

УДК 622.276.43

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ

Чикиров Руст.Р., Мамчистова Е.И.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: rrchikirov@gmail.com

Эффективная разработка полезных ископаемых является ключевым направлением развития всех крупных стран мира. Наибольшее внимание уделяется нефтегазовой промышленности, ввиду текущей ценности получаемых продуктов. Выделяются две основных цели в нефтяной области: разработка новых трудноизвлекаемых запасов и довыработка зрелых месторождений. Авторами предлагается рассмотреть проблематику разработки месторождений на 3–4 стадии, когда появляется необходимость применения методов увеличения нефтеотдачи. В целом для выработки продуктивных пластов нефтяных месторождений ключевое значение имеет эффективная организация системы заводнения. Данная область нефтяной отрасли характеризуется высокой изученностью. Однако до сих пор при разработке нефтяных пластов значительная доля остаточных извлекаемых запасов становится неподвижной. Это свидетельствует о низком коэффициенте извлечения, то есть малой доле добываемых запасов относительно общего объема геологических запасов углеводородов. Одним из наиболее распространённых методов повышения нефтеотдачи является проведение циклического заводнения. Стоит отметить, что на текущий момент нет чётких физико-математических универсальных критериев для подбора первоочередных пластов под проведение опытно-промышленных работ в области нестационарного заводнения. Целью данной работы является определение критериев ранжирования месторождений для получения максимального эффекта от реализации нестационарного заводнения с учетом реологических свойств нефти, геологического строения и фильтрационно-емкостных свойств целевого объекта. В ходе работы авторами был создан универсальный инструмент ранжирования месторождений по потенциальной эффективности применения циклического заводнения. Полученный продукт может быть применён повсеместно, как в рамках отечественных месторождений, так и зарубежных.

Ключевые слова: нестационарное заводнение, циклическое заводнение, изменение направления фильтрационных потоков, гидродинамические методы увеличения нефтеотдачи, оптимизация системы ШД

CREATION OF A UNIVERSAL TOOL FOR RANKING FIELDS ON THE POTENTIAL EFFECTIVENESS UNSTEADY WATERFLOODING

Chikirov Rust.R., Mamchistova E.I.

Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: rrchikirov@gmail.com

Efficient mining is a key development direction for all major countries of the World. Most attention is paid to the oil and gas industry, due to the current value of the products. There are two main goals in the oil field: the development of new hard-to-recover reserves and pre-development of Mature fields. The authors propose to consider the problems of field development at the 3-4 stage, when there is a need to use methods of increasing oil recovery. In General, for the development of productive layers of oil fields, the effective organization of the flooding system is of key importance. This area of the oil industry is highly studied. However, until now, during the development of oil reservoirs, a significant proportion of residual recoverable reserves becomes stationary. This indicates a low recovery rate, that is, a small proportion of the extracted reserves relative to the total volume of geological hydrocarbon reserves. One of the most common methods of enhanced oil recovery is cyclic flooding. It should be noted that, at the moment, there are no clear physical and mathematical universal criteria for the selection of priority layers for experimental and industrial work in the field of non-stationary flooding. The purpose of this work is to determine the criteria for ranking fields to obtain the maximum effect from the implementation of non-stationary flooding, taking into account the rheological properties of oil, geological structure and filtration and reservoir properties of the target object. In the course of the work, the authors created a universal tool for ranking deposits according to the potential efficiency of cyclic flooding. The resulting product can be used everywhere, both in domestic and foreign fields.

Keywords: unsteady waterflooding, cyclic waterflooding, a change in fluid flows, fluid-dynamic methods of enhanced oil recovery, optimization of water injection system

На сегодняшний день в России заметное количество нефтяных месторождений находится на последних стадиях разработки; несмотря на практически полную выработку извлекаемых запасов, большая часть объема начальных геологических запасов остается в залежах. Открытие новых месторождений только отчасти компенсирует объемы добываемой нефти, все более актуально

становится применение эффективных методов повышения нефтеотдачи на действующих месторождениях. Одним из методов, используемых для вовлечения остаточных запасов нефти в разработку, получивший широкое применение в России и странах ближнего и дальнего зарубежья, является технология нестационарного заводнения (НЗ) [1]. В рамках данной работы необходи-

мо отметить тождественность понятий нестационарного и циклического заводнений.

Метод НЗ пластов является действенным и недорогостоящим средством увеличения нефтеотдачи пласта, как на ранней, так и на поздней стадии разработки, с возможным применением в различных геологических условиях, в том числе и для месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Эффективность нестационарного заводнения обусловлена проникновением воды в низкопроницаемые элементы пласта за счет увеличения давления нагнетания [2]. При этом при снижении давления нагнетания нефть из низкопроницаемых прослоев перетекает в высокопроницаемую часть коллектора. За счет перераспределения фильтрационных потоков происходит снижение обводненности добываемой продукции и тем самым вовлекаются в разработку остаточные запасы. Преимущество этого метода так же состоит в том, что во время работы добывающих скважин закачка воды в пласт полностью отсутствует, что исключает передачу давления на объект разработки даже через зоны слияния отдельных пластов и пропластков.

Изучение метода циклического заводнения (ЦЗ) идет очень давно как в теории, так и в практике [3], но до сих пор нет унифицированного инструмента для ранжирования пластов при разработке многопластовых месторождений. Для увеличения эффективности проведения циклического заводнения и сокращения трудозатрат на подбор наиболее перспективных объектов, необходимо создание универсальной методики для ранжирования пластов по потенциальной эффективности применения ЦЗ.

Цель исследований: определение ключевых геологических критериев, влияющих на эффективность циклической закачки и создание универсальной методики

для ранжирования пластов с высоким потенциалом применения нестационарного заводнения.

Материалы и методы исследования

Термин нестационарное заводнение в отечественной литературе является общим понятием и подразумевает циклическое заводнение (ЦЗ), суть которого в периодическом изменении режимов нагнетания, вплоть до полной остановки закачки. В рамках настоящей статьи будем понимать тождественность НЗ и ЦЗ.

Развитие метода ЦЗ происходило не только в России, но и за рубежом [4]. Положительные результаты циклического заводнения были получены в США на месторождениях Спраберри и Мартенвил. В Германии циклическая закачка воды осуществлялась на месторождении Райкенхаген. В бывшей Чехословакии на месторождении Грушки-Север также с успехом применялось циклическое заводнение.

В России существует немало месторождений со значительной величиной остаточных извлекаемых запасов, характеризующихся опережающей отбор от НИЗ с обводненностью в 1,5–2 раза. Основной задачей таких месторождений на текущий момент является снижение обводненности добываемой продукции с целью увеличения добычи нефти и сокращения расходов на утилизацию попутной воды. Циклическое заводнение – один из наиболее экономически выгодных методов увеличения нефтеотдачи для таких месторождений [5]. Необходимо понимание рационального выбора объекта с высоким потенциалом для применения НЗ.

На первом этапе работы были сформированы критерии эффективности системы ППД в целом. Критерии выделены на основе работ проделанных ранее и анализе отечественной и зарубежной литературы (табл. 1).

Таблица 1

Формирование критериев ранжирования

Анализируемые критерии	Критерий ранжирования	Диапазон значений				
	Подвижность Kh/μ_n , [мД/(мПа*с)]	< 10	10–20	20–30	30–50	> 50
Расчленённость, [д.ед.]	1–2	2–4	4–7	7–11	> 11	
Неоднородность по проницаемости, [д.ед.]	< 1	1–2,5	2,5–4	4–5,5	> 5,5	
ТИЗ, [тыс. т]	< 50	50–100	100–150	150–200	> 200	
$R_{пл(тек)}/R_{пл(нач)}$ при $R_{пл(тек)} > R_{нас}$, [д.ед.]	< 0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	> 0,8	
Отбор от НИЗ, [%]	< 20	20–40	40–60	60–80	> 80	
Текущая обводненность/Отбор от НИЗ, [д.ед.]	< 0,8	0,8–1	1–1,5	1,5–10	> 10	
Газосодержание, [м ³ /т]	< 30	30–65	65–100	100–150	> 150	
Нефтенасыщенная толщина, [м]	< 1	1–3	3–5	5–7	> 7	

Для сформированных критериев выделены диапазоны значений. Чтобы оценить влияние ключевых критериев ранжирования на общую эффективность применения ЦЗ, были созданы более 4000 синтетических моделей с варьируемыми параметрами (подвижность, неоднородность по проницаемости, расчлененность). Для расчёта влияния всех критериев сформировано и просчитано около 2 млн опытных моделей.

Основной задачей синтетических моделей являлось выявление параметров, имеющих наибольшее влияние на КИН. Создаем и рассчитываем синтетические модели на примере первых трех ключевых критериев с учетом всех диапазонов с расчетом КИНов.

В качестве примера рассмотрим синтетическую двухфазную модель (рис. 1) с неравномерным продвижением фронта вытеснения со значениями анализируемых параметров: подвижность – 15 д.ед.; неоднородность по проницаемости – 3 д.ед.; при фиксированном параметре расчлененность равно 1.

Основной задачей данных расчётов являлось выявление параметров имеющих наибольшее влияние на КИН. Для этого по каждому из варьируемых параметров вычислялся максимальный прирост Δ КИН, то есть разница между КИН с применением ЦЗ и КИНа по базовому варианту. Примеры результатов расчёта приведены в табл. 2.

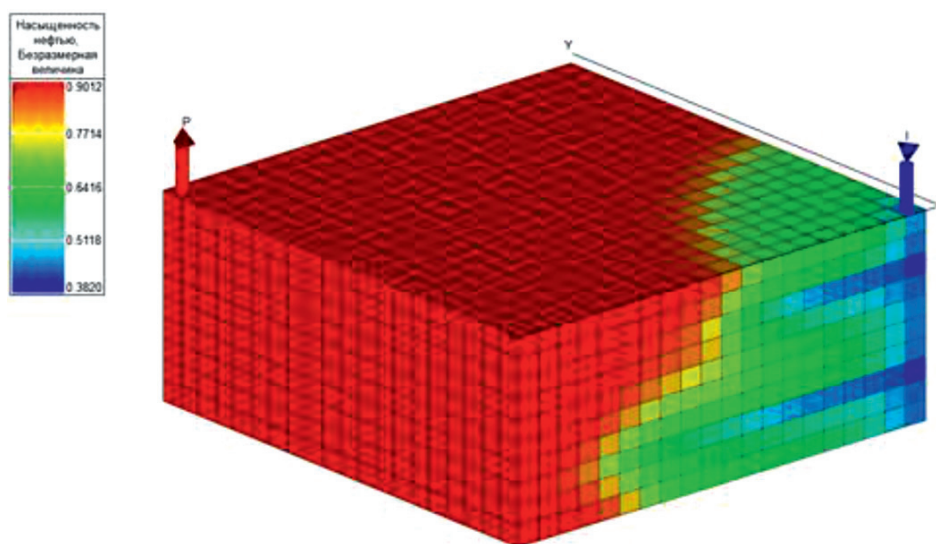


Рис. 1. Синтетическая модель. Фиксированный параметр расчлененность = 1

Таблица 2

Результаты расчётов на синтетических моделях

КИН, д.ед.	неоднородность по проницаемости – 0		неоднородность по проницаемости – 1.5		неоднородность по проницаемости – 3		неоднородность по проницаемости – 5.5	
	Циклика	База	Циклика	База	Циклика	База	Циклика	База
подвижность – 1	0.429	0.429	0.429	0.429	0.412	0.412	0.366	0.366
подвижность – 15	0.520	0.472	0.472	0.453	0.453	0.380	0.380	0.380
подвижность – 25	0.543	0.477	0.477	0.441	0.441	0.366	0.366	0.366
подвижность – 40	0.400	0.400	0.400	0.429	0.429	0.355	0.355	0.355
подвижность – 100	0.400	0.400	0.400	0.350	0.350	0.364	0.364	0.364
подвижность (БАЗА) – 1	0.279	0.291	0.291	0.250	0.250	0.258	0.258	0.258
подвижность (БАЗА) – 15	0.508	0.465	0.465	0.447	0.447	0.379	0.379	0.379
подвижность (БАЗА) – 25	0.517	0.471	0.471	0.456	0.456	0.369	0.369	0.369
подвижность (БАЗА) – 40	0.527	0.478	0.478	0.451	0.451	0.365	0.365	0.365
подвижность (БАЗА) – 100	0.536	0.481	0.481	0.428	0.428	0.364	0.364	0.364

Далее присваиваем вес влияния. Критерию, имеющему максимальный Δ КИН, т.е. оказывающему максимальное влияние, присваивается максимальный вес. Всем остальным параметрам веса присваиваются соразмерно их влиянию по Δ КИНу. Принципиальная схема проведённых расчётов на рис. 2.

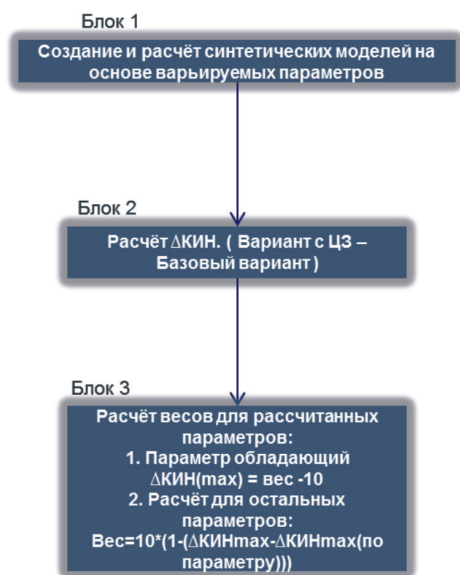


Рис. 2. Схема расстановки весов

Итоговая расстановка весов, согласно результатам синтетического моделирования, представлена на рис. 3. Наибольшее влияние

на эффективность применения циклического заводнения оказывают подвижность системы, неоднородность коллектора по проницаемости и расчленённость пласта.

Анализируемые критерии	10	Подвижность системы Кн/мн, [мД/мПа*с]
	9	Неоднородность по проницаемости, [д. ед]
	8	Расчленённость, [д. ед]
	7	ТИЗ, [тыс. т]
	7	Рпл(тек)/Рпл(нач) при Рпл(тек)>Рнас, [д. ед]
	7	Текущая обводненность / Отбор от НИЗ, [д. ед]
	6	Отбор от НИЗ, [%]
	5	Газосодержание, [м3/т]
	5	Нефтенасыщенная толщина, [м]

Рис. 3. Результирующая таблица весов

Наибольшее влияние на эффективность циклической закачки имеет подвижность. Применение НЗ в системах с подвижностью более 40 д. ед. показало наименьшую эффективность. Изменение анализируемых критериев оказывает значительное влияние на конечную нефтеотдачу пласта. Это позволяет сделать вывод о правильности выбора данных параметров в качестве ключевых, влияющих на эффективность применения ЦЗ.

Результаты апробации инструмента ранжирования

Таблица 3

Месторождение	Объект	Итоговая оценка	Критерии ранжирования								
			Подвижность системы	Неоднородность по проницаемости	Расчленённость	ТИЗ	Рпл.тек./Рпл.нач.	Тек. обв / Отбор от НИЗ	Отбор от НИЗ	Газосодержание	Нефтенасыщенная толщина
Месторождение 1	1	4.4	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 2	2	4.3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 3	3	4.2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 4	4	4.0	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 5	5	3.8	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 6	6	3.6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 7	7	3.5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Месторождение 8	8	1.9	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом выполненных работ стало создание инструмента ранжирования по потенциальной эффективности применения циклического заводнения. Учёт наиболее значимых критериев объекта разработки с учётом весов влияния позволит максимально эффективно определить первоочередные пласты для апробирования циклического заводнения в рамках любых активов углеводородного сырья. Описанный инструмент реализован на основе программы VBA Excel. Вводными данными для начала работы является геолого-физическая характеристика пластов и текущие данные состояния разработки.

Опробование инструмента ранжирования проведено на реальных месторождениях Волго-Уральского региона (табл. 3). В группу с максимальной оценкой попали 4 объекта разработки.

Для наиболее перспективного объекта разработки выполнены технико-экономические расчёты и проведена реализация ЦЗ. Результаты описаны в предыдущей статье авторов «Нестационарное заводнение как один из методов увеличения нефтеотдачи пластов с повышенной вязкостью нефти» [6].

Заключение

Подводя итог проделанной работы, необходимо сделать следующие выводы:

1. Создание полноценного унифицированного инструмента ранжирования позволит наиболее точно и эффективно определять наиболее перспективные объекты разработки для применения циклического заводнения.

2. Апробация инструмента ранжирования позволяет говорить об эффективно-

сти использованных методик при создании продукта. Объект, выбранный посредством проведённых расчётов, характеризуется высокой эффективностью применения ЦЗ.

Список литературы / References

1. Чалов С.В., Поплыгин В.В. О применении циклического заводнения на нефтяном месторождении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. 2010. № 1. С. 4–8.

Chalov S.V., Poplygin V.V. On the application of cyclic flooding in the oil field // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologia, neftegazovoe i gornoe delo. 2010. № 1. P. 4–8 (in Russian).

2. Романова М.Ю., Синцов И.А. Анализ эффективности нестационарного заводнения как гидродинамического метода увеличения нефтеотдачи пластов в Западной Сибири // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–4. С. 735–738.

Romanova M.Iu., Sintsov I.A. Analysis of the efficiency of unsteady flooding as a hydrodynamic method of increasing oil recovery in Western Siberia // Fundamental research. 2015. № 11–4. P. 735–738 (in Russian).

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

Vladimirov I.V. Non-stationary oil production technologies (stages of development, current state and prospects). М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. 216 p. (in Russian).

4. Heriot-Watt Institute of Petroleum Engineering Reservoir engineering. Edinburgh, Heriot-Watt Institute of Petroleum Engineering, 2010. 925 p.

5. Тараканова О.Э., Галиуллин М.М., Дубовецкая Н.В. Нестационарное заводнение как способ повышения эффективности реализованной системы поддержания пластового давления // Нефтяное хозяйство. 2013. № 11. С. 49–53.

Tarakanova O.E., Galiullin M.M., Dubovetskaya N.V. Non-stationary water injection as a way of waterflood system performing // Neftianoe khoziaistvo. 2013. № 11. P. 44–49 (in Russian).

6. Чикиров Русл.Р., Мамчистова Е.И., Чикиров Русл.Р. Нестационарное заводнение как один из методов увеличения нефтеотдачи пластов с повышенной вязкостью нефти // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 191–196.

Chikirov Rust.R., Mamchistova E.I., Chikirov Rusl.R. Unsteady Waterflooding as an EOR Method for High-viscous Oil Reservoirs // Advances in current natural sciences. 2018. № 8. P. 191–196 (in Russian).