

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

PETROLEUM ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT

Научная статья
УДК 622.276
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-27-32>
EDN KOXBTF

Вероятностная оценка эффективности применения метода циклического заводнения нефтяных пластов

*Елена Валерьевна Егорова¹, Олеся Александровна Смолянская²✉,
Надежда Алексеевна Пименова³, Алексей Анатольевич Смолянский⁴*

*¹⁻³ Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия*

*²⁻⁴ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»,
Волгоград, Россия, olesya.smolyanskaya@lukoil.com ✉*

Аннотация. Добыча трудноизвлекаемых углеводородов становится актуальной задачей для всего мирового нефтяного сообщества. Разработка новых технологий и методов, а также совершенствование существующих, стали основными вопросами в извлечении углеводородов на действующих месторождениях. Целью работы являлось развитие технологии гидродинамического воздействия на залежь углеводородов. Процесс заводнения нефтяных пластов – один из наиболее широко распространенных и традиционных в применении добычи трудноизвлекаемой нефти. Особенно эффективным в плане воздействия является циклический режим заводнения нефтяных пластов – периодическое изменение расходов жидкости на нагнетательных и эксплуатационных скважинах со сдвигом фаз колебаний по отдельным группам скважин. Применение циклического заводнения в сочетании с повышением среднего уровня давлений нагнетания может дать существенное увеличение коэффициента охвата пласта по мощности. Существенное влияние на эффективность циклического заводнения оказывает степень гидродинамической связности пластов по разрезу. Коэффициент литологической связности пластов определяется отношением площади слияния коллекторов к общей площади залежи и может характеризовать гидродинамическую связность пластов по разрезу. На примере ДЗ месторождения Короткого проведены оценка запуска скважин системы ППД и анализ характера влияния ее на объем и обводненность добываемой продукции пласта ДЗ месторождения Короткого при различных режимах закачки с применением циклического заводнения. Определено, что при остановке обеих нагнетательных скважин на длительный период дебит добываемой продукции снижается до 25 %. Анализ суммарного дебита нефти показал, что в вариантах с остановками скважин ППД наблюдается более сильное снижение дебита нефти, чем в вариантах с циклической закачкой, в вариантах с циклической работой системы ППД на определенный срок достигаются наибольшие показатели накопленной добычи нефти.

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы нефти, система поддержания пластового давления, система заводнения, гидродинамическое воздействие на пласт, циклическое воздействие на пласт, циклическое заводнение

Для цитирования: *Егорова Е. В., Смолянская О. А., Пименова Н. А., Смолянский А. А. Вероятностная оценка эффективности применения метода циклического заводнения нефтяных пластов // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 3. С. 27–32. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-27-32>. EDN KOXBTF.*

Probabilistic assessment of the effectiveness of the application of cyclic flooding of oil reservoirs method

Elena V. Egorova¹, Olesya A. Smolyanskaya^{2✉},
Nadejda A. Pimenova³, Alexei A. Smolyansky⁴

¹⁻³Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia

²⁻⁴LUKOIL-Engineering, LLC,
Volgograd, Russia, olesya.smolyanskaya@lukoil.com✉

Abstract. Extraction of hard-to-recover hydrocarbons is becoming an urgent task for the entire world oil community. The development of new technologies and methods, as well as the improvement of existing ones, have become the main issue in the extraction of hydrocarbons at existing fields. The aim of the work was to develop the technology of hydrodynamic impact on the hydrocarbon deposit. The process of oil reservoirs flooding is one of the most widespread and traditional in the application of extraction of hard-to-recover oil. The most effective in terms of impact is the cyclic regime of flooding of oil reservoirs – periodic changes in fluid flow rates at injection and production wells with a phase shift of oscillations for individual groups of wells. The use of cyclic flooding in combination with an increase in the average level of injection pressures can give a significant increase in the coefficient of reservoir coverage in power. The degree of hydrodynamic connectivity of the layers along the section has a significant impact on the effectiveness of cyclic flooding. The coefficient of lithological connectivity of formations is determined by the ratio of the area of the reservoir confluence to the total area of the deposit and can characterize the hydrodynamic connectivity of formations along the section. Using the example of the D3 of the Korotkoye field, an assessment of the start-up of the wells of the PPD system was done as well as the analysis of the nature of its influence on the volume and water content of the extracted products of the D3 formation of the Korotkoye field under various injection modes using cyclic flooding. It is determined that when both injection wells are stopped for a long period, the output of the produced products decreases to 25%. The analysis of the total oil flow rate showed that in the variants with well shutdowns there is a stronger decrease in oil flow rate than in the variants with cyclic injection, in the variants with cyclic operation of the PPD system the highest indicators of accumulated oil production are achieved for a certain period.

Keywords: hard-to-recover oil reserves, reservoir pressure maintenance system, flooding system, hydrodynamic stimulation, cyclic reservoir stimulation, cyclic flooding

For citation: Egorova E. V., Smolyanskaya O. A., Pimenova N. A., Smolyansky A. A. Probabilistic assessment of the effectiveness of the application of cyclic flooding of oil reservoirs method. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;3:27-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-27-32>. EDN KOXBTF.

Введение

Постоянное увеличение доли трудноизвлекаемых запасов делает необходимым создание новых технологий и методических подходов, а также совершенствование уже имеющихся методов повышения нефтеотдачи, их адаптация к конкретному состоянию разработки. В значительной степени это обуславливается отсутствием или недостатком технологий для целого ряда существующих категорий трудноизвлекаемых запасов. Поэтому с использованием современных методов исследования необходимо усовершенствовать подходы к обоснованию выбора участков на эксплуатационных объектах для успешного применения технологий, относящихся к гидродинамическим методам увеличения нефтеотдачи [1].

Целью работы является анализ эффективности циклического воздействия на залежах пласта, перспективных методов увеличения нефтеотдачи на современном этапе разработки нефтяных месторождений, один из часто применяемых является гидродинамический метод воздействия на залежь.

Анализ технологии заводнения нефтяных залежей

Метод разработки месторождений с применением заводнения известен высокой эффективностью и позволяет достигать нефтеотдачу в порядке 40–50 %. Однако нефтеотдача в полноте охвата пластов заводнением резко снижается при условиях степени неоднородности пластов. В сильно неоднородных пластах малопроницаемые нефтяные ценные участки прослои могут оставаться не охваченными заводнением, что ведет к снижению коэффициентов охвата в конечной нефтеотдаче. Одним из эффективных способов увеличения коэффициента охвата является метод циклического заводнения с переменной направленности фильтрационных потоков в пласте и применением оптимальных давлений нагнетания.

В изученных методах специального воздействия на нефтяной пласт с целью увеличения нефтеотдачи принято делить на: тепловые, физико-химические и гидродинамические. Первые две группы связаны с регулированием подвижности

вязкоупругих свойств, третья группа относится к оптимизации режимов заводнения.

При изучении соответствующей литературы сделаны выводы, что при усовершенствовании процесса заводнения нефтяных залежей весьма эффективным в этом плане представляется циклический режим – периодическое (с периодом порядка времени распространения волны пьезопроводности вдоль пласта) изменение расходов (давлений) жидкости на нагнетательных и эксплуатационных скважинах со сдвигом фаз колебаний по отдельным группам скважин. Очевидно, что применение циклического заводнения в сочетании с повышением среднего уровня давлений нагнетания может дать существенное увеличение коэффициента охвата пласта по мощности.

Лабораторными экспериментами доказано, что применение метода циклического заводнения на крупных нефтяных месторождениях связано с необходимостью создания волн давления, распространяющихся по рядам или специально выбранным группам нагнетательных и эксплуатационных скважин. С циклическими изменениями величин пластовых давлений происходит также циклические перемены направлений фильтрационных потоков.

Техническое обеспечение метода циклического заводнения

Осуществление процесса циклического заводнения предлагается проводить при сохранении средних объемов закачки и отбора жидкости такими же, как при обычном заводнении. Все это означает, что система водоснабжения, подводящая воду к кустовым насосным станциям, остается без изменения. Проведение циклического заводнения на нефтяных месторождениях создает дополнительные нагрузки в системе поддержания пластового давления. Периодическое увеличение объемов закачки, а, следовательно, и приемистости нагнетательных скважин, требует более высоких давлений нагнетания, чем при обычном заводнении [2].

Одним из основных сооружений в комплексе являются кустовые насосные станции (КНС) и водонапорные разводящие водоводы, идущие от КНС к нагнетательным скважинам. Назначение КНС – закачка в продуктивные пласты воды для поддержания пластового давления. Циклическое заводнение предусматривает создание периодических колебаний давления и скорости жидкости в пластах, путем изменения объемов закачки. Исходя из этого, расчет необходимого для проведения циклического заводнения оборудования должен учитывать колебания, создаваемые в системе поддержания пластового давления (ППД).

Опыт работы по применению циклического заводнения

Как было указано выше, циклическое воздействие на залежь заключается в периодическом по-

вышении и снижении давления нагнетания. Возможны некоторые вариации в реализации метода: периоды повышения и понижения могут следовать непосредственно друг за другом или с некоторой остановкой (прекращением) закачки. Но и в том, и в другом случае период снижения пластового давления характеризуется интенсивным перераспределением жидкостей за счет капиллярной пропитки, в результате чего водонасыщенность коллектора заметно уменьшается.

Существенное влияние на эффективность циклического заводнения оказывает степень гидродинамической связности пластов по разрезу. Коэффициент литологической связности пластов определяется отношением площади слияния коллекторов к общей площади залежи и может характеризовать гидродинамическую связанность пластов по разрезу [3].

На примере ДЗ месторождения Короткого, была проведена оценка запуска скважины № 100, в рамках выполнения текущего этапа работ осуществлен анализ характера влияния системы ППД на объем и обводненность добываемой продукции пласта ДЗ месторождения Короткого при различных режимах закачки. В ходе работ рассмотрены нагнетательные скважины № 100 и 800. Стоит отметить, что на момент расчета скважина № 100 была остановлена. Для проведения расчетов использовано геолого-гидродинамическое моделирование (ГГДМ) пласта ДЗ месторождения Короткого, актуальное на июнь 2011 г. На рис. 1 представлена визуализация модели.

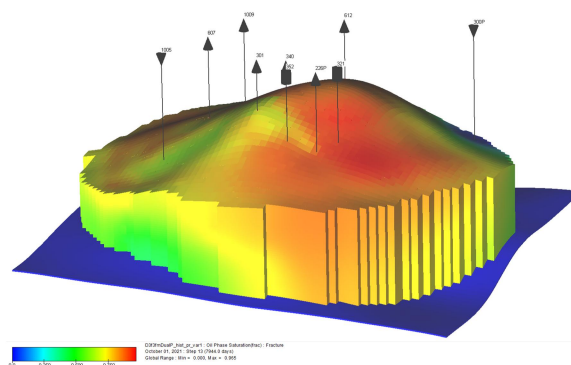


Рис. 1. ГГДМ пласта ДЗ месторождения Короткого (куб текущей нефтенасыщенности)

Fig. 1. GGDM of the DZ formation of the Short field (cube of current oil saturation)

Прогнозные расчеты проводились с фиксированными дебитами и ограничением по забойному давлению на срок в 6 лет. По причине отсутствия адаптации модели имеются расхождения по показателям обводненности, забойного и пластового давлений, расхождений по дебиту жидкости не выявлено. Сравнение фактических параметров работы скважин и результаты расчета на ГГДМ представлены в таблице.

Сравнение текущих режимных параметров работы скважин
 и результаты расчета ГГДМ после внесения исторических данных

Comparison of the current operating parameters of wells
 and the results of calculating the GGDM after entering historical data

№ скважины	$W_{ГГДМ}$, %	$W_{ТР}$, %	Δ , %	$P_{пл.ГГДМ}$, бар	$P_{пл.исслед}$, бар	Δ , %	$P_{заб.ГГДМ}$, бар	$P_{заб.ТР}$, бар	Δ , %
101	80	82	-4,20	96	211,7	46	81,9	123,0	33
140	103	93	-2,30	120	225,6	17	52,86	143,5	63
420	90	99	510,0	160	220,0	15	161,0	208,6	23
900	72	80	3,00	123	216,3	37	70,1	192,2	64
700	93	79	-2,00	178	202,7	11	135,8	173,7	22
720	120	90	-7,30	201	217,2	14	175,6	184,6	5

По результатам расчета сделан вывод, что остановки нагнетательных скважин и сокращения объема закачиваемой жидкости существенно влияют на прогнозный дебит добывающих скважин. Дебит жидкости сохраняется на текущем уровне только при работе обеих нагнетательных скважин. В случае их остановки на длительный период дебит добываемой продукции снижается до 25 % (в зависимости от варианта) от фактического режима работы.

Кроме этого, определено, что обводненность сильно зависит от объема закачиваемой жидкости. По вариантам без остановок нагнетательных скважин наблюдается рост обводненности по пласту до 7–8 % за 5 лет, тогда как при отключении системы ППД наблюдается снижение обводненности.

Анализ определения оптимального режима ППД на объекте ДЗ

В ходе работ определено:

1) при остановке обеих нагнетательных скважин на длительный период дебит добываемой продукции снижается до 25 %. Дебит жидкости сохраняется на текущем уровне только при работе обеих нагнетательных скважин;

2) по вариантам без остановок нагнетательных скважин наблюдается рост обводненности по пласту до 5–6 % за 6 лет, тогда как при отключении системы ППД наблюдается снижение обводненности;

3) анализ суммарного дебита нефти показал, что в вариантах с остановками скважин ППД наблюдается более сильное снижение дебита нефти, чем в вариантах с циклической закачкой;

4) в вариантах с циклической работой системы ППД – поочередным запуском и остановкой скважин № 900 и 100 на определенный срок достигаются наибольшие показатели накопленной добычи нефти (рис. 2).

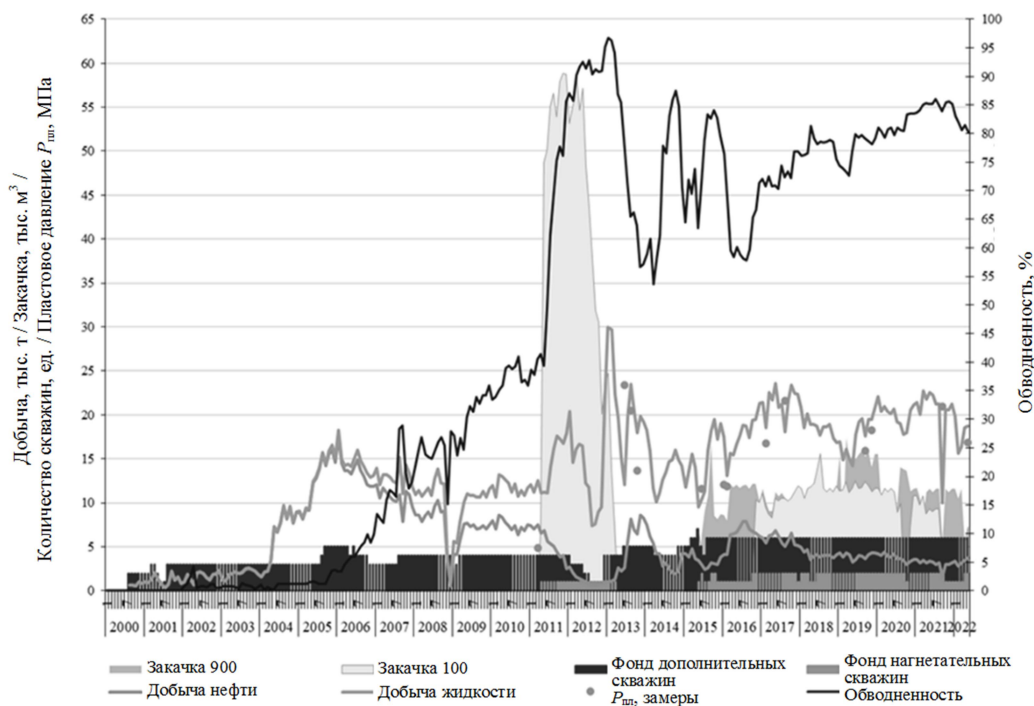


Рис. 2. Динамика технологических показателей скважин месторождения Короткого

Fig. 2. Dynamics of technological indicators of wells of the Short field

Наблюдается прирост нефти от остановки нагнетательной скважины № 100, но при этом пластовое давление $P_{пл}$ за полгода снизилось с 18 до 14 МПа.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что метод циклического заводнения при перемене направлений фильтрационных потоков и оптимальных средних давлениях нагнетания может быть повсеместно внедрен. Проекты и технологические схемы разработки нефтяных месторождений обычного типа должны включать в себя как неотъемлемую часть варианты с использованием циклического заводнения.

Сохранение среднего уровня закачки как в соответствующем процессе стационарного заводнения может быть положено в основу проектирования заводнения с циклическим воздействием.

Простота осуществления метода циклического воздействия, возможность его реализации часто даже в рамках существующей системы поддержания пластового давления делает метод высокоэффективным экономически. Себестоимость 1 т нефти при циклическом заводнении в общем более низкая, чем при обычном заводнении. Метод циклического воздействия может быть применен на месторождении любого типа [4].

Список источников

1. Сургучев М. Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 1985. 308 с.
2. Атанов Г. А., Вашуркин А. И., Ревенко В. М. Применение осредненных фильтрационных характеристик при прогнозе показателей разработки нефтяных месторождений // Проблемы нефти и газа Тюмени. 1973. № 19. С. 45–49.

3. Ахметов З. М., Шавалиев А. М. Исследование эффективности нестационарного воздействия на нефтяные пласты. М.: ВНИИОЭНГ, 1993. 43 с.
4. Дорошенко А. А. и др. Оценка технологической эффективности нестационарного заводнения с учетом неоднородности нефтяной залежи // Тр. ВНИИ. 1991. Вып. 112. С. 98–105.

References

1. Surguchev M. L. *Vtorichnye i tretichnye metody uvelicheniya nefteotdachi plastov* [Secondary and tertiary methods of increasing oil recovery]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 308 p.
2. Atanov G. A., Vashurkin A. I., Revenko V. M. *Primenenie osrednennykh fil'tratsionnykh kharakteristik pri prognoze pokazatelei razrabotki neftyanykh mestorozhdenii* [Application of averaged filtration characteristics in forecasting oil field development indicators]. *Problemy nefiti i gaza Tiumenti*, 1973, no. 19, pp. 45-49.

3. Akhmetov Z. M., Shavaliev A. M. *Issledovanie effektivnosti nestatsionarnogo vozdeistviia na neftyanye plasty* [Investigation of the effectiveness of non-stationary impact on oil reservoirs]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1993. 43 p.
4. Doroshenko A. A. i dr. *Otsenka tekhnologicheskoi effektivnosti nestatsionarnogo zavodneniia s uchetom neodnorodnosti neftianoi zalezhi* [Evaluation of the technological efficiency of unsteady flooding taking into account the heterogeneity of the oil deposit]. *Trudy VNI*, 1991, Iss. 112, pp. 98-105.

Статья поступила в редакцию 22.05.2023; одобрена после рецензирования 24.07.2023; принята к публикации 12.09.2023
The article is submitted 22.05.2023; approved after reviewing 24.07.2023; accepted for publication 12.09.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Валерьевна Егорова – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; egorova_ev@list.ru

Elena V. Egorova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Oil and Gas Fields Development and Operation; Astrakhan State Technical University; egorova_ev@list.ru

Олеся Александровна Смолянская – магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; инженер 2-й категории отдела гидродинамических и индикаторных исследований скважин; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; olesya.smolyanskaya@lukoil.com

Olesya A. Smolyanskaya – Master's student of the Department of Oil and Gas Wells Development and Operation; Astrakhan State Technical University; engineer of the 2nd category of the Department of Hydrodynamic and Indicator Studies of Wells; LUKOIL-Engineering, LLC; olesya.smolyanskaya@lukoil.com

Надежда Алексеевна Пименова – магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; инженер 2-й категории отдела мониторинга строительства скважин на море и на суше; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; pimenova.n@mail.ru

Алексей Анатольевич Смолянский – ведущий инженер отдела гидродинамических и индикаторных исследований скважин; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; alexey.smolyansky@lukoil.com

Nadezhda A. Pimenova – Master's student of the Department of Oil and Gas Fields Development and Operation; Astrakhan State Technical University; engineer of the 2nd category of the Department of Monitoring the Construction of Wells at Sea and on land; LUKOIL-Engineering, LLC; pimenova.n@mail.ru

Alexey A. Smolyansky – Leading Engineer of the Department of Hydrodynamic and Indicator Studies of Wells; LUKOIL-Engineering, LLC; alexey.smolyansky@lukoil.com

