выражен ярко. Поэтому продолжительность полупериода простоя/работы может задаваться в достаточно широких пределах, в зависимости от соотношения проницаемостей высоко- и низкопроницаемых слоев. Так, например, для значения соотношения равного $k = 20$ имеется небольшая тенденция положения максимума прироста КИН к более коротким полупериодам. В то же время при значении соотношения $k = 2000$ наблюдается тенденция к увеличению длительности полупериодов. Наибольший прирост КИН за счет НЗ соответствует минимальным проницаемостям низкопроницаемых слоев.

При высокой обводненности добываемой продукции в целях снижения обводненности и ограничения добычи жидкости необходимо сочетать циклическую закачку воды с периодическими отборами жидкости. Для проверки данной гипотезы была проведена серия аналогичных изложенных выше численных экспериментов. «Стартовая» обводненность 95 %. Для каждой задачи рассматривались два варианта – базовый (стационарная работа скважин) и вариант с нестационарной работой скважин (циклическая закачка воды и периодические отборы жидкости в противофазе (НЗ + ПЭ)).

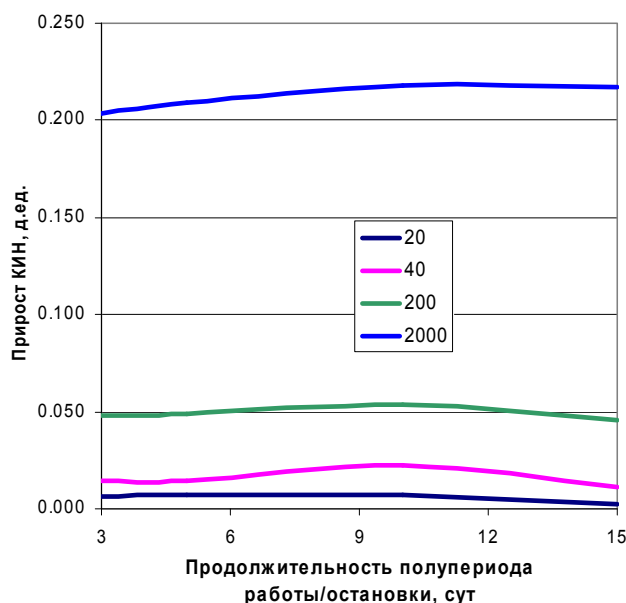


Рисунок 2 – Зависимости прироста КИН за счет НЗ от длительности полуцикла остановки/работы нагнетательных скважин при разных значениях проницаемостной неоднородности коллектора

Применение технологии НЗ + ПЭ на послойно-неоднородных по проницаемости коллекторах с высоким показателем неоднородности позволяет

существенно подвысить нефтеотдачу пласта, при этом эффект достаточно быстро нарастает. Отметим, что также значительно снижаются отборы попутно добываемой воды. Даже на высокопроницаемых достаточно однородных по проницаемости коллекторах происходит снижение добычи жидкости на 5 %, но при более скромном по величине технологическом эффекте по добыче нефти (1.3 %). Зависимости конечного КИН от проницаемости низкопроницаемых слоев приведены на Рисунке 3.

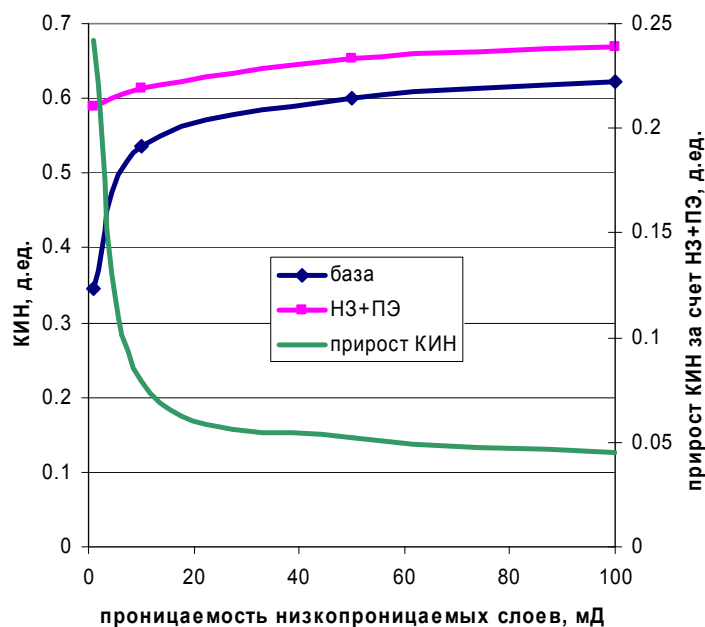


Рисунок 3 – Зависимости КИН и прироста КИН за счет НЗ + ПЭ от проницаемости низкопроницаемых слоев неоднородного коллектора

В четвертой главе представлен анализ результатов внедрения технологии нестационарного заводнения на участках эксплуатационных объектов месторождения Кумколь.

В рамках опытно-промышленных работ на месторождении Кумколь в 2009 году было начато нестационарное заводнение. Технология циклического воздействия, примененная на участках первого и второго эксплуатационных объектов, предусматривала одновременное отключение (ограничение) всех нагнетательных скважин участка на определенный период времени. Выбрана технология с симметричными полуциклами, время работы нагнетательных скважин равно времени их простоя. Во время отключения нагнетательных скважин одного из участков, вода, поступающая из блока кустовой насосной станции (БКНС), распределялась на нагнетательные скважины другого участка. Длительность полуциклов составляла сначала 1 сутки, затем 3 суток. За пять месяцев (на 01.04.2010 г.) по участку циклического воздействия первого эксплуатационного объекта технологический эффект от технологии составил 1,673 тыс. т дополнительно добытой нефти, а по участку второго эксплуатационного объекта – 7,386 тыс. т. Анализ применяемой технологии НЗ показал, что эффективность от циклического воздействия необходимо увеличить за счет правильного подбора периодов остановки и работы нагнетательных скважин и сочетания с технологиями изменения направления фильтрационного потока.

Применение технологии НЗ + ИНФП начиная с весны 2011 г. показало, что технологический эффект за 6 месяцев составил в целом по первому участку (горизонты М1 + М2) 16,754 тыс. т. Расчет эффекта по реагирующим добывающим скважинам по отдельности составил 30.881 тыс. т дополнительно добытой нефти. По второму участку НЗ (горизонты Ю1 + Ю2) технология НЗ продемонстрировала отрицательный эффект. На 01.11.2011 г. потери от циклического воздействия составили 2.45 тыс. т. Расчет эффекта по реагирующим добывающим скважинам по отдельности показал, что эффект положительный и составляет 2.966 тыс. т дополнительно добытой нефти.

Исследование причин отрицательного эффекта от циклического воздействия на участке НЗ второго эксплуатационного объекта показало, что отрицательный эффект обусловлен реакцией скважин 2114, 2347, 2378. Все указанные скважины эксплуатируют единым фильтром горизонты Ю1 и Ю2. Анализ перфорации пластов горизонтов Ю1 и Ю2 в скважинах участка показал несоответствие интервалов в области отборов и закачки, что неизбежно приводит к возникновению межпластовых внутрискважинных перетоков жидкости. Это, в свою очередь, вызывает рост обводненности добываемой продукции и снижение дебита нефти. Этот вывод был в дальнейшем проверен для условий первого участка НЗ (горизонты М1 + М2).

В 2012 году нестационарное заводнение применялось только на основном участке первого эксплуатационного объекта. Ввиду технических проблем нестационарное заводнение осуществлялось в апреле-мае и сентябре-октябре 2012 года, что по продолжительности составляет половину от проектного времени применения НЗ. Анализ эффективности применяемой технологии НЗ показал, что на 01.11.2012 г. технологический эффект составил 6.95 тыс. т. Ввиду непродолжительности испытания технологии НЗ + ИНФП на данном участке предложено продолжение ее применения на данном участке в 2013 году.

В 2013 году нестационарное заводнение применялось только на основном участке первого эксплуатационного объекта. Анализ эффективности применяемой технологии НЗ показал, что на 01.10.2013 г. технологический эффект составил 6,5 тыс. т. Эффект от НЗ, оцененный по реагирующим добывающим скважинам по отдельности, составил 14.6 тыс. т. Рассмотрим, отличаются ли средние эффекты для скважин, совместно эксплуатирующих горизонты М1 и М2, и для скважин, работающих только на горизонт М1 или М2.

В таблице 1 приведены данные по удельному эффекту для скважин совместного и раздельного фондов. Как видно из анализа Таблицы 1, скважины совместного фонда характеризуются отрицательным эффектом от циклического воздействия. Аналогичный эффект наблюдался и для скважин второго эксплуатационного объекта. Данное явление связано с тем, что для скважин совместного фонда очень велика вероятность возникновения внутрискважинных межпластовых перетоков, которые приводят не только к отрицательной эффективности нестационарного воздействия, но всего заводнения в целом.

Таблица 1 – Данные по эффективности нестационарного заводнения для скважин совместного и раздельного фондов

Горизонт	Обоснованный эффект по горизонтам, т	Число скв. шт. участвующих в расчете эффекта, штук	Удельный эффект, $\frac{т}{(скв. \cdot мес.)}$
M1	16372	21	129.9
M2	910	1	151.7
M1+2	-2679	9	-49.6
Итого	14603	31	78.5

Таким образом, было установлено, что отрицательный эффект от НЗ на участке первого эксплуатационного объекта связан с низкими плотностями подвижных запасов нефти, сосредоточенных в низкопроницаемых слоях коллектора, а также с совместной эксплуатацией горизонтов с разными ФЕС. В основном эффект от НЗ в 2013 году обусловлен скважинами, расположенными в зоне повышенной плотности подвижных запасов нефти и работающими отдельно на горизонт M1 или M2. Средняя удельная эффективность в 2013 с учетом потерь составила 78.5 т/(скв.·мес.).

Анализ динамики эффективности нестационарного заводнения на первом участке НЗ (горизонты M1+M2) показывает, что в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция снижения величины эффекта от технологии (рисунок 4). Необходимы дальнейшая модификация технологии нестационарного воздействия и переход к комплексной технологии, включающей циклическую закачку воды в сочетании с периодической работой высокообводненных добывающих скважин

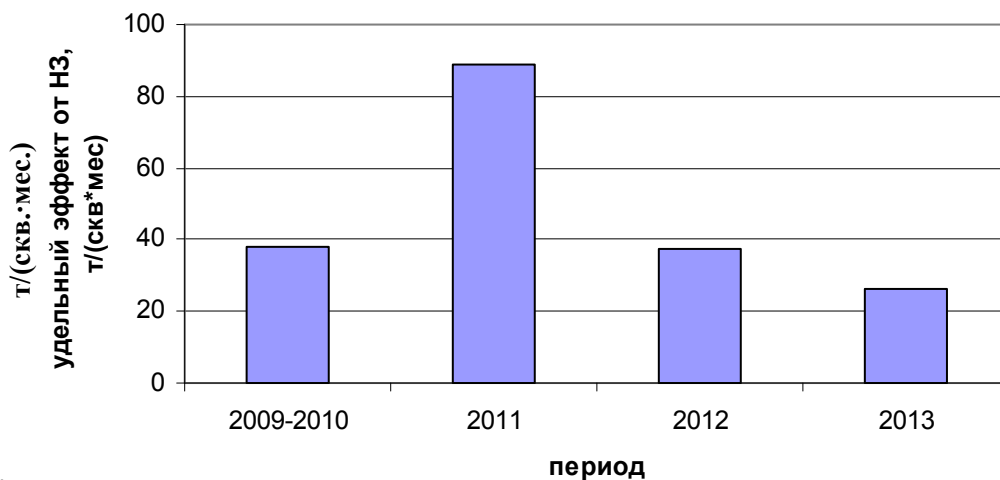


Рисунок 4 – Динамика удельного технологического эффекта от применения технологии НЗ на первом участке НЗ первого эксплуатационного объекта месторождения Кумколь

В **пятой главе** изложены сведения о результатах применения нестационарного заводнения на втором (дополнительном) участке первого эксплуатационного объекта месторождения Кумколь и определены направления дальнейшего развития и совершенствования технологий нестационарного воздействия.

В 2014 году нестационарное заводнение проводилось только на дополнительном (втором) участке первого эксплуатационного объекта (горизонт М1) (рисунок 5). Воздействующие нагнетательные скважины 1076, 2180, 3178, 1083, 2216, 1067, 3201, 2161, 3397, 1075, 2497 – первая группа, 2584, 1079, 2149, 2165, 1086, 1072, 1080, 2166 – вторая группа. Нестационарное воздействие осуществлялось в результате периодического поочередного отключения и включения нагнетательных скважин первой и второй групп. Использовались симметричные циклы с пятисуточным периодом работы/простоя групп нагнетательных скважин (рисунок 6).

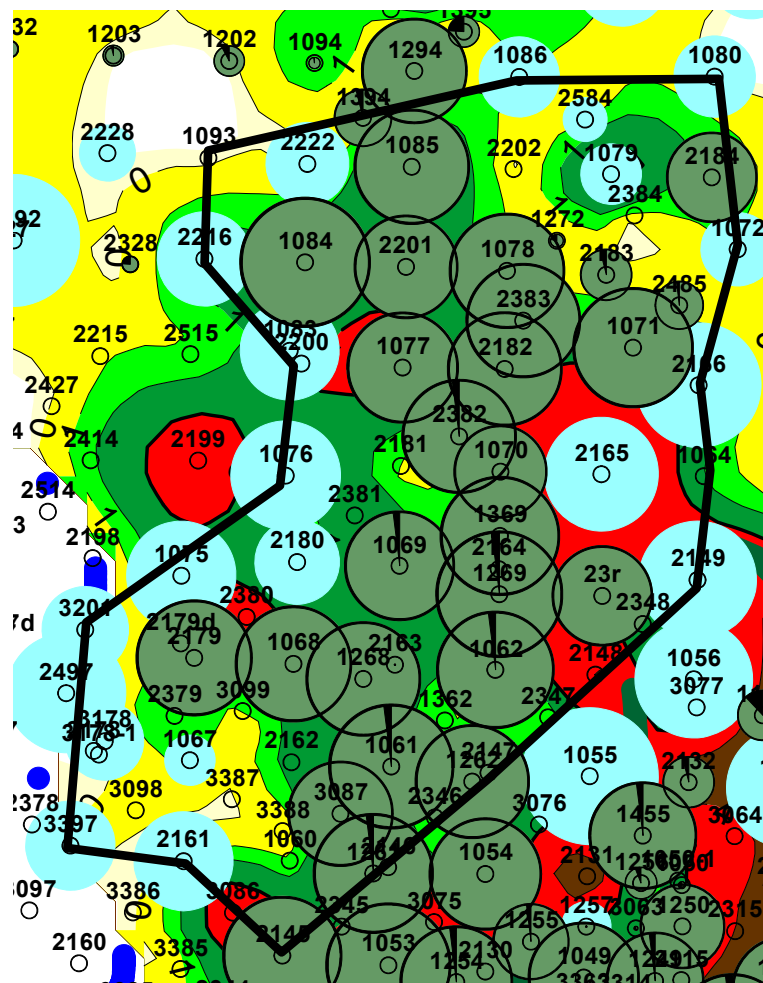


Рисунок 5 – Фрагмент карты плотности подвижных запасов нефти, сосредоточенных в низкопроницаемых слоях коллектора первого эксплуатационного объекта месторождения Кумколь с действующим фондом нагнетательных и добывающих скважин в 2014 г. (черным полигоном показаны границы участка НЗ № 2)

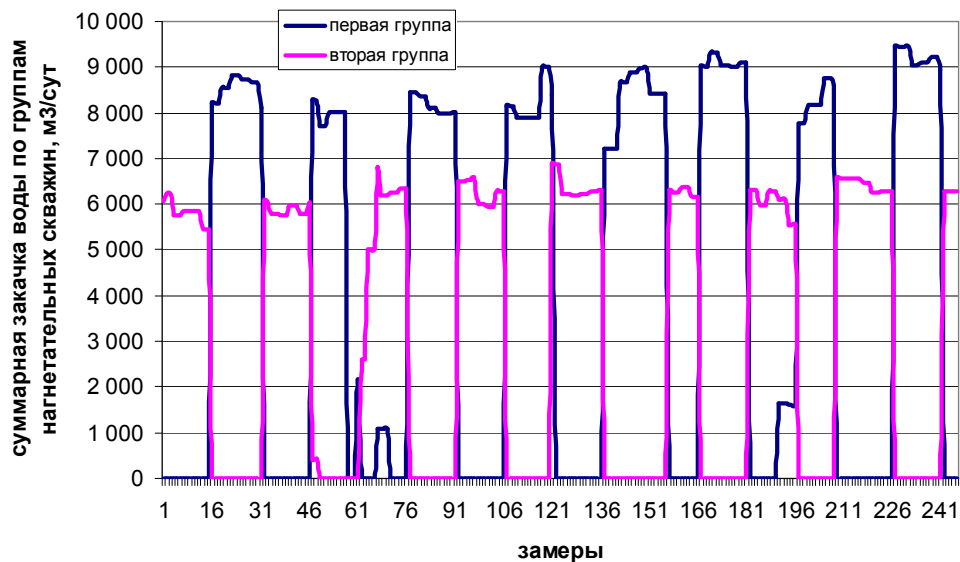


Рисунок 6 – Циклическое включение и отключение групп нагнетательных скважин на втором участке НЗ (динамика суточной закачки групп нагнетательных скважин)

Результаты расчета эффективности НЗ на втором участке НЗ первого эксплуатационного объекта представлены в Таблице 2.

Оценка эффекта по состоянию на 01.11.2014 г. показала, что эффект от применения НЗ составил 4367 т дополнительно добытой нефти.

Как показывает практика, продолжение нестационарного воздействия в зимний период с полной остановкой нагнетательных скважин возможно только в определенных случаях. Переход на стационарную закачку в зимнее время снижает эффективность системы разработки, а непродолжительность периода НЗ уменьшает потенциальный эффект технологии. В связи с этим актуальным является переход на круглогодичную циклическую закачку воды в нагнетательные скважины при применении периодических ограничений на объемы закачки в холодное время.

Таблица 2 – Результаты расчета технологического эффекта от применения технологии НЗ на втором участке первого эксплуатационного объекта в 2014 г.

Характеристика вытеснения	Величина технологического эффекта, т	Продолжительность эффекта, мес.	Коэффициент Тейла, отн.ед.
$Q_{ж}/Q_{н}(Q_{ж})$	3528	5	4.57E-05
$Q_{н}(1/SQR(Q_{ж}))$	2806	5	4.61E-05
$Q_{ж}/Q_{н}(Q_{в})$	4438	5	4.83E-05
$Q_{в}/Q_{н}(Q_{ж})$	3866	5	5.11E-05
$Q_{н}(Q_{в}/Q_{ж})$	4286	5	5.62E-05
$Q_{н}(lgQ_{ж}/Q_{в})$	4797	5	5.87E-05
$Q_{н}(Q_{н}/Q_{в})$	5305	5	6.42E-05
$Q_{н}(1/Q_{ж})$	5907	5	8.14E-05
Средний	4367	5	

Применительно к участку НЗ № 2 первого эксплуатационного объекта месторождения Кумколь организация циклической закачки воды в зимний период требует решения следующих вопросов:

1. Определить минимальные объемы закачиваемой воды, при которых не происходит замерзания водоводов;

2. Определить максимальные приемистости нагнетательных скважин участвующих в НЗ, которые могут быть обеспечены как свойствами коллектора, так и системой водоснабжения.

По первому вопросу специальных исследований на месторождении не проводилось. Однако большинство нагнетательных скважин на участках нестационарного заводнения имеют достаточно продолжительную историю. Поэтому по историческим данным были определены минимальные приемистости (суточные расходы) в холодный период года (декабрь – март), при которых не наступало никаких осложнений. Эти значения принимались за нижнюю границу суточных расходов закачиваемой воды. Максимальные значения выбирались по данным истории разработки и технологическим режимам работы нагнетательных скважин.

Данные, полученные таким образом, были использованы для составления рекомендуемых режимов работы нагнетательных скважин. Дополнительным условием также стало требование, что общий суточный расход закачиваемой воды не превышал возможности системы ППД, а периодические колебания суточных расходов воды в группе нагнетательных скважин, участвующих в НЗ, компенсировались работой других скважин, присоединенных к тем же водораспределительным пунктам.

Разработаны рекомендуемые режимы работы нагнетательных скважин в циклическом режиме в зимний период. Показано, что применение циклического режима закачки воды в зимний период с меньшей амплитудой воздействия позволит улучшить технологические показатели разработки участков. Применение зимнего режима циклики позволит на конец расчетного периода дополнительно добыть (в сравнении с базовым вариантом) на участке НЗ № 2 11.2 тыс. т нефти.

Для снижения обводненности добываемой продукции, повышения пластового давления и повышения эффективности выработки запасов в целом предлагается перевести **добывающие скважины с высокой обводненностью в периодический режим эксплуатации**. При этом необходимо увязать периодическую работу добывающих скважин с циклическим режимом закачки в нагнетательные скважины участка. Для этого рекомендуется ввести такой режим работы выбранных добывающих и нагнетательных скважин, чтобы максимально задействовать принцип их работы в «противофазе». В частности, в районе участка НЗ № 2 рекомендуется в первую очередь перевести в циклический режим скважины 1084, 2179, 2145 (первая группа) и 2184, 1078, 1070 (вторая группа) (рисунок 7).

Для того чтобы увязать периодическую работу добывающих и нагнетательных скважин рекомендуется установить первоначальные периоды остановки добывающих скважин в 5 суток – это максимальное время восстановления давления на данном участке залежи (по данным имеющихся ГДИС). В течение остановки скважин необходимо проводить ГДИС остановленных скважин методом кривой восстановления давления для определения радиуса контура дренирования скважины, коэффициента пьезопроводности и дальнейшего уточнения времени остановки добывающей скважины. Время работы добывающих скважин в цикле больше времени простоя (циклы не симметричные).

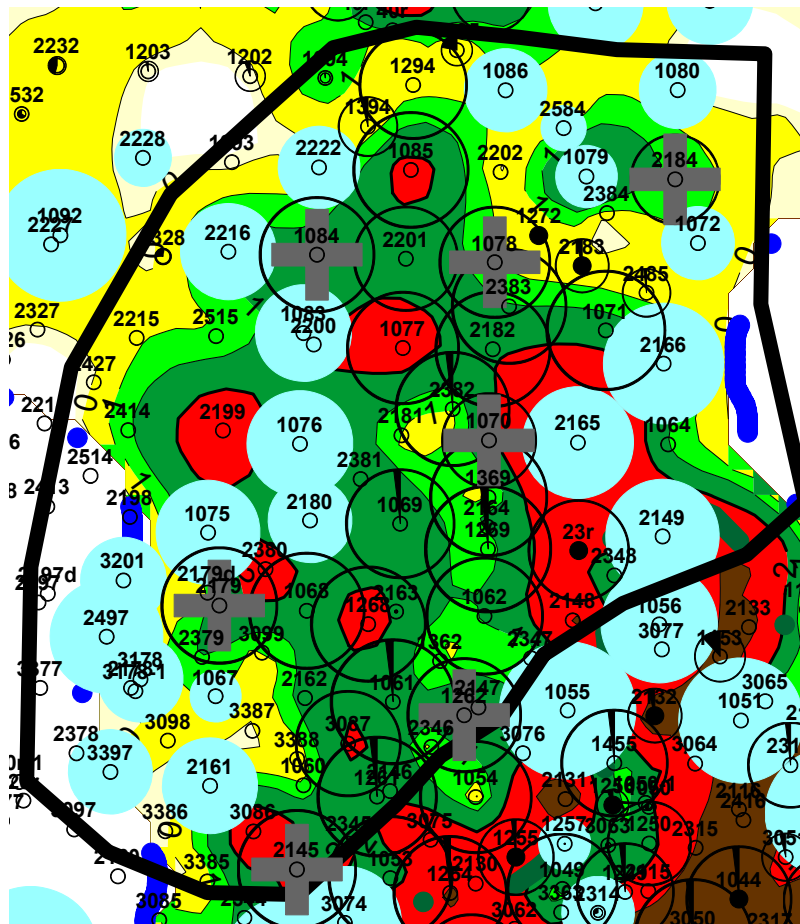


Рисунок 7 – Фрагмент карты плотности подвижных запасов нефти, сосредоточенных в низкопроницаемых слоях коллектора первого эксплуатационного объекта в районе участка НЗ № 2 (серыми крестами показано расположение первоочередных скважин для перевода в периодический режим работы)

Проведен расчет эффективности предлагаемого варианта нестационарного воздействия. За расчетный период прирост в добыче нефти за счет применения нестационарного заводнения по третьему варианту (НЗ + «зимний режим» + ЦЭДС) составит 8,9 тыс. т. При этом добыча жидкости снижается на 659 тыс. т.

Основной задачей недропользователя в области нестационарного заводнения должно быть расширение нестационарного заводнения на другие объекты и участки месторождения. До настоящего времени нестационарное заводнение на третьем эксплуатационном объекте не применялось. В работе предложено применение НЗ на двух участках первого и третьего объектов в сочетании с периодической работой добывающих скважин.

Для этого разработана технология попеременных отборов и закачки, затрагивающая работу двух сопряженных участков первого и третьего эксплуатационных объектов. Технология призвана решать две проблемы – поддержание уровней добычи нефти и снижение объемов добываемой воды, что является крайне актуальным для первого и третьего эксплуатационных объектов. Основная идея технологии заключается в следующем. В процессе осуществления нестационарного заводнения производится попеременная остановка всех нагнетательных скважин и всех добывающих скважин участка. В первом полупериоде цикла часть воды из системы ППД не закачивается в пласты, что

приводит к росту уровня резервуара воды сточной и возможным осложнениям в работе БКНС. Во втором полупериоде цикла часть добываемой воды не отбирается и, в конечном счете, не попадает в систему ППД. Если бы эти два события совпадали по времени, то задача решалась бы просто – сокращение объемов добываемой воды приводит автоматически к снижению мощности системы ППД. Однако эти два события разделены по времени.

Применительно к выбранным участкам, в период остановки добывающих скважин система ППД не получает около 4000 м^3 воды в сутки, или около 32000 м^3 за период простоя добывающих скважин. При этом в этот же период нагнетательные скважины участка нагнетают около 5800 м^3 воды в сутки, или 46400 м^3 за период. В период остановки нагнетательных скважин в пласты не закачивается суточный объем около 5800 м^3 воды и добывается излишек воды объемом 4000 м^3 в сутки.

Основная цель при организации технологии НЗ + ПЭ – это уменьшение отборов жидкости и соответствующее снижение закачки воды. Но у нас есть дисбаланс закачиваемых и отбираемых объемов воды по времени. Поэтому нужно сформировать еще один участок, нагнетательные скважины которого бы работали в противофазе с нагнетательными скважинами нашего участка, а добывающие – также работали бы в противофазе с добывающими скважинами нашего участка. Иными словами, в период работы на нашем участке нагнетательных скважин требуемый объем воды обеспечивается работой добывающих скважин сопряженного участка, и, наоборот, в период простоя нагнетательных скважин нашего участка, работу нагнетательных скважин сопряженного участка обеспечивает добыча воды добывающими скважинами нашего участка. В целом данная схема обеспечивает бесперебойную работу системы сбора и ППД при сниженных суммарных отборах и закачке воды.

Была разработана программа внедрения описанной выше технологии, предложены оптимальные режимы работы скважин. Оценка экономического эффекта от внедрения данной технологии показала увеличение чистой прибыли на 5,4 млн. \$US за расчетный период.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На месторождении Кумколь с 2009 года применяется нестационарное заводнение. Как показал опыт применения технологии, нестационарное заводнение имеет существенные возможности по увеличению эффективности при комплексировании с другими технологиями. Сочетание циклического воздействия с технологией изменения направления фильтрационных потоков (2011 г.) значительно увеличили эффективность применяемого метода ПНП. Дальнейшее развитие технологии нестационарного воздействия предусматривает комплексирование циклической закачки воды с технологиями ИНФП и периодической эксплуатации высокообводненных добывающих скважин.

2. Необходимость расширения применения технологии НЗ на месторождении Кумколь диктуется следующими обстоятельствами. Особенности геологического строения горизонтов месторождения предопределили осложнения в разработке залежей нефти. Текущая обводненность в целом по месторождению составляет 97.0 %, а показатель отбора проектных НИЗ в среднем не выше 78.6 %. Темпы роста обводненности не соответствуют уровню отбора начальных

извлекаемых запасов нефти. При существующей системе разработки проектный КИН при предельной обводненности 98 % достигнут не будет. Большая часть текущих запасов нефти расположена в низкопроницаемых прослоях коллектора, выработка которых будет происходить при обводненности выше предельной. Поэтому достижение проектных значений КИН возможно только с применением технологий увеличения нефтеотдачи. При наличии гидродинамической связи между высоко- и низкопроницаемыми прослоями необходимо применять нестационарное воздействие.

3. Универсальность технологии НЗ обусловлена возможностью ее применения на участках с высокой обводненностью добываемой продукции. Показано, что нестационарное заводнение является эффективным при любой «стартовой» обводненности (т.е. обводненности, при которой начинается циклическая закачка воды). При этом проявляется следующая особенность – эффект от НЗ тем меньше, чем выше «стартовая» обводненность.

4. Изменение длительности полуцикла работы/остановки нагнетательных скважин показало, что приращение КИН за счет НЗ всегда положительно для любой длительности полуцикла. При этом в зависимости КИН от длительности полуцикла имеется максимум эффективности НЗ. Но данный максимум «размыт». Поэтому продолжительность полупериода простоя/работы может задаваться в достаточно широких пределах. В зависимости от соотношения проницаемостей высоко- и низкопроницаемых слоев (k) имеются следующие тенденции расположения максимума КИН: при невысоких значениях отношения k максимум КИН смещается в сторону более коротких полупериодов, при высоких значениях k – в сторону более длинных полупериодов.

5. Выявлено, что на скважинах, совместно эксплуатирующих два объекта (единым фильтром), нестационарное заводнение с большей вероятностью будет иметь отрицательный эффект. Разнородность ФЕС и неоднородность поля пластового давления по разрезу таких скважин приводят к возникновению межпластовых внутрискважинных перетоков, что снижает эффективность циклического воздействия.

6. Применение циклической закачки воды с периодической эксплуатацией добывающих скважин в противофазе позволяет не только дополнительно добыть нефть, но и сократить добычу попутной воды, что является немаловажным для условий современной разработки месторождения Кумколь.

7. В 2014 году нестационарное заводнение применялось только на дополнительном участке (участок № 2 НЗ) первого эксплуатационного объекта. Циклическую закачку на участке применяют впервые, однако стартовая обводненность участка уже была выше 98%. В таких условиях на значительный эффект от применения НЗ вряд ли можно надеяться. Основная цель НЗ на данном участке – снижение темпа обводнения. В целом эффективность применяемой на втором участке первого эксплуатационного объекта технологии нестационарного заводнения является положительной и составляет согласно расчетам в целом по участку и отдельно по скважинам от 4,4 тыс. т до 6,9 тыс. т дополнительной добычи нефти. Это значение равно 12,4 % от суммарной добычи нефти участка за анализируемый период, что совпадает с данными о технологической эффективности нестационарного заводнения других месторождений нефти. Средняя удельная величина эффекта от применения НЗ составляет 46 т/(скв.·мес.).

8. Применяемую на месторождении Кумколь технологию необходимо модифицировать. Снижение пластового давления в ряде областей участка и рост обводненности части скважин определяют переход к третьему этапу применения НЗ с периодической работой добывающих скважин. В качестве первоочередных рекомендаций по переводу части высокообводненных добывающих скважин в периодический режим работы предложено 6 скважин. При этом периоды работы/остановки добывающих скважин были увязаны с циклическим режимом закачки в нагнетательные скважины участка. За расчетный период прирост в добыче нефти за счет применения нестационарного заводнения (первый вариант с прекращением циклики в зимнее время) составит 9,5 тыс. т. По второму варианту применения НЗ (продолжение циклики в зимнее время с меньшей амплитудой) прирост составит 11,2 тыс. т дополнительно добытой нефти. По третьему варианту (второй вариант + ЦЭДС) прирост составит 8,9 тыс. т дополнительно добытой нефти. При этом добыча жидкости снижается на 659 тыс. т.

9. Разработана технология попеременных отборов и закачки, затрагивающая работу двух сопряженных участков первого и третьего эксплуатационных объектов. Показано, что внедрение данной технологии на первом участке НЗ третьего эксплуатационного объекта позволит за расчетный период получить прирост в добыче нефти 15,4 тыс. т. При этом будет сокращена добыча жидкости на 1213 тыс. т. Средняя обводненность добываемой продукции снизится за весь расчетный период применения технологии на 1,3 %. Внедрение технологии на сопряженном участке позволит за расчетный период получить прирост в добыче нефти 7,6 тыс. т. При этом будет сокращена добыча жидкости на 832 тыс. т. Средняя обводненность добываемой продукции снизится за весь расчетный период применения технологии на 1,2 %.

Основные работы, опубликованные по материалам диссертации:

- в вудещих рецензируемых журналах и изданиях, утвержденных ВАК РФ:

1. Велиев, Э. М. Исследование зависимости эффективности технологии нестационарного заводнения от продолжительности полупериода работы/простоя нагнетательных скважин в цикле при разработке высокопродуктивных неоднородных коллекторов маловязкой нефти [Текст] / Э. М. Велиев // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов / ИПТЭР. – Уфа, 2015. – Вып. 2 (100). – С. 46-56.

2. Владимиров, И. В. Исследование зависимости эффективности технологии нестационарного заводнения от «стартовой» обводненности и продолжительности полупериода работы/простоя нагнетательных скважин в цикле при разработке высокопродуктивных неоднородных коллекторов маловязкой нефти [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев // Нефтепромысловое дело. – М.: ВНИИОЭНГ, 2015. – № 11. – 2015. – С. 47-55.

3. Владимиров, И. В. Технология нестационарного воздействия, предусматривающая периодическую работу добывающих и нагнетательных скважин в противофазе [Текст] / И. В. Владимиров, О. Н. Пичугин, Э. М. Велиев // Нефтепромысловое дело. – М.: ВНИИОЭНГ, 2015. – № 11. – С. 56-58.

4. Владимиров, И. В. Этапы развития технологии нестационарного заводнения [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев // Проблемы сбора,

подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов / УГНТУ. – Уфа, 2018. – Вып. 2 (112). – С. 28-36.

5. Владимиров, И.В. История развития технологии нестационарного заводнения на месторождении Кумколь. [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев// Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 1. С. 38-44.

в прочих печатных изданиях:

6. Владимиров, И. В. Выбор оптимальной технологии повышения нефтеотдачи при разработке залежей высоковязкой нефти на основе экономического анализа [Текст] / И. В. Владимиров, А. И. Хисаева, Э. М. Велиев // Энергоэффективность. Проблемы и решения: Матер. XIV Междунар. научн.-практ. конф. 23 октября 2014 г. – Уфа, 2014. – С. 62-63.

7. Владимиров, И. В. Зависимость эффективности нестационарного заводнения от «стартовой» обводненности добываемой продукции реагирующих скважин [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев, Э. М. Альмухаметова, Д. Т. Абилхаиров // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Матер. Междунар. научн.-практ. конф. 21 мая 2015 г. в рамках Нефтегазового форума и XXIII Междунар. специализир. выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2015». – Уфа, 2015. – С. 47-48.

8. Велиев, Э. М. К вопросу о корректности определения технологического эффекта от геолого-технических мероприятий при изменении системы разработки [Текст] / Э. М. Велиев // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Матер. Междунар. научн.-практ. конф. 21 мая 2015 г. в рамках Нефтегазового форума и XXIII Междунар. специализир. выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2015». – Уфа, 2015. – С. 49-50.

9. Велиев, Э. М. Зависимость эффективности технологии нестационарного заводнения от продолжительности полупериода работы/простоя нагнетательных скважин в цикле [Текст] / Э. М. Велиев // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Матер. Междунар. научн.-практ. конф. 21 мая 2015 г. в рамках Нефтегазового форума и XXIII Междунар. специализир. выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2015». – Уфа, 2015. – С. 72-73.

10. Владимиров, И. В. Итоги применения технологии нестационарного воздействия на месторождении Кумколь [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев// Энергоэффективность. Проблемы и решения: матер. XV Междунар. научн.-практ. конф. 27 октября 2015 г. – Уфа, 2015. – С. 57-58.

11. Владимиров, И. В. Технология периодической работы добывающих и нагнетательных скважин в противофазе. [Текст] / И. В. Владимиров, Э. М. Велиев// Neftegaz.RU [3], 2018, С. 54-61.