

УДК 622.276

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ КАК ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Романова М.Ю., Синцов И.А.

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: ivan_sintsov@mail.ru

В данной работе проведен анализ эффективности применения существующей методики нестационарного заводнения. На первом этапе работы было определено, что на месторождениях Западной Сибири данный метод характеризуется невысокой дополнительной добычей. В большинстве случаев нестационарное заводнение применяют совместно с работами по выравниванию профиля приемистости и обработкой призабойной зоны пласта. Это приводит к сложности оценки эффекта от нестационарного заводнения в «чистом» виде. С целью оценки эффективности нестационарного заводнения для конкретных геолого-физических условий была построена гидродинамическая универсальная модель верхнеюрского коллектора в программном комплексе «Tempest More». Рассмотрены коллекторы с различным распределением проницаемости: однородный, послойно-неоднородный, стохастически неоднородный. По результатам расчетов нестационарное заводнение для данных геолого-физических условий не приводит к увеличению нефтеотдачи.

Ключевые слова: нестационарное заводнение, циклическое заводнение, трудноизвлекаемые запасы, гидродинамическое моделирование

ANALYSIS OF EFFICIENCY NON-STATIONARY WATER FLOODING AS A HYDRODYNAMIC ENHANCED OIL RECOVERY METHODS IN WESTERN SIBERIA

Romanova M.Y., Sintsov I.A.

Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen State Oil and Gas University»,
Tyumen, e-mail: ivan_sintsov@mail.ru

In this paper the effectiveness analysis of applying non-stationary water flooding method is described. At the first stage of research was determined that this method is characterized by low increasing of oil production in Western Siberia fields. In most cases non-stationary water flooding is applied jointly with injection of gel forming composition and acid treatment. For this reasons the «clean» effect of the non-stationary water flooding is difficult estimated. Then the sector multi-operated model was created for Upper Jurassic reservoirs in simulation software «Tempest More». The objective of simulation is performance evaluation of non-stationary water flooding for specific geological and physical conditions. The reservoirs with various allocation of permeability were examined: homogeneous, non-homogeneous, stochastic non-homogeneous. The calculations are showed that non-stationary water flooding for these geological and physical conditions didn't lead to increase of oil production.

Keywords: non-stationary water flooding, cyclic water flooding, hard-to-recover reserves, hydrodynamic simulation

В нашей стране около 90% нефтяных месторождений разрабатываются путем заводнения. Для условий, когда коллекторы характеризуются высокой неоднородностью пласта, повышенной вязкостью нефти, низкой проницаемостью, обычное заводнение становится малоэффективным. В таких случаях для увеличения охвата пласта заводнением применяют гидродинамические методы повышения нефтеотдачи пластов. Одним из наиболее доступных является нестационарное (циклическое) заводнение [2].

Для месторождений Западной Сибири данный метод характеризуется невысокой дополнительной добычей. В большинстве случаев нестационарное заводнение применяют совместно с работами по выравниванию профиля приемистости за счет закачки гелеобразующих составов, а также обработкой призабойной зоны пласта кислотными

составами. В связи с этим оценить дополнительную добычу от циклического заводнения в «чистом» виде на основе фактических данных месторождений довольно сложно.

Для оценки эффективности нестационарного заводнения без дополнительных воздействий была построена универсальная гидродинамическая модель верхнеюрского коллектора в программном комплексе «Tempest More 7.0». Параметры универсальной модели были заданы на основании статистического анализа верхнеюрских отложений по 25 месторождениям, находящимся в пределах Нижневартовского свода [5]. Основные характеристики модели:

- пористость – 0,169 д.ед.;
- проницаемость – $25,5 \cdot 10^{-3}$ мкм²;
- эффективная толщина – 8,5 м;
- размер модели – 5000×5000 м;
- количество добывающих скважин – 36;

- количество нагнетательных скважин – 25;
- расстояние между скважинами – 500 м;
- начальное пластовое давление – 26 МПа;
- давление насыщения – 11 МПа;
- начальная нефтенасыщенность – 0,63;
- коэффициент вытеснения – 0,57;
- расчетный период – 15 лет.

С использованием реальных статистических данных были заданы фазовые проницаемости и кривые капиллярного давления [4].

Для проведения гидродинамических расчетов были рассмотрены три модели с различным распределением проницаемости: однородный, послойно-неоднородный и стохастически неоднородный.

На начальном этапе был рассмотрен полностью однородный коллектор, вертикальная и горизонтальная проницаемость пропластков составила $25,5 \cdot 10^{-3}$ и $5 \cdot 10^{-3}$ мкм² соответственно. При этом, согласно универсальной модели, было выделено два пропластка, характеризующие глинистые отложения, с очень низкой проницаемостью (вертикальная – 1 мкм², горизонтальная 0,01 мкм²). Таким образом, толщина нефтенасыщенного пласта составила 8,5 м. Начальная водонасыщенность для проницаемых пропластков составила 37%.

В послойно-неоднородной модели проницаемость для каждого слоя задана различной, при этом слои с большей и меньшей проницаемостью сгруппированы по трем пропласткам, а распределение по слоям произведено по методу Гаусса. Распределение по пропласткам следующее: в первом пропластке проницаемость слоев изменяется от 7 до $13 \cdot 10^{-3}$ мкм², во втором пропластке – от 21,5 до $26,5 \cdot 10^{-3}$ мкм², в третьем пропластке – от 29,5 до $47 \cdot 10^{-3}$ мкм². Такое распределение позволяет увеличить степень неоднородности пласта. Как отмечено в работе [6], циклическое заводнение тем эффективнее, чем неоднороднее пласт.

Параметры стохастически неоднородного коллектора были заданы аналогично послойно-неоднородной модели. Для увеличения зональной неоднородности был использован коэффициент Дикстра – Парсонса, который распределяет проницаемость в пределах каждого слоя стохастическим образом. Для данной модели коэффициент равен 0,15.

Нестационарное заводнение носит циклический характер, при этом полный цикл для одной скважины – это суммарное время работы и остановки скважины. Одним из главных параметров метода циклического заводнения является время периода полуцикла закачки, которое определяется аналитически по следующей формуле [1]:

$$t = \frac{L^2}{2\chi},$$

где L – расстояние между нагнетательной и добывающей скважинами, м; χ – коэффициент пьезопроводности, м²/с.

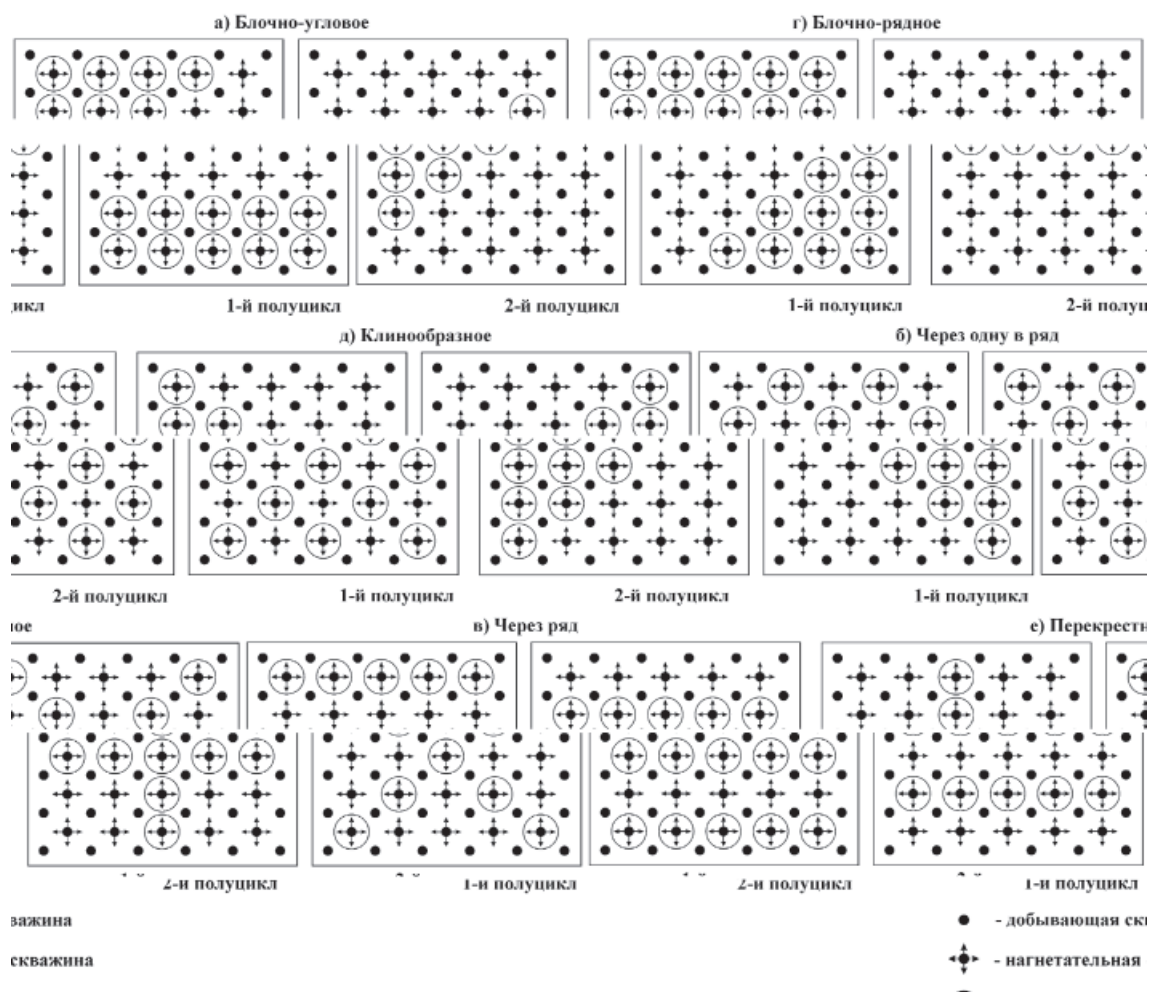
Считается, что в период первого полуцикла нагнетаемая вода входит в поры низкопроницаемых пропластков. Во втором полуцикле, при снижении давления, вода удерживается за счет капиллярных сил, а нефть вытесняется [1].

Для данных геолого-физических условий период полуцикла рассчитывался при обводненности 90%, поскольку в большинстве случаев на реальных месторождениях данный метод применяют при высокой обводненности на последней стадии разработки. Для расчетов была выбрана площадная пятиточечная система разработки. Сетка скважин – 500 на 500 м, время периода полуцикла составило 7 суток.

Циклическое заводнение тесно связано с переменной направления фильтрационных потоков. В связи с этим были рассмотрены как классические варианты применения технологии нестационарного заводнения (через одну в ряд, через ряд, блочно-угловое), так и предложены новые схемы, основанные на особенностях геолого-физических свойств коллектора, а также условиях проведения данного метода (блочно-рядное, перекрестное, параллельное, прямоугольное, квадратно-перекрестное, клинообразное, треугольно-перекрестное) [3]. Таким образом, для каждой модели было рассмотрено 15 вариантов различных видов циклического заводнения (рисунок).

Поскольку основным условием начала применения нестационарного заводнения являлось достижение обводненности 90%, то периоды работы и остановки скважин приходится на седьмой год расчетного периода. Длительность проведения также максимально приближена к реальным примерам месторождений Западной Сибири и составляет пять месяцев, поскольку данные работы проводятся преимущественно в теплое время года (с мая по сентябрь). В таблице приведены результаты расчетов накопленной добычи нефти по варианту с постоянной закачкой (базовый) и вариантам с нестационарным заводнением.

Как видно из таблицы, разница добычи нефти по вариантам для каждой модели (однородной, послойно-неоднородной, стохастически неоднородной) незначительна. Как и ожидалось, в целом для неоднородных коллекторов накопленная добыча нефти ниже. Однако необходимо отметить тот факт, что ни в одном из вариантов с нестационарным заводнением накопленная добыча нефти не превысила базовое значение.



Виды нестационарного заводнения

Результаты гидродинамических расчетов

Вариант	Накопленная добыча нефти, тыс.м ³		
	Однородная модель	Послойно-неоднородная модель	Стохастически неоднородная модель
Базовый	2170,15	2062,98	2068,97
Через одну в ряд	2168,99	2062,04	2067,96
Через ряд	2168,88	2061,97	2067,88
Блочно-угловое	2168,91	2061,87	2067,80
Блочно-рядное (а)	2169,32	2062,37	2068,29
Блочно-рядное (б)	2168,42	2061,32	2067,22
Перекрестное (а)	2167,94	2061,00	2066,88
Перекрестное (б)	2169,56	2062,46	2068,42
Параллельное (а)	2168,37	2061,33	2067,30
Параллельное (б)	2169,04	2062,19	2068,11
Прямоугольное	2169,04	2061,99	2067,93
Квадратно-перекрестное (а)	2168,96	2061,90	2067,84
Квадратно-перекрестное (б)	2167,95	2060,87	2066,79
Клинообразное	2169,53	2062,39	2068,30
Треугольно-перекрестное	2168,92	2061,92	2067,86

Если же сравнивать варианты нестационарного заводнения между собой, то наилучшими показателями характеризуются блочно-рядное, перекрестное и клинообразное.

Нестационарное заводнение является одним из наиболее распространенных методов увеличения нефтеотдачи в нашей стране, однако результаты расчетов показывают, что такой метод может привести и к снижению нефтеотдачи, если дополнительно не проводятся мероприятия по выравниванию профиля приемистости в нагнетательных скважинах. В дальнейшем на основе анализа фактических данных месторождений и с применением гидродинамических моделей реальных месторождений планируется дать более детальный ответ на вопрос об эффективности данного метода увеличения нефтеотдачи.

Выводы

1. Нестационарное заводнение как метод увеличения нефтеотдачи характеризуется низкой дополнительной добычей, при этом проводится в комплексе с мероприятиями по выравниванию профиля приемистости, что не всегда позволяет правильно оценить эффект непосредственно от самого МУН.

2. Проведены гидродинамические расчеты с использованием трех моделей (однородной, послойно-неоднородной, стохастически неоднородной), которые показали, что нестационарное заводнение для данных геолого-физических условий не приводит к увеличению нефтеотдачи.

3. Наиболее эффективные варианты нестационарного заводнения – блочно-рядное, перекрестное и клинообразное.

Список литературы

1. Ибрагимов Н.Г., Хисамутдинов Н.И., Тазиев М.З., Жеребцов Ю.Е., Буторин О.И., Владимиров И.В. Современное состояние технологий нестационарного (циклического) заводнения продуктивных пластов и задачи их совершенствования. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000. – 122 с.
2. Крянев Д.Ю. Нестационарное заводнение. Методика критериальной оценки выбора участков воздействия. – М.: ОАО «Всерос. нефтегаз. науч.-исслед. ин-т», 2008. – 208 с.
3. Романова М.Ю., Синцов И.А. Оценка эффективности применения нестационарного заводнения для месторождений Западной Сибири // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: сборник научных трудов IX Международной научно-технической конференции студенческого отделения общества инженеров-нефтяников-Society of Petroleum Engineers (SPE). – Тюмень, 2015. – С. 75–77.
4. Синцов И.А., Евдокимова А.С., Ковалев И.А. Анализ влияния интенсивности систем заводнения на нефтеотдачу

верхнюрских коллекторов // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 11. – С. 60–63.

5. Синцов И.А., Александров А.А., Ковалев И.А. Сравнение эффективности применения гидроразрыва пласта и бурения горизонтальных скважин для условий верхнюрских пластов Нижнеуртовского свода // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 4. – С. 41–44.

6. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. – М.: Недра, 1985. – 308 с.

References

1. Ibragimov N.G., Hisamutdinov N.I., Taziev M.Z., Zherbcov Ju.E., Butorin O.I., Vladimirov I.V. Современное состояние технологий нестационарного (циклического) заводнения продуктивных пластов и задачи их совершенствования (The current state of non-stationary (cyclic) water flooding technology of productive layers and tasks of their improvement). Moscow: JSC «VNIIOENG», 2000. 122 p.
2. Krjanev D.Ju. Nestacionarnoe zavodnenie. Metodika kriterialnoj ocenki vybora uchastkov vozdejstviya (Non-stationary water flooding. Methods of site selection criteria influence estimation). Moscow: JSC « All-Russia Oil and Gas Research Institute », 2008. 208 p.
3. Romanova M.Ju., Sintsov I.A. Ocenka jeffektivnosti primeneniya nestacionarnogo zavpdnenija dlja mestorozhdenij Zapadnoj Sibiri // *Innovacionnye tehnologii v neftegazovoj otrastli: Sbornik nauchnyh trudov IX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studencheskogo otdelenija obshhestva inzhenerov-neftjanikov-Society of Petroleum Engineers (SPE)*. (Innovative technologies in the oil and gas industry: Collection of the IX International Scientific Conference studies of the Society of Petroleum Engineers (SPE) student branch). Tyumen, 2015. pp. 75–77.
4. Sintsov I.A., Evdokimova A.S., Kovalev I.A. Analiz vlijaniya intensivnosti sistem zavodnenija na nefteotdachu verhnjurskih kollektorov (Analysis of the intensity waterflood influence on oil recovery upper Jurassic reservoir) // *Oil and Gas territory*. 2014. no. 11. pp. 60–63.
5. Sintsov I.A., Aleksandrov A.A., Kovalev I.A. Sravnenie jeffektivnosti primeneniya gidrorazryva plasta i bureniya gorizontalnyh skvazhin dlja uslovij verhnjurskih plastov Nizhneurtovskogo svoda (Comparison of efficiency of applying hydraulic fracturing and drilling of the horizontal wells for the conditions of the Upper-Jurassic formations of the Nizhneurtovsk type) // *Oil field business*. 2014. no. 4. pp. 41–44.
6. Surguchev M.L. Vtorichnye i tretichnye metody uvelichenija nefteotdachi plastov (Secondary and tertiary methods of enhanced oil recovery). Moscow: Nedra, 1985. 308 p.

Рецензенты:

Грачев С.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Институт геологии и нефтегазодобычи, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Сохошко С.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Моделирование и управление процессами нефтегазодобычи», Институт геологии и нефтегазодобычи, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.