ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМКОЛЬ

HISTORY OF NON-STATIONARY WATER FLOODING TECHNOLOGY DEVELOPMENT AT KUMKOL OIL FIELD

И. В. Владимиров
I. V. Vladimirov

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum Technological
University,
Ufa, Russian Federation

Э. М. Велиев
E. M. Veliev

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum Technological
University,
Ufa, Russian Federation

В статье рассмотрены этапы внедрения и развития технологии нестационарного заводнения на примере месторождения Кумколь.

Показано, что история применения нестационарного заводнения на месторождении Кумколь позволяет определить основные тенденции в развитии технологии. Применение нестационарного заводнения начинается как опытно-промышленные работы на выделенном участке. При этом чаще всего начинают с применения циклики, т.е. одновременного отключения/включения всех нагнетательных скважин участка в течение полупериода цикла. Анализ результатов опытно-промышленных работ позволяет принять решение о расширении участков или о применении нестационарного заводнения на всем объекте (месторождении). При этом анализируется опыт управления работой нагнетательных скважин в периодическом режиме без осложнений в системе поддержания пластового давления.

С течением времени эффективность используемой технологии циклической закачки воды начинает снижаться, что предопределяет необходимость перехода на новые виды нестационарного заводнения. На месторождении Кумколь циклика была заменена на нестационарное заводнение + изменение направления фильтрационного потока за счет выделения групп нагнетательных скважин, каждая из которых работает в своем режиме. Однако и эта технология начинает со временем «стареть», т.е. снижать эффективность.

Дальнейшее развитие нестационарного заводнения связано с сочетанием циклической закачки воды с периодической работой высокообводненных добывающих скважин. Данное направление нестационарного заводнения обладает большой гибкостью и может постоянно модифицироваться.

In the article introduction and development stages of non-stationary waterflooding technology are considered at Kumkol oil field example.

It is shown that the history of non-stationary waterflooding application at Kumkol oil field allows to determine the main trends of technology development. The application of non-stationary waterflooding begins as pilot-industrial work on a designated site. In this case, most often begin with the application of cyclics, i.e. all injection wells simultaneous disconnection/activation of the site during the half cycle period. The analysis of the results of pilot-industrial works makes it possible to decide on the extension of the sections or on the application of non-stationary waterflooding on the entire site (oil field). In this case, the experience of managing the operation of injection wells in a batch mode without complications in the reservoir pressure maintenance system is analyzed.

During the time passing, the efficiency of the cyclic water injection technology starts decreasing, that needs using new types of non-stationary waterflooding. At the Kumkol oil field, the cyclic mode was replaced by non-stationary waterflooding + change in the direction of the filtration flow due to the selection of injection wells groups, each of which operates in its mode. However, this technology also begins «aging» with time and efficiency reduces.

Further development of non-stationary waterflooding is associated with a combination of cyclic water injection and high-water-producing wells periodic operation. This direction of non-stationary waterflooding has great flexibility and can be constantly modified.

Ключевые слова

месторождение,
система поддержания
пластового давления,
технология
циклической закачки
воды,
нестационарное
заводнение,
нагнетательная
скважина

Key words

oil field,
reservoir pressure
maintenance system,
cyclic water
injection technology,
non-stationary water
flooding,
injection well

Разработка месторождений нефти с неоднородным по проницаемости коллектором характеризуется рядом особенностей, важнейшей из которых является избирательная выработка запасов нефти из высокопроницаемых зон коллектора. При этом остаточные запасы нефти размещены, в основном, в низкопроницаемых областях коллектора и их выработка сопровождается рядом осложнений [1]. Основной задачей для вовлечения в дренирование этих запасов нефти является внедрение воды в низкопроницаемые прослойки коллектора. Такими возможностями обладает метод повышения нефтеотдачи пластов — нестационарное заводнение (НЗ) [2–5].

В качестве характерного примера внедрения и развития технологии НЗ рассмотрим результаты применения технологии НЗ на месторождении Кумколь (Республика Казахстан). Данное месторождение является показательным в области применения НЗ. Технология применялась на ряде участков двух эксплуатационных объектов. Развитие технологии прошло ряд этапов: 2009–2011 гг. — циклика, 2012–2014 гг. — циклика + изменение направления фильтрационного потока (ИНФП), 2015 г. — периодическая работа добывающих и нагнетательных скважин в противофазе. Большой накопленный опыт в применении НЗ на данном месторождении требует своего научного осмысления и обобщения, т.к. проделанные на месторождении

эксперименты имеют значительную научную ценность.

Опыт применения нестационарного заводнения на месторождении Кумколь

Работы по применению нестационарного заводнения проводились в 2009–2015 гг. на месторождении Кумколь (Республики Казахстан): первый и второй эксплуатационные объекты — горизонты меловых и юрских отложений, соответственно. Коллекторы объектов — терригенного типа, высокопористые, высокопроницаемые, сильно неоднородные по проницаемости как по латерали, так и по разрезу. Нефть — легкая, средней вязкости (до 2 мПа·с).

Первый этап (циклическое заводнение)

Опытно-промышленные работы (ОПР) по применению НЗ на месторождении Кумколь проводились на участках горизонтов первого и второго эксплуатационных объектов [6–10]. Первоначальные границы участков приведены на рисунке 1.

Программа НЗ была разработана специалистами ОАО «Лукойл-Оверсиз» (А.В. Горшков) и АО «Тургай-Петролеум» (Д.Т. Абиляхиров). Участки НЗ выбирались в результате детального анализа геологического строения залежи с учетом объема остаточных подвижных запасов нефти и состояния разработки залежи, а также с учетом возможностей системы ППД.

На выбранных опытных участках нагнетательные скважины снабжались от БКНС-4.

Это позволило достаточно легко организовать циклическое воздействие. В начальный период использовалась попеременная закачка воды на разные объекты разработки, т.е. определенный период велась закачка в нагнетательные скважины первого объекта при остановленных нагнетательных скважинах второго объекта, затем включались нагнетательные скважины второго объекта, а нагнетательные скважины первого объекта останавливались. Перераспределение закачиваемой воды между объектами позволило эксплуатировать БКНС в штатном режиме.

На начальном этапе периоды работы и остановки нагнетательных скважин определялись экспериментально. В течение первого этапа ОНР были опробованы два режима с продолжительностью полупериодов остановки/работы нагнетательных скважин 1 и 3 сут. Циклическая закачка воды с продолжительностью полупериода 1 сут проходила на участках НЗ с 19.11.2009 г. по 10.12.2009 г., с трехсуточным полупериодом цикла — с 12.12.2009 г. по 31.03.2010 г.

Согласно оперативному анализу, проведенному недропользователем, эффективность от циклического воздействия за весь анализируемый период положительная. Оценка производилась прямым методом. По объектам разработки эффективность циклического воздействия разная. За 9 циклов воздействия со стороны нагнетательных скважин, проведенных в конце 2009 г., были получены следующие результаты: дополнительная добыча нефти по первому объекту (участку) составила 660 т на 11 добывающих скважин (или 3 т/(скв. · сут)), по второму объекту — 840 т на 35 добывающих скважин (или 1,2 т/(скв. · сут)). После увеличения длительности полупериода цикла до 3 сут работы/остановки нагнетательных скважин эффект от НЗ снизился и составил по первому участку 200 т или 0,91 т/(скв. · сут), по второму участку — 400 т или 0,575 т/(скв. · сут).

Как уже отмечалось ранее, величина технологического эффекта от применения циклического воздействия специалистами недропользователя определялась прямым методом. При этом усреднялись показатели по добыче нефти, жидкости и обводненности за определенный период до начала применения циклического воздействия. Эти величины фиксировались и считались неизменными при дальнейшей динамике технологических

показателей разработки участка. Эффект считался как прирост показателей добычи нефти относительно среднего значения до начала применения циклического воздействия. Необходимо отметить, что такой подход в определении эффективности геолого-технических мероприятий (ГТМ) используется многими нефтяными компаниями. Данная метода вполне справедлива в случае, когда показатели разработки до применения ГТМ изменялись незначительно в течение длительного времени. Однако, как для первого, так и для второго участков наблюдается картина устойчивого снижения дебита нефти при возрастающей обводненности добываемой продукции. В таких случаях для определения эффективности ГТМ можно в качестве «базы» построить тренды изменения дебита нефти и обводненности и считать эффективность относительно экстраполированных значений трендов. Однако в нефтепромысловой практике сложилась устойчивая традиция определять эффективность мероприятия на основе построения характеристик вытеснения (ХВ).

Анализ эффективности циклической закачки воды был проведен с применением метода характеристик вытеснения. Расчеты показали, что за период с 12.2009 г. по 03.2010 г. эффект от НЗ (цикла) по первому участку (горизонты М1 + М2) составил 1,673 тыс. т. С учетом продолжительности удельная эффективность мероприятия на первом участке составила 30 т/(скв. · мес.). По второму участку циклического воздействия (горизонты Ю1 + Ю2) дополнительная добыча нефти составила 7386 т. С учетом продолжительности эффективность мероприятия на втором участке составила 41 т/(скв. · мес.).

Таким образом, проводимое на участках первого и второго эксплуатационных объектов месторождения Кумколь циклическое воздействие показало свою эффективность. Было решено, что эффективность от циклического воздействия можно увеличить за счет правильного подбора периодов остановки и работы нагнетательных скважин и сочетания с технологиями изменения направления фильтрационного потока.

Второй этап (циклическое заводнение с изменением направления фильтрационного потока)

Второй этап в развитии НЗ на первом эксплуатационном объекте месторождения Кум-

коль детально описан в работе [7]. Ниже приведем основные результаты данного этапа.

На втором этапе применения НЗ участки первого и второго эксплуатационных объектов были расширены присоединением прилегающих зон с добывающими и нагнетательными скважинами.

Нагнетательные скважины участка НЗ первого эксплуатационного объекта были объединены в две группы: западный ряд и восточный ряд. В 2011 г. продолжительность полупериода цикла составила 2 сут. При этом использовалась следующая последовательность работы нагнетательных скважин: отключались скважины восточного ряда, по истечении 2 сут скважины восточного ряда включались под закачку, и в течение следующих 2 сут работали все нагнетательные скважины участка, спустя 2 сут отключались скважины западного ряда и т.д.

Данный порядок циклического воздействия обусловлен техническими условиями организации системы ППД предприятия, которые не позволяли осуществлять остановку большего числа нагнетательных скважин на продолжительный срок, что и было, на более длительный срок это невозможно в связи с необходимостью утилизации больших объемов подтоварной воды.

Применяемый режим циклического воздействия с полупериодом 2 сут позволял интенсифицировать межслойные перетоки только в зоне между нагнетательными и ближайшими к ним добывающими скважинами. Тем не менее, из-за значительных объемов подвижных запасов нефти, расположенных в низкопроницаемых слоях коллектора в зоне закачки воды, циклическая закачка воды с короткими циклами оказалась эффективной. На 01.11.2011 г. эффект от НЗ составил 16,754 тыс. т.

На участке НЗ второго эксплуатационного объекта нагнетательные скважины были разделены на группы, для каждой из которых был установлен режим работы/остановки. Продолжительность полупериода циклического воздействия равнялась 2 сут.

Из-за малой продолжительности полупериода работы/остановки нагнетательных скважин межслойные перетоки ограничивались зоной пласта с нагнетательными скважинами. В отличие от горизонтов первого эксплуатационного объекта плотность текущих подвижных запасов горизонтов Ю1 и

Ю2 в области закачки воды значительно ниже. Поэтому для режимов НЗ с короткими циклами эффект от технологии будет либо небольшим, либо отсутствовать. Однако, как показали расчеты, эффект от нестационарного воздействия на рассматриваемом участке отрицательный. На 01.11.2011 г. средние потери от циклического воздействия составили 2,45 тыс. т.

Исследование причин отрицательного эффекта от циклического воздействия на участке НЗ второго эксплуатационного объекта показало, что отрицательный эффект обусловлен реакцией скважин, эксплуатирующих 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 и подтвержден для условий первого участка НЗ (горизонты М1 + М2).

В 2012 г. недропользователь прекратил нестационарное заводнение на втором эксплуатационном объекте в виду отрицательного эффекта от применения технологии. В план геолого-технических мероприятий было включено применение нестационарного воздействия только на основном участке первого эксплуатационного объекта. В связи с рядом технических сложностей по организации периодической закачки в нагнетательные скважины первого объекта и значительным изменением в системе ППД участка программа НЗ на первом эксплуатационном объекте была адаптирована к новым условиям. Выделено три группы нагнетательных скважин. Продолжительность периода остановки (работы) групп нагнетательных скважин увеличили до 5 сут. Тем самым за счет увеличения периода циклического воздействия смещалась область максимальной интенсивности обмена жидкостью между пропластками разной проницаемости в межскважинное пространство по направлению к области отбора.

Расчет эффекта от применения НЗ на основном участке первого эксплуатационного объекта показал, что объем дополнительно добытой нефти составил 6948 т.

В 2013 г. недропользователь проводил нестационарное заводнение только на основном участке первого эксплуатационного объекта (горизонты М1 и М2). Оценка эффекта в 2013 г. (на 01.11.2013 г.) составила 6518 т дополнительно добытой нефти.

В 2014 г. НЗ на данном участке было прекращено в виду необходимости реализации проектных решений по применению потокоотклоняющих технологий.

Анализ динамики эффективности нестационарного заводнения на первом участке НЗ (горизонты М1 + М2) показывает, что в последнее время применения НЗ наблюдалась устойчивая тенденция снижения величины эффекта от технологии (рисунок 2). Необходимы дальнейшая модификация технологии нестационарного воздействия и переход к комплексной технологии, включаю-

щей циклическую закачку воды в сочетании с периодической работой высокообводненных добывающих скважин.

Таким образом, развитие нестационарного заводнения на месторождении Кумколь прошло ряд этапов. Технология НЗ начиналась как чисто циклическое воздействие на первом этапе. Затем была реализована модификация НЗ в сочетании с технологией изменения направления фильтрационных потоков. Согласно теоретическим исследованиям в работе [5] следующим этапом в развитии НЗ должно быть сочетание циклической закачки воды с периодической работой высокообводненных добывающих скважин. Направления дальнейшей модификации технологии НЗ на месторождении Кумколь изложены в работе [10].

Рисунок 2. Динамика удельного технологического эффекта от применения технологии НЗ на первом участке НЗ первого эксплуатационного объекта месторождения Кумколь

Выводы

История применения нестационарного заводнения на месторождении Кумколь позволяет определить основные тенденции в развитии технологии. Применение НЗ начинается как ОПР на выделенном участке (участках). При этом чаще всего начинают с применения циклики, т.е. одновременного отключения/включения всех нагнетательных скважин участка в течение полупериода цикла. Анализ результатов ОПР позволяет принять решение о расширении участков НЗ или о применении НЗ на всем объекте (месторождении). При этом анализируется опыт управления работой нагнетательных скважин в периодическом режиме без осложнений в системе ППД.

С течением времени эффективность используемой технологии циклической закачки воды начинает снижаться, что предопределяет необходимость перехода на новые виды НЗ. На месторождении Кумколь циклика была заменена на НЗ+ИНФП за счет выделения групп нагнетательных скважин, каждая из которых работает в своем режиме. Однако и эта технология начинает со временем «стареть», т.е. снижается эффективность.

Дальнейшее развитие НЗ связано с сочетанием циклической закачки воды с периодической работой высокообводненных добывающих скважин. Данное направление НЗ обладает большой гибкостью и может постоянно модифицироваться.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владимиров И.В. Проблемы выработки запасов нефти из неоднородных по проницаемости коллекторов при их заводнении // Проблемы разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти: сб. научн. тр. «ВНИИнефть». М.: ОАО «ВНИИнефть», 2011. Вып. 144. 158 с.

2. Гавура В.Е. Геология и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 1995. 496 с.

3. Муслимов Р.Х. Современные методы управления разработкой нефтяных месторождений с применением заводнения: учебн. пособие. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2002. 596 с.

4. Гафаров Ш.А., Фаизов Р.Г., Кабиров М.М. Повышение эффективности циклического воздействия на неоднородные нефтяные пласты. Уфа: Монография, 2007. 74 с.

5. Владимиров И.В. Нестационарные технологии нефтедобычи (этапы развития, современное состояние и перспективы). М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. 216 с.

6. Разработка программы нестационарного заводнения месторождения Кумколь: Отчет о НИР / Договор № 279 ОТ 26.04.2010. Уфа, 2010. 448 с.

7. Мониторинг программы нестационарного заводнения месторождения Кумколь: Отчет о НИР / Договор № 316 от 06.05.2011, ООО НПО «Нефтегазтехнология». Уфа, 2011. 182 с.

8. Мониторинг и анализ применения технологий нестационарного заводнения и выравнивания профиля приемистости на месторождении Кумколь: Отчет о НИР / Договор KZ-12-8100-0044 от 16.04.2012, ООО НПО «Нефтегазтехнология». Уфа, 2012. 415 с.

9. Мониторинг и анализ применения технологий нестационарного заводнения и выравнивания профиля приемистости на месторождении Кумколь: Отчет о НИР / Договор KZ-8100-0178 от 29 марта 2013 г., ЗАО «Конкорд». М., 2013. 436 с.

10. Мониторинг и анализ применения технологий нестационарного заводнения и выравнивания профиля приемистости на месторождении Кумколь: Отчет о НИР / Договор KZ-8120-0138 от 3 марта 2014 г., ЗАО «Конкорд». М., 2014. 375 с.

REFERENCES

1. Vladimirov I.V. Problemy vyrabotki zapasov nefiti iz neodnorodnykh po pronitsaemosti kollektorov pri ikh zavodnenii [Problems of the Development of Oil Reserves from Heterogeneous Permeability Reservoirs during their Water Flooding]. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy razrabotki mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami nefiti»* [Collection of Scientific Works «Problems of Development of Deposits with Hard-to-Recover Oil Reserves»]. Moscow, ОАО «VNIIneft'», 2011, Issue 144, 158 p. [in Russian].

2. Gavura V.E. *Geologiya i razrabotka neftyanykh i gazonefityanykh mestorozhdenii* [Geology and Development of Oil and Gas-Oil Fields]. Moscow, VNIIOENG, 1995, 496 p. [in Russian].

3. Muslimov R.Kh. *Sovremennyye metody upravleniya razrabotkoi neftyanykh mestorozhdenii s primeneniem zavodneniya: uchebn. posobie* [Modern Methods of Managing the Development of Oil Fields with Water Flooding: Tutorial]. Kazan', Izd-vo Kazansk. un-ta, 2002, 596 p. [in Russian].

4. Gafarov Sh.A., Faizov R.G., Kabirov M.M. *Povyshenie effektivnosti tsiklicheskogo vozdeistviya na neodnorodnye neftyanye plasty* [Effectiveness Increasing of Cyclic Impact on Heterogeneous Oil Layers]. Ufa, Monografiya Publ., 2007, 74 p. [in Russian].

5. Vladimirov I.V. *Nestatsionarnyye tekhnologii neftedobychi (etapy razvitiya, sovremennoe sostoyanie i perspektivy)* [Non-Stationary Technologies of Oil Production (Stages of Development, Current State and Prospects)]. Moscow, ОАО «VNIIOENG», 2004, 216 p. [in Russian].

6. *Razrabotka programmy nestatsionarnogo zavodneniya mestorozhdeniya Kumkol': Otchet o NIR / Dogovor № 279 ot 26.04.2010* [Development of the Program for Non-Stationary Water Flooding of the Kumkol Oil Field: Report on R&D / Contract No. 279 dd. 26.04.2010.]. Ufa, 2010, 448 p. [in Russian].

7. *Monitoring programmy nestatsionarnogo zavodneniya mestorozhdeniya Kumkol': Otchet o NIR / Dogovor № 316 ot 06.05.2011, ООО НПО «Нефтегазтехнология»* [Monitoring of the Non-Stationary Water Flooding Program of the Kumkol Oil Field: Report on R&D / Contract No. 316 dd. 06/05/2011, NPO Neftegaztechnology LLC]. Ufa, 2011, 182 p. [in Russian].

8. *Monitoring i analiz primeneniya tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniya i vyvavnivaniya profilya priemistosti na mestorozhdenii Kumkol': Otchet o NIR / Dogovor KZ-12-8100-0044 ot 16.04.2012, ООО НПО «Нефтегазтехнология»* [Monitoring and Analysis of the Application of Technologies for Non-Stationary Water Flooding and Equalization of the Injectivity Profile at the Kumkol Oil Field: Report on R&D / Contract KZ-12-8100-0044 dd. 16.04.2012, NPO Neftegaztechnology LLC]. Ufa, 2012, 415 p. [in Russian].

9. *Monitoring i analiz primeneniya tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniya i vyvavnivaniya profilya priemistosti na mestorozhdenii Kumkol': Otchet o NIR / Dogovor KZ-8100-0178 ot 29 marta 2013 g., ЗАО «Конкорд»* [Monitoring and Analysis of the Application of Technologies for Non-Stationary Water Flooding and Equalization of the Injectivity Profile at the Kumkol Oil Field: Report on R&D / Contract KZ-8100-0178 dd. 29.03.2013, Konkord ZAO]. Moscow, 2013, 436 p. [in Russian].

10. *Monitoring i analiz primeneniya tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniya i vyvavnivaniya profilya priemistosti na mestorozhdenii Kumkol': Otchet o NIR / Dogovor KZ-8120-0138 ot 3 marta 2014 g., ЗАО «Конкорд»* [Monitoring and Analysis of the Application of Technologies for Non-Stationary Water Flooding and Equalization of the Injectivity Profile at the Kumkol Oil Field: Report on R&D / Contract KZ-8120-0138 dd. 03.03.2014, Konkord ZAO]. Moscow, 2014, 375 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Владимиров И. В., доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и нефтегазоконденсатных месторождений», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

Vladimirov I. V., Doctor of Engineering Sciences, Professor of Development and Operation of Gas and Oil-Gas-Condensate Fields Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Велиев Э. М., преподаватель кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВО «УГНТУ», филиал, г. Октябрьский, Российская Федерация

Veliev E. M., Lecturer of Mining and Development of Oil and Gas Fields Department, FSBEI HE «USPTU», Branch, Oktyabrskiy, Russian Federation

e-mail: _elshad_@mail.ru