

Библиографический список

1. Ramey H. J., Cobb W. M. A General Pressure Buildup Theory for a Well in a Close Drainage Area // JPT. – 1971. – December. – P. 1493–1505.
2. Gringart A. C. Reservoir Limit Testing for Fractured Wells // SPE 7452. – (October 1978).
3. Prats M. Effect of vertical fracture on reservoir behavior. Incompressible fluid case // SPEJ. – (June 1961). – P. 105–118.
4. Riley M. F., Brigham, W. E., Horne R. N. Analytical Solutions for Elliptical Finite-Conductivity Fractures // SPE 22656. – (October 1991).
5. Wilson C. Quantitative Methods in Reservoir Engineering. – Available at: <https://www.elsevier.com>.

Сведения об авторах

Фаик Саад Алаельдин, аспирант кафедры моделирования и управления процессами нефтегазодобычи, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Университет технологии, г. Багдад, Ирак, тел. 89199428514, e-mail: saadfaiq1979@hotmail.com

Саранча Алексей Васильевич, к. т. н., доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: sarantcha@mail.ru

Information about the authors

Faiq C. A., Postgraduate at the Department of Modeling and Control of Oil and Gas Production Processes, Industrial University of Tyumen, University of Technology, Baghdad, Iraq, phone: 89199428514, e-mail: saad-faiq1979@hotmail.com

Sarancha A. V., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, e-mail: sarantcha@mail.ru

УДК 622.276.43

ВАРИАНТЫ ИМПУЛЬСНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В БЛОКОВЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ OPTIONS OF PULSE NON-STATIONARY WATER FLOODING IN BLOCK SYSTEMS OF DEVELOPMENT

М. Я. Хабибуллин, Р. И. Сулейманов, Л. З. Зайнагалина, В. А. Петров
M. Ya. Habibullin, R. I. Suleymanov, L. Z. Zaynagalina, V. A. Petrov

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета,
г. Октябрьский

*Ключевые слова: нестационарное заводнение; фильтрация;
нагнетательная и добывающая скважины*

Key words: non-stationary water flooding; filtration; injection and producing wells

Для оценки импульсного нестационарного заводнения и разработки мероприятий по повышению его эффективности важно выяснить соотношение эффектов от упруго-капиллярной пропитки замкнутых пор при импульсной закачке и изменения направления фильтрации при нестационарном заводнении. В этом случае для работающих нагнетательных скважин применяют забойные или устьевые устройства (генераторы, вибраторы, пульсаторы и т. д.) для импульсной закачки воды с целью одновременного ускорения обратной капиллярной пропитки замкнутых нефтеносных зон и перемены направления фильтрации закачиваемой воды [1–6]. Предварительное опробование данного комплексного заводнения произвели на месторождениях АО «Самаранефтегаз» в 2015–2016 гг.

Известно, что условием эффективности упруго-капиллярного заводнения является соблюдение продолжительности полуцикла в пределах

$$t = \frac{R_K^2}{4\chi \cdot 0,5},$$

где R_K — радиус контура питания; χ — пьезопроводность пласта. Если принять $R_K = 500$ м, $\chi = 10^4$ см²/с (средние параметры), то указанное условие реализуется при $t > 2$ сут, то есть почти на всех месторождениях оно выполнялось. Однако по ряду месторождений (Неприковское, Митяевское, Лебединское) положительный эффект отсутствует. Выясним условия получения эффекта от перемены направления фильтрации при изменении режима работы нагнетательных скважин.

Очевидно, предположительным следует считать такой вариант изменения режимов работы скважин, при котором эффект капиллярной пропитки дополняется эффектом перемены направления фильтрации, благоприятствующей равномерному продвижению закачиваемой воды.

В площадных системах разработки эти положения реализуются в силу геометрии сетки расположения нагнетательных и добывающих скважин.

В блоковых системах особенности взаимного расположения нагнетательных и добывающих скважин допускают многообразие вариантов изменения режимов их работы (одиночное, групповое, блоками и т. д.). Поэтому необходимо учитывать влияние последовательности изменения режимов работы скважин на итоговый эффект импульсного нестационарного заводнения и выбор, применительно к конкретным условиям, наиболее рационального варианта.

Строгое аналитическое решение по определению количественного эффекта импульсного нестационарного заводнения связано со значительными трудностями [7]. Однако при решении целого ряда практических задач, в частности выбора целесообразного варианта его проведения, достаточно получить сравнительную характеристику эффективности процесса. В блоковых системах разработки критерием сравнительной эффективности импульсного нестационарного заводнения может служить величина изменения скорости фильтрации по линии, параллельной нагнетательному ряду. Выбор этого параметра в качестве критерия обусловлен следующими положениями [8].

Известно, что опережающий прорыв закачиваемой воды к забоям добывающих скважин (языки обводнения) происходит по узкой полосе в направлении от нагнетательных скважин к добывающим, так как именно здесь градиенты давления максимальны. Поэтому решение задачи равномерного вытеснения нефти и увеличения периода безводной добычи сводится к увеличению потока закачиваемой воды в направлении, параллельном нагнетательному ряду. Показателем интенсивности поступления закачиваемой воды в этом направлении является соответствующая составляющая скорости фильтрации.

Величина изменения составляющей скорости фильтрации по какому-либо направлению не дает абсолютных значений прироста нефтеотдачи, уменьшения обводненности и т. д. Она позволяет получить сравнительную оценку различных вариантов изменения режима работы нагнетательных скважин, при которых эффект капиллярной пропитки дополняется эффектом изменения направления фильтрации жидкости [9]. Можно считать, что чем больше составляющая скорости фильтрации по линии, параллельной разрезающему ряду, тем более равномерно будет проходить вытеснение нефти [10, 11].

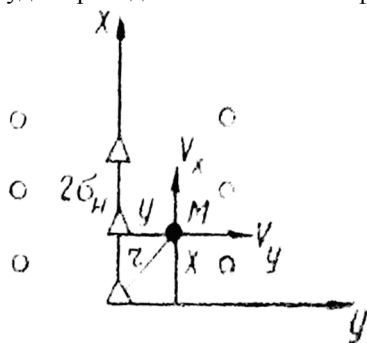


Рис. 1. Расчетная схема

Рассмотрим участок залежи со скважинами нагнетательного и эксплуатационного рядов (рис. 1).

Выберем систему координат таким образом, чтобы одна из осей совпадала с линией расположения нагнетательных скважин. Для точки М с координатой x и абсциссой y выбранной системы координат составляющие скорости фильтрации по осям соответственно равны V_x и V_y . Поскольку направление составляющей скорости фильтрации совпадает с линией расположения нагнетательных скважин, эффективность циклического за-

воднения будет определяться величиной прироста V_x от изменения режима работы нагнетательных скважин. Значение проекции скорости фильтрации на ось ординат, то есть V_x , определяется от изменения режима работы нагнетательных скважин

$$V_x = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}, \quad (1)$$

где K — проницаемость пласта; μ — вязкость жидкости; $\frac{dp}{dx}$ — градиент давления.

Распределение давления в точке, находящейся на расстоянии r от источника возмущения, определяется интегрально-показательной функцией [12]:

$$\Delta P(r, t) = \frac{Q\mu}{4\pi kh} \left[-E_i \left(-\frac{r^2}{4xt} \right) \right], \quad (2)$$

где x — пьезопроводность пласта.

Принимая во внимание, что $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ и, следовательно,

$$dr = \frac{xdx}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

найдем

$$V_x = \frac{Q}{2\pi h} \frac{e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{4xt}\right)}}{x^2+y^2} \cdot x. \quad (3)$$

Для практического использования удобно представить предыдущую формулу в функции отношения значения ординаты x к половине расстояния между нагнетательными скважинами σ_H [13].

В итоге получим

$$V_x = \frac{Q}{2\pi h \sigma_H} \cdot \frac{e^{-\frac{\sigma_H^2}{4xt} \left(\frac{x^2}{\sigma_H^2} + \frac{y^2}{\sigma_H^2} \right)}}{\left(\frac{x^2}{\sigma_H^2} + \frac{y^2}{\sigma_H^2} \right)} \cdot \frac{x}{\sigma_H}. \quad (4)$$

Введем понятие безразмерного изменения скорости фильтрации по оси ординат [14]

$$V_x^* = V_x \frac{2\pi h \sigma_H}{Q}. \quad (5)$$

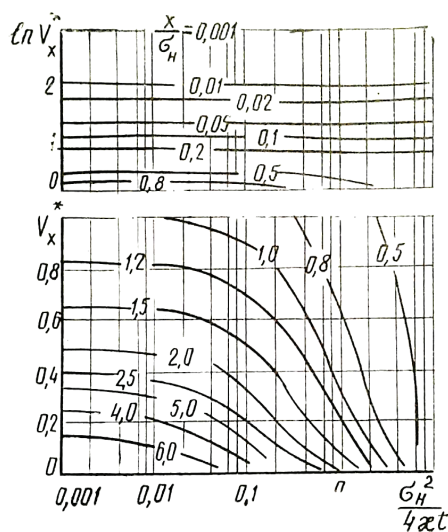


Рис. 2. Зависимость величины V_x^* от отношения $\frac{\sigma_H^2}{4xt}$ при различных значениях $\frac{x}{\sigma_H}$

направлениях, то есть абсолютное значение итогового изменения скорости определяется разностью абсолютных величин изменения скоростей от каждой из скважин. В остальной же части пласта, по отношению к указанной полосе, наоборот — сложением.

В целях упрощения, ограничимся случаем $y = 0$. Результаты вычислений изменений безразмерной скорости фильтрации для различных значений $\frac{\sigma_H^2}{4xt}$, $\frac{x}{\sigma_H}$ показаны на рисунке 2.

Поскольку скорость фильтрации и ее составляющие по осям — величины векторные, при выборе рационального варианта нестационарного заводнения необходимо учитывать не только абсолютную величину их прироста, но и направление. Из этого следует, что для двух одновременно остановленных нагнетательных скважин в области между ними изменение скорости фильтрации по линии, параллельной линии разрезания, происходит в противоположных

В качестве иллюстрирующего примера оценки влияния порядка изменения режимов на эффективность перемены направления фильтрации возьмем участок разрезающего ряда четырьмя нагнетательными скважинами, имеющими одинаковую приемистость (рис. 3). Представлены также эпюры (см. рис. 3) изменения безразмерной скорости фильтрации по линии расположения скважин, рассчитанные [15] по формуле (5) при $\frac{\sigma_n^2}{4xt} = 0,001$; $0,1$ — для четырех вариантов отключения: 1) поочередно по одной; 2) все одновременно; 3) скв. 1 совместно со скв. 3, затем скв. 2 совместно со скв. 4; 4) скв. 1 совместно со скв. 4, затем скв. 2 совместно со скв. 3.

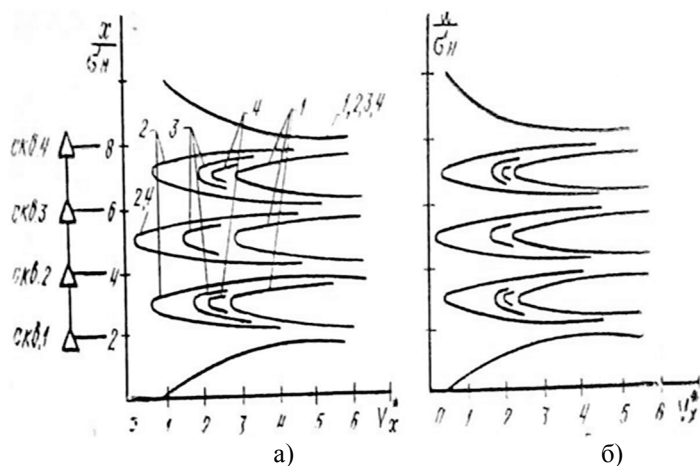


Рис. 3. Эпюры изменения V_x соответственно при четырех вариантах остановки нагнетательных скважин:
а) $\frac{\sigma_n^2}{4xt} = 0,001$;
б) $\frac{\sigma_n^2}{4xt} = 0,1$

Как видно, наибольший итоговый эффект изменения скорости фильтрации по линии разрезания, а следовательно, и эффект от нестационарного заводнения достигается при поочередной остановке скважин, далее следуют в порядке убывания эффекта третий, четвертый и второй варианты.

При этом важно отметить, что при одновременной остановке нагнетательных скважин не ближе чем через одну вовлекаются в активную разработку зоны в промежутке между скважинами, обычно предрасположенные к застоям и трудновыводимые при непрерывном заводнении. Если соседние нагнетательные скважины находятся в синхронной фазе изменения режима, то существует опасность образования застойных зон. Причем из анализа формулы (4) следует, что в блоковых системах разработки ранговая последовательность вариантов по величине достигаемого изменения направления фильтрации сохраняется и для общего случая $y = 0$, также неоднородного и обводненного пласта, поскольку не параметры его, а направленность изменения движения жидкости от каждой скважины определяет итоговый эффект.

Таким образом, максимальное расстояние между нагнетательными скважинами, режим работы которых может меняться одновременно, ограничивается продолжительностью остановки и последующего нагнетания воды. В долях от величины $2\sigma_n$ (с округлением до меньшего целого) это максимальное расстояние будет определяться как отношение продолжительности полного цикла к продолжительности меньшего из полуциклов. Так, если продолжительность полуциклов одинакова, то это отношение равно двум, то есть скважины в ряду должны останавливаться через одну.

Библиографический список

1. Пат. 2198288 РФ. № 99121394/03. Способ закачки жидкости в нагнетательные скважины и устройство для его осуществления / Султанов Б. З., Тухтеев Р. М., Хабибуллин М. Я., Туйгунов М. Р.; заявл. 12.10.1999; опубл. 10.02.2003.
2. Хабибуллин М. Я., Арсланов И. Г., Абдюкова Р. Я. Лабораторная установка по исследованию процессов при импульсной закачке жидкостей в пласт // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 2. – С. 14–16.
3. Пат. 2241825 РФ. № 2003104370/03. Устройство для закачки жидкости / Гиляев Г. Г., Тухтеев Р. М., Хабибуллин М. Я., Ибраев Р. А.; заявл. 13.02.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. № 34.

4. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И., Давыдов А. Ю. Теоретические и лабораторные исследования работы устройства для импульсной закачки жидкости в скважину // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 3. – С. 16–21.
5. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И., Сидоркин Д. И. Лабораторно-теоретические исследования работы двухбалансирной конструкции устройства для импульсной закачки жидкости в скважину // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 5. – С. 109–113.
6. Хабибуллин М. Я., Петров В. А. Оборудование подземное установки скважинного штангового насоса. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – 54 с.
7. Хабибуллин М. Я., Шангареев Р. Р. Исследование процессов влияния давления и частоты импульсов на проникновение жидкости в песчаных образцах // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 4. – С. 120–125.
8. Аббасов Э. М., Агаева Н. А. Распространение упругих волн, создаваемых в жидкости, с учетом динамической связи системы пласт-скважина // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2014. – № 1. – С. 77–84.
9. Хабибуллин М. Я., Арсланов И. Г., Абдюкова Р. Я. Оптимизация процесса вытеснения нефти при стационарной импульсной закачке воды // Нефтепромышленное дело. – 2014. – № 3. – С. 24–28.
10. Мирзаджанзаде А. Х., Шахвердиев А. Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче. Системный анализ, диагноз, прогноз. – М.: Наука, 1997.
11. Хабибуллин М. Я., Сидоркин Д. И. Определение параметров колебаний колонны насосно-компрессорных труб при импульсной закачке жидкостей в скважину // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2016. – Т. 3, № 3. – С. 27–32.
12. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1984.
13. Сулейманов Б. А., Аббасов Э. М. Восстановление забойного давления при вытеснении нефти водой с учетом немгновенного прекращения притока в скважину // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2010. – № 2. – С. 20–24.
14. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Расчеты в теоретической и прикладной механике. – Уфа: УГНТУ, 2016. – 94 с.
15. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Информационные технологии в расчетах нефтепромышленного оборудования // Научное обозрение. – 2015. – № 6. – С. 74–83.

Сведения об авторах

Хабибуллин Марат Яхиевич, к. т. н., доцент кафедры нефтепромышленных машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Сулейманов Рустэм Исхакович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой нефтепромышленных машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Зайнагалина Ляйсян Зульфаровна, к. т. н., доцент кафедры нефтепромышленных машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 8(34767)65401, e-mail: npmo@mail.ru

Петров Вениамин Алексеевич, к. т. н., доцент кафедры нефтепромышленных машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 8(34767)65401, e-mail: npmo@mail.ru

Information about the authors

Habibullin M. Ya., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Suleymanov R. I., Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Zaynagalina L. Z., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(34767)65401, e-mail: npmo@mail.ru

Petrov V. A., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(34767)65401, e-mail: npmo@mail.ru

УДК 622.276

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО И ЩЕЛОЧНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ПЛАСТА ПК₁₋₃ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВОСТОЧНО-МЕССОЯХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ASSESSMENT OF POLYMER AND ALKALINE FLOODING TECHNOLOGY OF THE LAYER PK₁₋₃ FORMATION IN DEVELOPMENT OF THE VOSTOCHNO-MESSOYAKHNSKOYE FIELD

Ф. Т. Эюбов, С. К. Сохошко, А. А. Севастьянов, И. В. Коваленко
F. T. Eyubov, S. K. Sokhoshko, A. A. Sevastyanov, I. V. Kovalenko

АО «Мессояханефтегаз», г. Тюмень
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень,
ООО «Газпромнефть – НТЦ», г. Тюмень

*Ключевые слова: технологии полимерного и щелочного (ПАВ) заводнения, выравнивание
профиля вытеснения, коэффициент извлечения нефти, межфазное натяжение*
*Key word: technology of polymer and alkaline (surfactant) flooding; displacement
profile equalizing; oil recovery; interfacial tension*