

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА ЛЯНТОРСКОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Петрушин Е. О.¹, Арутюнян А. С.²

¹ЦДНГ1 ОАО «Печоранефть», eopetrushin@yahoo.com

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,
mereniya@mail.ru

В статье проведён анализ применения нестационарного заводнения на Лянторском нефтегазоконденсатном месторождении. Этот метод основан на периодическом изменении условий воздействия на неоднородные пласты, при котором в продуктивных пластах создаётся нестационарное распределение пластового давления и возникает неустановившееся движение жидкостей и газа. Показано, что технологии нестационарного заводнения имеют большую перспективу на Лянторском месторождении. Методические приёмы определения эффективности применения технологий нестационарного заводнения, задачи дальнейшего совершенствования существующих технологий нестационарного заводнения и создание новых технологий нестационарного нефтеизвлечения являются актуальными проблемами современной нефтедобычи, так как эти технологии сегодня обладают более высокой эффективностью.

Ключевые слова: упруго-капиллярный циклический метод разработки; нестационарное заводнение; периодическая работа скважин; воздействие упругими колебаниями; эффекты капиллярной пропитки; изменение направления фильтрационных потоков; эффективность нестационарного заводнения.

1. Введение

В период истощения основных запасов нефти на «старых» месторождениях России за счёт первоочередной выработки высокопродуктивных высокопроницаемых коллекторов всё большее количество остаточных запасов переходят в категорию трудноизвлекаемых. В таких условиях сложившиеся стационарные системы разработки месторождений становятся малоэффективными. В связи с этим интерес специалистов и производителей к этой проблеме, вызванный необходимостью разработки кардинально новых направлений увеличения эффективности выработки остаточных запасов, чрезвычайно высок.

В настоящее время основным способом разработки Лянторского месторождения является заводнение нефтяных пластов. Эффективность такого способа разработки во многом зависит от геологического строения коллектора. При благоприятных геолого-физических условиях при заводнении конечная нефтеотдача не превышает 50-60 % от начальных запасов нефти, а при неблагоприятных условиях – 30-40 %. Низкий процент извлечения нефти объясняется, прежде всего, малым охватом пласта заводнением из-за неоднородности коллектора. Для повышения эффективности процесса заводнения неоднородных коллекторов возможно увеличение текущего коэффициента охвата пласта заводнением за счёт внедрения вытесняющего агента в малопроницаемые нефтенасыщенные участки. Такими возможностями обладает упруго-капиллярный циклический метод разработки (нестационарное заводнение).

Упруго-капиллярный циклический метод заводнения основан на периодическом изменении условий воздействия на неоднородные пласты, при котором в продуктивных пластах создаётся нестационарное распределение пластового давления и возникает неустановившееся движение жидкостей и газа. При этом в нефтяных пластах возникают условия для непрерывного проявления упругих сил пластовой системы. В неоднородных пластах между участками с неодинаковыми свойствами возникают градиенты гидродинамических давлений, за счёт которых могут происходить перетоки жидкостей из одних зон в другие.

Не все специалисты по заводнению правильно понимают, какую огромную энергию таит метод инициирования и изменения упругих свойств пласта и флюидов за счёт переменных полей давлений. Но методы создания изменяющихся энергетических уровней пласта различны.

Использование технологий нестационарного заводнения (НЗ) на ряде месторождений России дало значительный эффект. Однако, как показывает практика, длительное применение одной и той же технологии НЗ на Лянторском месторождении приводит к снижению её эффективности. Поэтому применяемые технологии нефтеизвлечения претерпевают постоянные изменения в плане их совершенствования. Вместе с тем следует отметить, что достаточно эффективной технологии выработки трудноизвлекаемых запасов нефти нефтяная промышленность России пока не имеет. В связи с этим многие производственные предприятия по добыче нефти в рамках своей научно-производственной деятельности углубляют объёмы исследований по совершенствованию нестационарных систем заводнения водой и другими нефтewытесняющими агентами для вовлечения и интенсификации отбора трудноизвлекаемых запасов, например, сочетанием физико-химических и газовых методов. Но идут разными путями, в большинстве случаев не обеспечивая высокую эффективность от базы по ранее известным технологиям нестационарного заводнения.

Поэтому накопленный на сегодня опыт теоретических, экспериментальных и внедренческих работ нуждается в обобщении и дальнейшем развитии. Новые технологии с использованием НЗ на Лянторском месторождении должны быть направлены на его совершенствование и повышение эффективности нефтewытеснения, что связано, прежде всего, с тем, что по мере вступления месторождений в позднюю стадию разработки относительная роль нестационарных методов нефтеизвлечения в добыче нефти будет расти. Попытки отдельных нефтяных компаний увеличить интенсификацию отбора нефти совместным использованием и расширением области применения физико-химических методов не дали желаемого результата ввиду постоянного роста цен на химреагенты. А газовые методы, имеющие наибольшую ожидаемую эффективность и перспек-

тиву, сдерживаются от массового внедрения из-за отсутствия надёжного оборудования. Таким образом, технологии нестационарного заводнения имеют большую перспективу на Лянторе, и методические приёмы определения эффективности применения технологий НЗ, задачи дальнейшего совершенствования существующих технологий НЗ и создание новых технологий нестационарного нефтеизвлечения являются актуальными проблемами современной нефтедобычи, так как эти технологии сегодня обладают более высокой эффективностью. В настоящее время разработаны и запрограммированы различные разновидности расчёта технологических показателей нестационарного заводнения, в том числе: 1 – площадного; 2 – рядного; 3 – углового; 4 – кругового; 5 – шахматного; 6 – синусоидального. Попытки самостоятельного формирования технологиями нестационарного заводнения специалистами нефтедобывающих предприятий не всегда давали желаемые результаты ввиду того, что программы расчёта достаточно трудоёмки и требуют повышенной квалификации разработчиков.

2. История вопроса

Современное состояние сырьевой базы нефтяной отрасли России характеризуется ухудшением структуры и качества запасов. Это обусловлено, во-первых, увеличением доли трудноизвлекаемых запасов, а во-вторых, ростом числа небольших месторождений, доля которых за последние годы в структуре текущих запасов нефти значительно возросла. Разработка таких объектов по обычным технологиям малоэффективна. Закачка различных химических реагентов и их композиций для повышения нефтеотдачи пластов связана с большими затратами. Кроме того, их применение имеет свои ограничения, а результаты не всегда убедительны.

Данные теоретических исследований, экспериментальных и промысловых испытаний свидетельствуют об эффективности физического воздействия на пласт с применением вибросейсмического и виброволнового методов. Нестационарное заводнение включает периодические изменения режимов работы нагнетательных, а в общем случае – части добывающих скважин. В комплексе с

упругими колебаниями оно способствует снижению необходимых для достижения порогового уровня мощностей забойных волновых генераторов, так как создаёт фоновое знакопеременное поле давления, в котором породы пласта в межскважинном пространстве испытывают чередующиеся сжатие – растяжение. Воздействие упругими колебаниями с относительно малой интенсивностью в поле нестационарного заводнения может служить своеобразным «спусковым крючком», влияющим на изменение фильтрационных процессов в пористых средах, структурно-механического состояния породы пласта и насыщающих его компонентов. В результате присущие циклическому заводнению эффекты капиллярной пропитки и изменения направления фильтрационных потоков интенсифицируются и дополняются включением через активизированные зоны деструкции и трещины в процесс фильтрации слабодренлируемых и застойных, а также гидродинамически изолированных ранее полей, что обеспечивает синергетический эффект. Хорошо известно, что при периодической работе скважины в неоднородных по проницаемости и послойно заводнённых пластах создаётся упругий режим фильтрации жидкости, при котором на поверхности контакта незаводнённых низкопроницаемых и заводнённых высокопроницаемых пластов возникает гидродинамический градиент давления, направленный по нормали к поверхности контакта, а также возникают капиллярные силы, направленные на выравнивание насыщенности нефтью и водой в смежных слоях. При остановке добывающей скважины в высокопроницаемых заводнённых пластах процесс восстановления пластового давления протекает быстрее, чем в незаводнённых низкопроницаемых пластах.

Переток воды в низкопроницаемый пласт из высокопроницаемого пласта существует до тех пор, пока пластовое давление в них не уравнивается. Пластовое давление во всех пластах становится одинаковым и равным давлению на контуре питания тогда, когда завершится процесс восстановления давления в низкопроницаемом пласте. Этот период времени от момента остановки скважины до восстановления давления в низкопроницаемом пласте и является временем простоя скважины при работе её в периодическом режиме эксплуатации.

При пуске скважины в эксплуатацию процесс снижения пластового давления протекает быстрее в высокопроницаемых пластах, чем в низкопроницаемых, в связи с чем возникает переток жидкости (нефти) из низкопроницаемых пластов в смежные высокопроницаемые. Этот переток продолжается до перехода работы пластов с упругого на установившийся стационарный режим фильтрации жидкости, при котором давления в пластах одинаковы. Установившийся стационарный режим фильтрации жидкости в неоднородных по проницаемости пластах достигается тогда, когда расширяющаяся депрессионная воронка по низкопроницаемому пласту достигает контура питания. Таким образом, в сложившихся условиях невозможно достичь равномерной выработки запасов. Для более полного охвата заводнением запасов нефти, сосредоточенных в малопроницаемых и недренируемых областях на площади, применяются нестационарные технологии нефтеизвлечения.

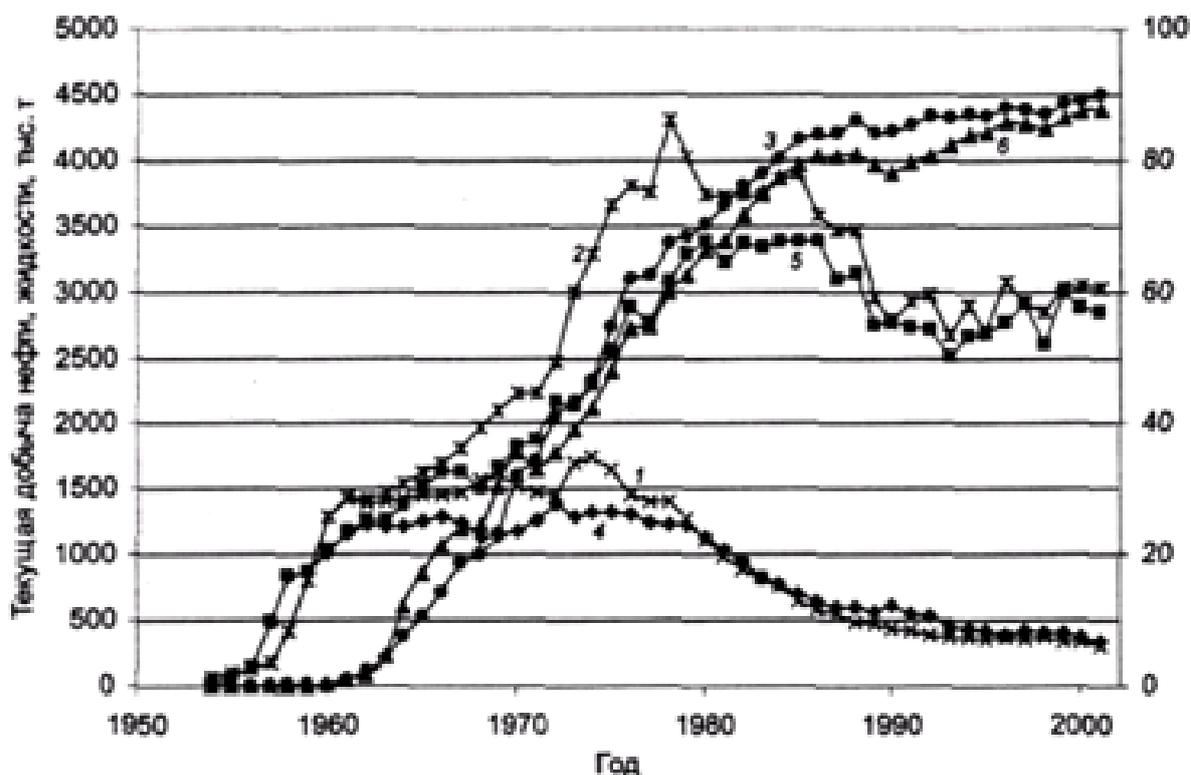
Опытно-промышленные работы по применению циклического заводнения на Лянторском месторождении были начаты в 1972 году в центральном разрезающем ряду. В последующем под циклический режим закачки были подключены линии дополнительного разрезания меридионального направления и отдельные очаги заводнения. Осуществление закачки в циклическом режиме противоположными рядами позволило дополнить нестационарное заводнение эффектом смены направления фильтрационных потоков. С 1989 года началось внедрение системы чередующего режима работы нагнетательных и добывающих скважин.

В настоящее время весь нагнетательный фонд площади эксплуатируется в режиме нестационарного заводнения. Влиянием нестационарного заводнения охвачено большинство добывающих скважин.

К 1988 году, т.е. к моменту перевода на циклический режим работы как нагнетательных, так и добывающих скважин, отбор НИЗ составил по первому блоку 78,8 % при обводнённости продукции 84,03 %, по второму блоку 73,8 % при обводнённости 80,49 %. Период разработки блоков в нестационарном режиме характеризуется стабильными отборами жидкости и пониженными тем-

пами роста обводнённости продукции. Улучшилась динамика темпов отбора НИЗ от накопленной добычи нефти, а прирост активных извлекаемых запасов за период 1988-2002 гг. составил 3811,53 тыс. тонн по первому и 5044,11 тыс. тонн по второму блоку. За 15 лет разработки в нестационарном режиме дополнительно добыто 3622,21 тыс. тонн, в том числе 1784,581 тыс. тонн по блоку 1, 1837,63 тыс. тонн по блоку 2. За счёт циклического заводнения текущая нефтеотдача повысилась на 1,6 %.

Из 346 скважин добывающего фонда первого блока к концу 1999 года из эксплуатации была выведена 41. Из оставшихся 305 двадцать были остановлены в период 2000-2002 гг. Это преимущественно высокообводнённые скважины, по которым в 2000-2001 гг. положительного эффекта от нестационарного заводнения получить не удалось. Всего по рассматриваемому фонду добывающих скважин первого блока за период 2000-2002 гг. дополнительно добыто 160,93 тыс. тонн нефти, в среднем 527 тонн на одну скважину. Из 305 скважин в 191 (62,6 %) в течение 2000-2002 гг. был получен положительный эффект от технологии нестационарного заводнения. В их числе 110 скважин из 139, работающих в режиме увеличения отборов жидкости. По этой группе получен основной прирост добычи нефти – 120,85 тыс. тонн, или три четверти всего прироста по блоку 1. По группе скважин, работающих в режиме ограничения отборов жидкости, положительный эффект за 3 года получен в 77 скважинах из 146, или 52,7 %. В течение 2001-2002 гг. в большинстве скважин этой группы происходило снижение эффекта. Как показал выборочный анализ по 115 добывающим скважинам (33 % от всего фонда), аналогичная тенденция имеет место и по блоку 2. Период разработки блоков в нестационарном режиме характеризуется стабильными отборами жидкости и пониженными темпами роста обводнённости продукции (рисунок 1).



блок 1: 1 – нефть, 2 – жидкость, 3 – обводнённость;

блок 2: 4 – нефть, 5 – жидкость, 6 – обводнённость

Рисунок 1 – Динамика текущих показателей разработки
блоков 1 и 2 Лянторского месторождения

Динамика дополнительной добычи нефти на блоке 1 и 2 различна. Если исключить сезонные колебания прироста нефти и перейти к годовым показателям, то прослеживаются следующие тенденции. Применение технологий НЗ на блоке 2 в первые 3 года привело к значительному приросту добычи нефти с максимальным значением в 1990 году. Затем наблюдается снижение эффекта вплоть до 1996 года, когда эффективность применяемых на блоке технологий НЗ снизилась более чем в 2 раза. На блоке 1 в этот период технологии НЗ менее эффективны по сравнению с блоком 2. Однако сам эффект на этом блоке более стабилен, более того, наблюдается слабый рост эффекта, так что, начиная с 1994 года, эффективность НЗ на блоке 1 выше, чем на блоке 2. Начиная с 1996 года, наблюдается рост эффективности нестационарного заводнения на обоих блоках, который продолжается до 1998 года. Этот рост связан с перестройкой

системы ППД, переводом ряда добывающих скважин под закачку, что привело к подключению к дренированию дополнительных нефтенасыщенных областей площади. После 1998 года наблюдается спад эффективности технологий НЗ. В период 2000-2002 гг. в 37,4 % добывающих скважин в зоне воздействия НЗ имели место снижение эффективности технологии и уменьшение прироста добычи нефти.

3. Уровень разработанности и проблемы в теории

Оценка эффективности разработки эксплуатационного объекта или отдельных проводимых на нём крупномасштабных и массовых мероприятий связана с решением обратной задачи разработки нефтяных залежей. В настоящее время для этого широко используют характеристики вытеснения. Однако имеются известные ограничения в их применении, связанные с возможностями статических методов в целом.

Характеристики вытеснения не отражают реально изменяющихся условий разработки залежи и более или менее удовлетворительно описывают только позднюю стадию эксплуатации. Основой практически всех известных методов, особенно нестационарного заводнения, является постоянство годовых отборов жидкости. Если задаваться другим законом, описывающим динамику отбора жидкости, то получаются более сложные эмпирические зависимости между добычей нефти, воды и жидкости.

В реальных условиях разработки объектов, когда высокодебитные скважины отключаются, годовой отбор жидкости не может сохраняться на постоянном уровне без проведения дополнительных мероприятий по интенсификации разработки. Такими мероприятиями могут быть увеличение депрессии на пласт, интенсификация системы заводнения, повышение предельной обводнённости скважин, бурение дополнительных скважин. Следовательно, вариант доработки длительно эксплуатируемого объекта, рассчитанный по одному из методов характеристик вытеснения, не может служить базовым вариантом разработки, поскольку требует сохранения на будущий прогнозируемый период уже

сложившейся системы разработки и применяемой технологии эксплуатации скважин без проведения дополнительных мероприятий. Таким образом, извлекаемые запасы нефти, которые оцениваются традиционным способом по характеристикам вытеснения при постоянном отборе жидкости, не являются прямым следствием реализуемой системы разработки. Существующие многочисленные эмпирические методы характеристик вытеснения практически не применимы для решения обратной задачи разработки нефтяных залежей и оценки эффективности технологий нестационарного заводнения. Предложен новый способ восстановления основных параметров эксплуатационных объектов по истории разработки и оценки эффективности мероприятий на основе аналитической методики расчётов показателей разработки залежей Лянторского месторождения. Суть его состоит в построении графической зависимости $q_n = f(Q_n)$. Показатели q_n и Q_n рассчитываются по следующим формулам:

$$q_n = \frac{q_n \cdot q_0}{K_{\text{э}} \cdot n_{\text{д}} \cdot n_n \cdot \Delta p}; \quad Q_n = \frac{Q_n}{Q_0},$$

где q_n – годовая добыча нефти;

q_0 – начальная добыча нефти;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатации скважин;

$n_{\text{д}}$ и n_n – число соответственно добывающих и нагнетательных скважин;

Δp – перепад давления между забоями нагнетательных и добывающих скважин;

Q_n – накопленная добыча нефти;

Q_0 – начальные извлекаемые запасы нефти.

Если по фактическим данным разработки конкретного эксплуатационного объекта построить зависимость $q_n = f(Q_n)$, то при прямолинейном её характере можно определить потенциальные извлекаемые запасы нефти, а, следовательно, коэффициент извлечения нефти (КИН). Это достигается экстраполяцией прямолинейных участков рассматриваемых зависимостей до пересечения с осью абсцисс Q_n . Таким образом, определяются потенциальные извлекаемые

запасы нефти на различные периоды разработки: к моменту начала внедрения нестационарного заводнения, моменту перехода к методу ИНФП и импульсному воздействию. Степень увеличения КИН в результате внедрения различных модификаций нестационарного заводнения определяется по формуле:

$$\Delta K_{но} = K_{но2} - K_{г} \cdot \exp\left(-\frac{S_2}{S_1} \cdot \ln \frac{K_{г}}{K_{но1}}\right),$$

где $K_{но1}$, $K_{но2}$ – КИН соответственно к моментам начала внедрения и перехода к различным технологиям нестационарного заводнения;

$K_{г}$ – коэффициент вытеснения;

S_1 , S_2 – плотность сетки скважин соответственно к моменту внедрения и после перехода к различным технологиям нестационарного заводнения.

На зависимости $q_n = f(Q_n)$ довольно чётко прослеживаются прямолинейные участки, начиная с раннего периода разработки. Это позволяет определить введённые и потенциальные извлекаемые запасы нефти до начала нестационарного заводнения. Из представленных зависимостей видна общая тенденция роста вовлечённых в разработку запасов нефти, характерная для всех рассмотренных объектов. Это, прежде всего, связано с масштабными мероприятиями, проводимыми непрерывно в процессе разработки залежей: бурение скважин, нестационарное заводнение и др. Однако в определённые периоды, ограниченные прямолинейными участками рассматриваемых зависимостей, прироста извлекаемых запасов нефти практически не наблюдается, несмотря на бурение новых скважин. Следовательно, дополнительные скважины способствовали преимущественно интенсификации или поддержанию текущей добычи нефти. По предложенной методике рассчитаны приросты КИН в результате внедрения нестационарного заводнения. Видно, что прирост КИН составляет 1,8-10 %. Наибольший эффект получен в высоконеоднородных карбонатных коллекторах, насыщенных нефтью средней вязкости (44 мПа · с).

4. Уровень разработанности и проблемы в практике

Метод нестационарного заводнения с переменной направлением фильтрационных потоков в пласте является одним из эффективных гидродинамических способов увеличения нефтеотдачи и сокращения удельных расходов воды на добычу нефти. Нестационарное заводнение осуществляется за счёт попеременной работы нагнетательных и добывающих скважин по определённым программам, разработанным применительно к конкретным геолого-физическим условиям с учётом технических возможностей системы поддержания пластового давления (ППД). Для повышения эффективности нестационарное заводнение можно сочетать с обработками скважин, направленными на выравнивание профилей приёмистости, изоляцию водопритоков и интенсификацию добычи.

В качестве объекта нестационарного воздействия рассматривались нефтяные залежи Лянторского месторождения, представленные песчаными слоисто-неоднородными пластами с хорошей гидродинамической связью между прослоями и выдержанные по простиранию. В результате выполненного критериального анализа имеющейся геолого-промысловой, геофизической информации и проектной документации были сделаны выводы о предпочтительности применения технологии нестационарного заводнения с точки зрения эффективности для различных геолого-промысловых условий и выделен следующий объект – пласт АС₉. Участки для реализации нестационарного заводнения были выбраны на основе результатов анализа сложившейся системы разработки, карт текущего состояния разработки, а также распределения остаточных нефтенасыщенных толщин. Коллекторы представлены песчаниками серыми, буровато-серыми за счёт нефтенасыщения, крупно-, средне-, мелкозернистыми и алевролитами крупнозернистыми, цементированными глинистым цементом, участками с прослоями и линзами различной формы карбонатного песчаника, однородными или слоистыми.

Эффективность нестационарного заводнения зависит от правильного определения длительности циклов воздействия. На основе средней проницаемо-

сти опытного участка, найденной в соответствии с имеющейся геолого-промысловой информацией, включая данные ГДИС и исследования кернов, были рассчитаны средневзвешенные значения гидропроводности и пьезопроводности пласта в пределах опытного участка.

На основании информации о реакции добывающих скважин на изменение объёмов закачки воды, результатах исследований по закачке индикаторов и технических возможностях системы ППД был определён полуцикл нестационарного воздействия с учётом вязкости пластовой нефти, пористости и проницаемости пласта, характерных для данного объекта. В результате расчётов было получено, что длительность полуцикла по опытному участку пласта АС₉ составляет 3,5 месяца (или 107 сут.).

Рассмотрим технологические показатели закачки до начала применения технологии. Анализ показал, что суммарная закачка по всем скважинам КНС при проведении циклического заводнения (в период как первого, так и второго полуциклов) не будет превышать среднемесячную закачку при стационарном заводнении и проектную мощность КНС.

На основе анализа состояния разработки пласта АС₉ Лянторского месторождения и полученных результатов расчёта параметров реализации нестационарного заводнения был составлен график работы (пусков-остановок) нагнетательных скважин в соответствии с рассчитанной длительностью циклов. Для увеличения эффективности процесса нестационарного заводнения в скважинах системы ППД было запланировано проведение работ по перераспределению фильтрационных потоков (ПФП) и интенсификации приёмистости с учётом имеющейся геолого-промысловой информации, включая данные ГИС-контроля. Дополнительную добычу нефти, полученную в результате применения нестационарного заводнения в сочетании с обработкой призабойной зоны, оценивали методом характеристик вытеснения, на основе анализа динамики текущей добычи нефти всех скважин участка и динамики добычи нефти отдельных скважин участка.

Для изменения параметров работы всех добывающих скважин опытного участка в результате применения нестационарного заводнения для каждой скважины была построена динамика добычи нефти и обводнённости. Применение нестационарного заводнения благоприятно повлияло на 29 скважин, стабилизировалась обводнённость и снизился темп падения дебита.

В результате применения нестационарного заводнения 8 скважин, находившихся в простое в течение 2005 года, были введены в эксплуатацию с начала 2006 года. На 01.01.2006 г. в результате применения нестационарного заводнения было дополнительно добыто 18,54 тыс. тонн нефти. Также следует отметить, что после проведения ОПЗ нагнетательных скважин обратными эмульсиями обводнённость продукции окружающих добывающих скважин снизилась с 95,3 до 94,1 %, а суммарная добыча нефти по окружающим добывающим скважинам возросла от 8617 до 10263 тонн/мес. Таким образом, анализ результатов реализации первого полуцикла нестационарного заводнения на опытном участке Лянторского месторождения показал целесообразность применения этой технологии в сочетании с обработками скважин, направленными на перераспределение фильтрационных потоков.

Анализ применения нестационарного заводнения в сочетании с ОПЗ на Лянторском месторождении показал эффективность выполненных мероприятий. Обводнённость продукции стабилизировалась, добыча нефти увеличилась как по отдельным скважинам, так и по участку воздействия в целом, что подтверждает правильность выбора параметров реализации технологии на каждом опытном участке. Ранее для Лянторского месторождения была определена продолжительность полуциклов нестационарного заводнения около 15 сут. Однако этот срок требует существенных корректировок, и расчёт параметров реализации технологии необходимо выполнять для каждого конкретно выбранного опытного участка. Отмеченное особенно важно на современном этапе развития нефтяной промышленности, когда в разработку вводится всё больше месторождений с ухудшенными коллекторскими свойствами продуктивных пластов (разукрупняются сетки скважин вследствие вывода скважин из добывающего фонда

по причине обводнённости или малой продуктивности; запроектированные системы сбора нефти и воды не соответствуют существующим в настоящее время форсированным темпам отбора жидкости; отсутствует возможность изменения режимов работы ЭЦН без привлечения бригад по ремонту скважин). Все эти вопросы, очевидно, должны учитываться уже на стадии проектирования системы разработки месторождений, чтобы в процессе их эксплуатации можно было оперативно устранять встречающиеся технические затруднения и повышать технико-экономические показатели и коэффициент извлечения нефти.

При реализации нестационарного заводнения на выбранных участках также отмечались затруднения технического характера, связанные с особенностями системы разработки месторождений и ППД: невозможность переброса закачиваемой воды с одних скважин на другие, остановка достаточно большого числа нагнетательных скважин, оперативное изменение режимов работы добывающих скважин и др. Это, несомненно, негативно повлияло на эффективность проведённых мероприятий.

Анализ результатов применения нестационарного заводнения на опытных участках показал, что эта технология может быть реализована на 36 % разрабатываемых объектов Лянторского месторождения. Возможная дополнительная добыча нефти от мероприятий в сочетании с обработками скважин составит около 300-500 тыс. тонн в год.

5. Заключение

Анализ результатов применения технологий нестационарного заводнения показывает, что данные технологии широко использовались и используются поныне на месторождениях Западной Сибири, на Лянторском месторождении, в том числе и на залежах с повышенной вязкостью нефти. Отмечено, что эффект технологий выше на объектах, где система заводнения позволяет изменять направления фильтрационных потоков. Вместе с тем, отмечается, что на месторождениях, объекты которых находятся на поздней стадии и где технологии циклического заводнения длительное время находятся без изменения, нестацио-

нарный процесс постепенно приближается к стационарному, эффективность технологии падает. Поэтому необходимо дальнейшее развитие традиционных технологий НЗ, а также создание принципиально новых технологий нестационарного нефтеизвлечения.

Создание новых технологий должно основываться на солидной базе теоретических исследований и промысловых работ. Продолжение исследовательских работ в области нестационарных процессов фильтрации позволило сформулировать основные принципы развития технологий НЗ. Согласно полученным результатам, в первой и второй стадиях разработки месторождений лучше всего применять циклическое воздействие со стороны нагнетательных скважин, способствующее более активному заводнению низкопроницаемых коллекторов и застойных зон в областях пласта, близких к зоне нагнетания воды. В третьей стадии разработки с приближением фронта заводнения к добывающим скважинам необходимо переходить на чередование отборов жидкости по добывающим скважинам и закачки воды по нагнетательным скважинам в противоположных фазах. В четвёртой заключительной стадии разработки возможен переход на технологию постоянной закачки воды в нагнетательные скважины и чередующиеся отборы нефти по добывающим скважинам с оптимизацией забойных давлений и регулированием направления фильтрационного потока по площади.

Применительно к залежам нефти, находящимся на четвёртой стадии разработки, разработаны и промышленно испытаны новые технологии нестационарного нефтеизвлечения, которые дали положительные технологические и экономические эффекты. Таким образом, развитие технологий нестационарного заводнения на Лянторском месторождении продолжается, и их роль среди традиционных технологий нефтедобычи возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров И.В. Нестационарные технологии нефтедобычи (этапы развития, современное состояние и перспективы). – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. – 216 с.
2. Исаченко В.М., Мишарин В.А, Сонич В.П., Самсоненко Д.В. Техничко-экономическая оценка методов воздействия на пласты месторождений ОАО «Сургутнефтегаз» // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство». – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2002. – № 8. – С. 64-68.

3. Солодовников А.Ю., Ивачёв И.В., Хатту А.А., Соромотин А.М. Этно-социальные и эколого-технологические особенности освоения Тянского месторождения ОАО «Сургутнефтегаз» // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство». – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2002. – № 8.
4. Нестационарное заводнение в условиях Лянторского месторождения [Электронный ресурс].
Режим доступа:
http://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635a2bc79b4d53a89521206c27_0.html
5. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Шостак Н.А. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 203 с.
6. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
7. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012-2015. – Т. 1-4.
8. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2013-2014. – Т. 1-4.
9. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – 576 с.
10. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоения нафтових і газових свердловин. Наука і практика: монографія. – Львів: Сполом, 2018. – 476 с.
11. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – 274 с.
12. Попов В.В., Богущ И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа: учебное пособие. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
13. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие. – Новочеркасск: Лик, 2017. – 326 с.
14. Соловьёва В.Н., Колбунов М.Г., Савенок О.В. Метод разработки нефтяных месторождений с взаимодействующими объектами // Журнал «Территория НЕФТЕГАЗ». – М.: Издательство ЗАО «Камелот Пабблишинг», 2012. – № 2 (февраль). – С. 62-69.
15. Березовский Д.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка физико-химических моделей и методов прогнозирования состояния пород-коллекторов // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство». – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2014. – № 9. – С. 84-86.
16. Скуба Д.А., Пегов Е.Н., Савенок О.В., Соловьёва В.Н. Высокая эффективность циклической закачки воды на месторождениях с флишевым строением коллекторов (результаты промышленного эксперимента на залежи кумского горизонта Новодмитриевского месторождения) // Научно-технический журнал «Нефтепромысловое дело». – М.: ВНИИОЭНГ, 2016. – № 7. – С. 10-14
17. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В., Джозефс Эджемен Рэйчел. Технологии и принципы разработки многопластовых месторождений // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2017. – № 1. – С. 33-50.
18. Кусов Г.В., Березовский Д.А., Савенок О.В. Перспективы разработки Самбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Обоснование технологий интенсификации добычи природного газа и газового конденсата // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2017. – № 3. – С. 62-72.

19. Аушев М.Р., Савенок О.В., Яковлев А.Л. Выбор и обоснование технологии поддержания пластового давления при эксплуатации скважин на участке Восточный Молдабек месторождения Кенбай // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2017. – № 4. – С. 298-316.
20. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Котельников А.С. Особенности проведения методов интенсификации на Южно-Султангуловском месторождении // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2018. – № 2.
21. Савенок О.В., Поварова Л.В., Гаскаров Н.Р. Эффективность химических методов стимуляции пласта и нестационарного циклического заводнения на Вынгапуровском месторождении // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года): в 7 томах: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 2. – С. 146-151. Режим доступа: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2018/2/Part-2/PDF/2018-v2-146-151.pdf>
22. Савенок О.В., Поварова Л.В., Даниелян Г.Г. Технологическая эффективность геолого-технических мероприятий, применяемых на Вынгапуровском месторождении // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года): в 7 томах: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 2. – С. 152-156. Режим доступа: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2018/2/Part-2/PDF/2018-v2-152-156.pdf>

REFERENCES

1. Vladimirov I.V. Nestacionarnye tekhnologii neftedobychi (ehtapy razvitiya, sovremennoe sostoyanie i perspektivy). – М.: ОАО «ВНИИОЕНГ», 2004. – 216 с.
2. Isachenko V.M., Misharin V.A, Sonich V.P., Samsonenko D.V. Tekhniko-ehkonomicheskaya ocenka metodov vozdeystviya na plasty mestorozhdenij ОАО «Surgutneftegaz» // Ezhemesyachnyj nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Neftyanoe hozyajstvo». – М.: ЗАО «Izdatel'stvo «Neftyanoe hozyajstvo», 2002. – № 8. – С. 64-68.
3. Solodovnikov A.YU., Ivachyov I.V., Hattu A.A., Soromotin A.M. EHtno-social'nye i ehkologo-tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya Tyanskogo mestorozhdeniya ОАО «Surgutneftegaz» // Ezhemesyachnyj nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Neftyanoe hozyajstvo». – М.: ЗАО «Izdatel'stvo «Neftyanoe hozyajstvo», 2002. – № 8.
4. Nestacionarnoe zavodnenie v usloviyah Lyantorskogo mestorozhdeniya [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635a2bc79b4d53a89521206c27_0.html
5. Antoniadi D.G., Savenok O.V., SHostak N.A. Teoreticheskie osnovy razrabotki neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij: uchebnoe posobie. – Krasnodar: ООО «Prosveshchenie-YUG», 2011. – 203 с.
6. Bulatov A.I., Voloshchenko E.YU., Kusov G.V., Savenok O.V. EHkologiya pri stroitel'stve neftyanyh i gazovyh skvazhin: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. – Krasnodar: ООО «Prosveshchenie-YUG», 2011. – 603 с.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V. Kapital'nyj podzemnyj remont neftyanyh i gazovyh skvazhin: v 4 tomah. – Krasnodar: ООО «Izdatel'skij Dom – YUG», 2012-2015. – Т. 1-4.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V. Praktikum po discipline «Zakanchivanie neftyanyh i gazovyh skvazhin»: v 4 tomah: uchebnoe posobie. – Krasnodar: ООО «Izdatel'skij Dom – YUG», 2013-2014. – Т. 1-4.
9. Bulatov A.I., Savenok O.V., YAremijchuk R.S. Nauchnye osnovy i praktika osvoeniya neftyanyh i gazovyh skvazhin. – Krasnodar: ООО «Izdatel'skij Dom – YUG», 2016. – 576 с.

10. Bulatov A.I., Kachmar YU.D., Savenok O.V., YAremijchuk R.S. Osvoennaya naftovih i gazovih sverdlovin. Nauka i praktika: monografiya. – L'viv: Spolom, 2018. – 476 s.
11. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Osnovy geofizicheskikh issledovanij pri stroitel'stve i ehkspluatacii skvazhin na neftegazovyh mestorozhdeniyah. – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2016. – 274 s.
12. Popov V.V., Bogush I.A., Tret'yak A.YA., Savenok O.V., Lavrent'ev A.V. Poiski, raz-vedka i ehkspluataciya mestorozhdenij nefiti i gaza: uchebnoe posobie. – Novochoerkassk: YURGPU (NPI), 2015. – 322 s.
13. Popov V.V., Tret'yak A.YA., Savenok O.V., Kusov G.V., SHvec V.V. Geofizicheskie issledovaniya i raboty v skvazhinah: uchebnoe posobie. – Novochoerkassk: Lik, 2017. – 326 s.
14. Solov'yova V.N., Kolbunov M.G., Savenok O.V. Metod razrabotki nefityanyh mesto-rozhdenij s vzaimodejstvuyushchimi ob'ektami // ZHurnal «Territoriya NEFTEGAZ». – M.: Izdatel'stvo ZAO «Kamelot Publishing», 2012. – № 2 (fevral'). – S. 62-69.
15. Berezovskij D.A., Lavrent'ev A.V., Savenok O.V., Koshelev A.T. Razrabotka fiziko-himicheskikh modelej i metodov prognozirovaniya sostoyaniya porod-kollektorov // Ezhemesyachnyj nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Neftyanoe hozyajstvo». – M.: ZAO «Izdatel'stvo «Neftyanoe hozyajstvo», 2014. – № 9. – C. 84-86.
16. Skuba D.A., Pegov E.N., Savenok O.V., Solov'yova V.N. Vysokaya ehffektivnost' ciklicheskoj zakachki vody na mestorozhdeniyah s flishevyim stroeniem kollektorov (rezul'taty promyshlennogo ehksperimenta na zalezhi kumskogo gorizonta Novodmitrievskogo mestorozhdeniya) // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Neftepromyslovoe delo». – M.: VNIIOEHNG, 2016. – № 7. – S. 10-14
17. Berezovskij D.A., Kusov G.V., Savenok O.V., Dzhozefs EHDzhemen Rehjchel. Tekhnologii i principy razrabotki mnogoplastovyh mestorozhdenij // Nauchnyj zhurnal NAUKA. TEKHNKA. TEKHNOLOGII (politekhnikeskij vestnik). – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2017. – № 1. – S. 33-50.
18. Kusov G.V., Berezovskij D.A., Savenok O.V. Perspektivy razrabotki Samburgskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya. Obosnovanie tekhnologij intensivizatsii dobychi prirodnoho gaza i gazovogo kondensata // Nauchnyj zhurnal NAUKA. TEKHNKA. TEKHNOLOGII (politekhnikeskij vestnik). – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2017. – № 3. – S. 62-72.
19. Aushev M.R., Savenok O.V., YAKovlev A.L. Vybor i obosnovanie tekhnologii podder-zhaniya plastovogo davleniya pri ehkspluatacii skvazhin na uchastke Vostochnyj Molda-bek mestorozhdeniya Kenbaj // Nauchnyj zhurnal NAUKA. TEKHNKA. TEKHNOLOGII (politekhnikeskij vestnik). – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2017. – № 4. – S. 298-316.
20. Berezovskij D.A., Kusov G.V., Kotel'nikov A.S. Osobennosti provedeniya metodov intensivizatsii na YUzhno-Sultangulovskom mestorozhdenii // Nauchnyj zhurnal NAUKA. TEKHNKA. TEKHNOLOGII (politekhnikeskij vestnik). – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2018. – № 2.
21. Savenok O.V., Povarova L.V., Gaskarov N.R. EHffektivnost' himicheskikh metodov stimulyatsii plasta i nestacionarnogo ciklicheskoho zavodneniya na Vyngapurovskom mestorozhdenii // Bulatovskie chteniya: materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (31 marta 2018 goda): v 7 tomah: sbornik statej / Pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk, prof. O.V. Savenok. – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2018. – T. 2 v 2 ch.: Razrabotka nefityanyh i gazovyh mestorozhdenij. – CH. 2. – S. 146-151. Rezhim dostupa: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2018/2/Part-2/PDF/2018-v2-146-151.pdf>
22. Savenok O.V., Povarova L.V., Danielyan G.G. Tekhnologicheskaya ehffektivnost' geologo-tekhnicheskikh meropriyatij, primenyaemyh na Vyngapurovskom mestorozhdenii // Bulatovskie chteniya: materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (31 marta 2018 goda): v 7 tomah: sbornik statej / Pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk, prof. O.V. Savenok. – Krasnodar: OOO «Izdatel'skij Dom – YUg», 2018. – T. 2 v 2 ch.: Razrabotka nefityanyh i gazovyh mestorozhdenij. – CH. 2. – S. 152-156. Rezhim dostupa: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2018/2/Part-2/PDF/2018-v2-152-156.pdf>

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF NON-STATIONARY WATER FLOODING ON THE LYANTORSKOYE OIL, GAS AND CONDENSATE FIELD

Petrushin E. O.¹, Arutyunyan A. S.²

¹*JSC «Pechoraneft», eopetrushin@yahoo.com*

²*Kuban state technological university, mereniya@mail.ru*

The article analyzes the application of non-stationary water flooding at the Lyantorskoye oil, gas and condensate field. This method is based on a periodic change in the conditions of influence on heterogeneous layers, in which a non-stationary distribution of reservoir pressure is created in productive strata and unsteady motion of liquids and gas occurs. It is shown that the technologies of non-stationary waterflooding have a great perspective on the Lyantorskoye field. Methodical methods for determining the effectiveness of non-stationary waterflooding technologies, the tasks of further improving existing technologies of non-stationary water flooding and the creation of new technologies for non-stationary oil recovery are urgent problems of modern oil production, since these technologies today have higher efficiency.

Keywords: elastic-capillary cyclic development method; non-stationary waterflooding; periodic wells work; impact by elastic oscillations; effects of capillary imprecipitation; change the direction of filtration flows; efficiency of non-stationary waterflooding.