ISSN 2712-8008
Том / Volume 25 №4 2025
Домашняя страница журнала: https://ered.pstu.ru/index.php/geo
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.276.43«5»
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2025

Исследование применения гидродинамических технологий воздействия на пласт на разных стадиях разработки нефтяных месторождений

М.Н. Ханипов[1], И.Г. Фаттахов[1], Р.З. Саттаров[1], А.П. Чиркунов[2], М.А. Шарифуллина[1]

[1]Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423462, г. Альметьевск, ул. Советская, 186а)
[2]ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75а)

A Study of the Application of Hydrodynamic Technologies for Influencing the Formation at Different Stages of Oil Field Development

Marat N. Khanipov[1], Irik G. Fattakhov[1], Ravil Z. Sattarov[1], Alexander P. Chirkunov[2], Mariya A. Sharifullina[1]

[1]TatNIPIneft R&D Institute of the PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (186a Sovetskaya st., Almetyevsk, 423462, Russian Federation)
[2]PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (75a Lenina st., Almetyevsk, 423450, Russian Federation)

Получена / Received: 02.06.2025. Принята / Accepted: 31.10.2025. Опубликована / Published: 21.11.2025

Ключевые слова:
нестационарное воздействие, критерии применимости технологии нестационарного воздействия, нестационарная закачка, импульсное воздействие, нестационарный режим дренирования, упругий режим, нестационарный форсированный отбор.

Данная статья посвящена комплексному изучению и обобщению многолетнего опыта применения гидродинамических технологий нестационарного (циклического) воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи на различных стадиях разработки месторождений. В работе проведен обширный литературный обзор, охватывающий фундаментальные и современные научные работы по данной тематике. Проанализированы теоретические основы метода, его эволюция и современное состояние. Особое внимание уделено рассмотрению различных точек зрения на физические механизмы, обеспечивающие повышение нефтеотдачи при циклическом воздействии. Обзор включает критический анализ существующих концепций и противоречий в теоретическом обосновании технологии. Изучен опыт практической реализации этой технологии в разнообразных геолого-физических условиях на месторождениях Республики Татарстан.
Представлен анализ динамики изменения коэффициента нефтеотдачи при переходе от стационарного к нестационарному режиму эксплуатации. Особое внимание уделено методикам расчета продолжительности циклов и оптимальной амплитуды колебаний пластового давления. Рассмотрены технологические аспекты реализации метода, включая риски и возможные осложнения при его применении.
Авторами проведена систематизация факторов на основе выполненного литературного обзора, оказывающих ключевое влияние на успешность применения нестационарного воздействия. На основе анализа значительного массива промысловых данных и результатов промысловых испытаний сформулированы детальные критерии применимости технологии для различных типов коллекторов.
Особую ценность представляет разработанная авторами матрица применимости технологии нестационарного воздействия, которая интегрирует общие параметры выбора объектов (тип коллектора, смачиваемость, гидродинамическая связанность, неоднородность, вязкость нефти) и рекомендованные виды воздействия в зависимости от стадии разработки участка и его ключевых показателей (обводненности, степени выработки запасов).
Приведены примеры успешного внедрения технологии, демонстрирующие прирост коэффициента извлечения нефти на 1,8-10% в зависимости от геолого-физических характеристик объекта. Проанализированы экономические аспекты применения циклического заводнения, показавшие его высокую рентабельность даже на поздних стадиях разработки.
Сделан вывод о высокой эффективности методов нестационарного воздействия для увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН) в условиях слоисто-неоднородных коллекторов, особенно на поздних стадиях эксплуатации, когда традиционные методы заводнения теряют свою эффективность. Разработанные практические рекомендации позволяют оптимизировать применение технологии для конкретных геолого-технологических условий и максимизировать конечную нефтеотдачу пластов.

Keywords:
non-stationary impact, criteria for the applicability of non-stationary impact technology, non-stationary injection, pulsed impact, non-stationary drainage mode, elastic mode, non-stationary forced extraction.

This article presents a comprehensive study and summary of many years of experience in applying hydrodynamic technologies for non-stationary (cyclic) reservoir stimulation to enhance oil recovery at various stages of field development. The paper includes an extensive literature review covering fundamental and modern scientific works on this topic. The theoretical foundations of the method, its evolution, and current status are analyzed. Particular attention is paid to examining various points of view on the physical mechanisms that ensure enhanced oil recovery with cyclic stimulation. The review includes a critical analysis of existing concepts and contradictions in the theoretical justification of the technology. The practical implementation of this technology in a variety of geological and physical conditions at fields in the Republic of Tatarstan is examined.
An analysis of the dynamics of oil recovery coefficient changes during the transition from steady-state to non-stationary operation is presented. Particular attention is paid to methods for calculating cycle duration and the optimal amplitude of reservoir pressure fluctuations. Technological aspects of the method's implementation are considered, including the risks and potential complications associated with its application. The authors systematized the factors that had a key impact on the success of transient stimulation based on a literature review. Based on the analysis of a significant array of field data and field test results, detailed criteria for the applicability of the technology for various reservoir types were formulated.
The authors' transient stimulation technology applicability matrix is of particular value, which integrates general parameters for selecting reservoirs (reservoir type, wettability, hydrodynamic connectivity, heterogeneity, and oil viscosity) and recommended stimulation types depending on the site's development stage and key performance indicators (water cut, reserve depletion rate).
Examples of successful technology implementation are provided, demonstrating an increase in oil recovery of 1.8-10% depending on the geological and physical characteristics of the reservoir. The economic aspects of cyclic flooding are analyzed, demonstrating its high profitability even in the late stages of development. A conclusion has been reached regarding the high efficiency of transient stimulation methods for increasing oil recovery factors in layered, heterogeneous reservoirs, particularly in the late stages of production, when traditional flooding methods become ineffective. The developed practical recommendations enable optimization of the technology's application for specific geological and technological conditions and maximize ultimate oil recovery.

Ханипов Марат Наильевич – заведующий группой, отдел развития информационных технологий и моделирования пластовых систем (e-mail: hanipov@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53255).
Фаттахов Ирик Галиханович – доктор технических наук, доцент, директор по повышению нефтеотдачи пластов, волновым и биотехнологиям (e-mail: fattakhovig@tatneft.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53221).
Саттаров Равиль Зайтунович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, отдел развития информационных технологий и моделирования пластовых систем (e-mail: ravilsat@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53393).
Чиркунов Александр Петрович – заместитель начальника управления разработки месторождений (e-mail: ChirkunovAP@tatneft.ru, тел.: +007 (855) 330 70 34).
Шарифуллина Мария Александровна – заведующий лабораторией, отдел развития информационных технологий и моделирования пластовых систем (e-mail: chernovama@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 331 08 00, доб. 53239).

Marat N. Khanipov (Author ID in Scopus: 48561381500, ORCID: 0009-0001-5905-0972) – Head of the Group in the Department of Information Technology Development and Reservoir Systems Modeling (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: hanipov@tatnipi.ru). The contact person for correspondence
Irik G. Fattakhov (Author ID in Scopus: 48560997700, ORCID: 0000-0002-3086-4323) – Doctor in Engineering, Associate Professor, Director of Enhanced Oil Recovery, Wave and Biotechnology (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: fattakhovig@tatneft.ru)
Ravil Z. Sattarov (Author ID in Scopus: 24765249100, ORCID: 0009-0006-2693-4073) – PhD in Engineering, Head of the Laboratory in the Department of Information Technology Development and Reservoir Systems Modeling (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: ravilsat@tatnipi.ru)
Alexander P. Chirkunov (Author ID in Scopus: 58667385600, ORCID: 0009-0005-3616-3869) – Deputy Head of the Field Development Department (tel.: +7 (855) 330 70 34, e-mail: ChirkunovAP@tatneft.ru)
Mariya A. Sharifullina (Author ID in Scopus: 6506093676, ORCID: 0000-0001-6553-5290) – Head of the Laboratory in the Department of Information Technology Development and Reservoir Systems Modeling (tel.: +7 (855) 331 08 00, e-mail: chernovama@tatnipi.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Исследование применения гидродинамических технологий воздействия на пласт на разных стадиях разработки нефтяных месторождений / М.Н. Ханипов, И.Г. Фаттахов, Р.З. Саттаров, А.П. Чиркунов, М.А. Шарифуллина // Недропользование. – 2025. – Т.25, №4. – С. 364–373. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.10

Please cite this article in English as:
Khanipov M.N., Fattakhov I.G., Sattarov R.Z., Chirkunov A.P., Sharifullina M.A. A Study of the Application of Hydrodynamic Technologies for Influencing the Formation at Different Stages of Oil Field Development. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2025, vol.25, no.4, pp. 364-373. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.10

Введение

Современная нефтедобывающая промышленность сталкивается с рядом вызовов, связанных с увеличением эффективности извлечения нефти из пластов на различных стадиях их разработки. Одним из перспективных методов повышения коэффициента извлечения нефти (КИН) является нестационарное/ циклическое воздействие, которое основывается на создании нестационарных полей пластового давления. Этот метод позволяет активизировать массообменные процессы в неоднородных пластах, что способствует увеличению охвата вытесняемыми агентами.

Нестационарное заводнение, или упругокапиллярный циклический метод заводнения, представляет собой периодическое изменение условий воздействия на неоднородные пласты, в результате которого в продуктивных пластах создается нестационарное распределение пластового давления и возникает неустановившееся движение жидкостей и газа.

Улучшение состояния разработки месторождений за счет периодической эксплуатации скважин и залежей в целом (периодическая остановка скважин для борьбы с конусообразованием, подтягиванием языков воды и газа и т.д.) давно известно в нефтепромысловой практике. Известны случаи увеличения текущей добычи нефти и уменьшения обводненности продукции, когда по случайным причинам (техническим и природно-климатическим) осуществлялись периодические изменения режимов отбора и закачки жидкости.

Нестационарное заводнение начали применять в 1972 г. на Алькеевской и Восточно-Сулеевской площадях Ромашкинского месторождения. В настоящее время промышленное применение этого метода осуществляется практически на всех объектах ПАО «Татнефть», разрабатываемых с поддержанием пластового давления (ППД) заводнением [1].

Предположение об эффективности периодической (циклической) закачки впервые было сформулировано М.Л. Сургучевым в конце 1950-х гг. на основе обобщения и анализа литературы и промыслового материала [2, 3].

Существующее в настоящее время научное обоснование механизма повышения нефтеотдачи при циклическом заводнении пластов заключается в активации массообменных процессов между слоями с различной проницаемостью в слоисто-неоднородных пластах за счет колебания пластового давления по причине периодического отключения части нагнетательных скважин.

Однако в исследованиях А.М. Свалова [4–6] приведены расчеты, показывающие, что перетоки флюида между слоями, вызванные колебаниями пластового давления, в действительности ничтожно малы, поэтому они не могут быть причиной заметного повышения нефтеотдачи пласта. Реальный же механизм повышения нефтеотдачи при циклическом заводнении – изменение направления фильтрационных потоков, которое приводит к перемещению целиков нефти из застойных зон в зоны с более высокими градиентами вытесняющего давления.

Стоит отметить, что практикой доказано снижение эффекта со временем при длительном использовании одной и той же технологии нестационарного заводнения. По этой причине применяемые технологии постоянно совершенствуются и адаптируются к условиям конкретных месторождений и залежей нефти.

Виды технологий нестационарного воздействия

Технологии нестационарного воздействия могут различаться по способам создания нестационарных полей давления и промышленным способам реализации. В работе О.Э. Цынковой [7] выделены следующие основные виды нестационарного воздействия:

1. Отключение высокообводненных скважин или снижение отборов жидкости из них.
2. Форсированный отбор жидкости.
3. Попеременное форсирование закачки для повышения градиента давления в направлениях локализации невытесненной нефти.
4. Снижение скорости фильтрации для интенсификации обмена между слоями в пластах с существенными гравитационными и капиллярными силами. Уменьшение отборов жидкости для недопущения конусообразования.
5. Периодическое снижение или остановка закачки.
6. Снижение пластового давления ниже давления насыщения для разгазирования нефти, оставшейся в обводненном пласте, для уменьшения остаточной нефтенасыщенности при последующем вытеснении газированной смеси водой.
7. Периодическое повышение давления нагнетания выше критического в пластах, где проницаемость зависит от давления.

Перечисленные виды нестационарного воздействия могут использоваться в различных сочетаниях при комплексном нестационарном заводнении, а также дополняться другими физико-химическими методами (потокоотклоняющими технологиями).

В работах [8, 9] представлены этапы развития технологий нестационарного заводнения, которые соответствуют стадиям разработки нефтяных месторождений: циклическое заводнение, импульсные закачка и отбор, стационарная закачка и циклический отбор.

На первой и второй стадиях разработки, когда закачиваемой водой охвачена зона нагнетания и межпластовые перетоки сосредоточены в районе нагнетательных скважин, наиболее эффективно упругокапиллярное циклическое заводнение.

На третьей стадии, для которой характерно увеличение обводненности продукции, увеличение охвата заводнением низкопроницаемых коллекторов и застойных зон осуществляется за счет импульсного воздействия – градиент давления увеличивается вследствие работы добывающих и нагнетательных скважин в противофазе.

С момента начала четвертой стадии, для которой характерны устойчиво низкая добыча и высокая обводненность, увеличение охвата заводнением достигается за счет применения нестационарного режима дренирования (стационарное нагнетание и периодический отбор). На завершающем этапе четвертой стадии разработки наиболее рациональным является переход на режим истощения с периодическим форсированным отбором жидкости.

Анализ применения технологии циклического воздействия на месторождениях

На ряде месторождений России применение технологий нестационарного воздействия дало значительный эффект. Обобщение и анализ опыта промысловых испытаний циклического воздействия представлены в работах [9, 10].

Таблица 1

Геолого-физические характеристики объектов ПАО «Татнефть»

Месторождение, залежь	Объект разработки	Тип коллектора	Средняя нефтенасыщенная толщина, м	Проницаемость, мкм^2	Коэффициент песчанистости	Коэффициент расчлененности	Вязкость пластовой нефти, мПа·с
Азнакаевская площадь	Кыновско-пашийский	Песчаник	10,5	0,488	0,45	1,6	4,4
Карамалинская площадь	Кыновско-пашийский	Песчаник	4,2	0,48	0,446	1,4	4,6
Северо-Альметьевская площадь	Кыновско-пашийский	Песчаник	12	0,43	0,409	4,2	3,8
Алькеевская площадь	Кыновско-пашийский	Песчаник	7,3	0,395	0,318	2,2	3,8
Восточно-Сулеевская площадь	Кыновско-пашийский	Песчаник	8,5	0,344	0,486	3,2	3,5
Бавлинское месторождение	Бобриковский	Песчаник	5,4	0,381	0,44	1,6	10
Залежь 5	Бобриковский	Песчаник	4,4	0,997	0,93	1,2	24,6
Залежь 8	Бобриковский	Песчаник	3,6	1,064	0,88	1,4	28,3
Залежь 12, Ромашкинское месторождение	Бобриковский	Песчаник	4,8	0,969	0,91	1,3	25,8
Залежь 302	Башкирский	Известняк	6,2	0,048	0,25	4,1	44

Таблица 2

Результаты внедрения нестационарного заводнения на объектах ПАО «Татнефть»

Продуктивный объект	Номер участка	КИН, %, при заводнении		Прирост КИН, %
		стационарном	нестационарном	
Ромашкинское месторождение				
Алькеевская площадь		48,9	52,7	3,8
Восточно-Сулеевская площадь		47,8	50,2	2,4
Азнакаевская площадь	1	49,2	54,0	4,8
-″-	2+6	51,6	56,6	5,0
-″-	7+8	50,8	55,9	5,1
-″-	9+10	55,3	60,9	5,6
Карамалинская площадь	2	55,5	59,5	4,0
Северо-Альметьевская площадь	3	46,2	48,0	1,8
Залежь 5		33,9	39,4	5,5
Залежь 8	3	30,2	35,1	4,9
Залежь 12	2	26,6	33,6	7,0
Залежь 302	1	12,6	21,0	8,4
-″-	3	8,8	18,8	10,0
-″-	4	7,5	16,4	8,9
Бавлинское месторождение (бобриковские отложения)	1	53,4	58,4	5,0

В статье [1] описан опыт применения технологии нестационарного заводнения на объектах ПАО «Татнефть»: девонские отложения Азнакаевской, Карамалинской, Северо-Альметьевской, Алькеевской, Восточно-Сулеевской площадей Ромашкинского месторождения, бобриковские отложения Бавлинского месторождения, залежей 5, 8, 12 и отложения башкирского яруса 302 залежи Ромашкинского месторождения. Геолого-физические характеристики объектов приведены в табл. 1. К началу циклической закачки (1970) площади находились на второй стадии разработки, обводненность добываемой продукции в пределах 20–25 %, текущий КИН – 0,19–0,264.

Авторами предложена методика оценки эффективности нестационарного заводнения, связанная с решением обратной задачи разработки нефтяных залежей.

Суть метода состоит в построении графической зависимости $\overline{q_н} = f(\overline{Q_н})$. Показатели $\overline{q_н}$ и $\overline{Q_н}$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\overline{q_н} = \frac{q_н \cdot q_o}{K_э \cdot n_д \cdot n_н \cdot \Delta p},$$

$$\overline{Q_н} = \frac{Q_н}{Q_o},$$

где $q_н$ – годовая добыча нефти; q_o – начальная добыча нефти; $K_э$ – коэффициент эксплуатации скважин; $n_д$, $n_н$ – число, соответственно, добывающих и нагнетательных скважин; Δp – перепад давления между забоями нагнетательных и добывающих скважин; $Q_н$ – накопленная добыча нефти; Q_o – начальные извлекаемые запасы нефти.

Если построить указанную зависимость по фактическим данным разработки эксплуатационного объекта, то при прямолинейном ее характере можно определить потенциальные извлекаемые запасы нефти, а следовательно, и КИН. Для этого нужно экстраполировать прямолинейные участки рассматриваемых зависимостей до пересечения с осью $Q_н$. Таким образом, определяются потенциальные извлекаемые запасы нефти на различные периоды разработки: к моменту начала внедрения нестационарного заводнения и после его проведения.

Прирост КИН по предложенной методике по выбранным участкам составляет 1,8–10 % (табл. 2). Наибольший эффект получен в высоко неоднородных карбонатных коллекторах, насыщенных нефтью средней вязкости (залежь 302).

В статье [11] авторами предложена технология циклического заводнения. Внедрение технологии осуществлено на участке из 21 добывающей и нагнетательной скважины Ташлиярской площади Ромашкинского нефтяного месторождения. Объект разработки – кыновско-пашийский горизонт, тип коллектора – терригенный, тип залежи – пластово-сводовый. Средняя нефтенасыщенная толщина – 5,9 м, коэффициент песчанистости – 0,43, коэффициент расчлененности – 2,4. Время работы каждой добывающей и нагнетательной скважины, участвующей

Таблица 3

Результаты оценки эффективности метода циклической закачки

Параметр	Покровское месторождение	Покровское месторождение	Дмитриевское месторождение
Объект разработки	$А_4$	$Б_2$	$С_{III-IV}$
Стадия разработки	третья	третья	
Тип коллектора	карбонатный (известняки)	терригенный (песчаники с прослоями глин и алевролитов)	
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	6,2	5,9	
Пористость, %	23,6	21	
Проницаемость, мкм^2	0,84	0,98	
Коэффициент песчанистости		0,72	
Коэффициент расчлененности	2,26	2,5	
Вязкость пластовой нефти, мПа·с	1,44	3,3	
Начальное пластовое давление, МПа	11,7	17,6	
Давление насыщения, МПа	6,3	6,3	
Начало эксперимента	1964	1965	1972
Обводненность на начало, %	70	51	
Продолжительность полного цикла, месс.	3	3 - 4	3
Количество циклов	8	3	7,5
Продолжительность закачки/остановки нагнетательных скважин	1,5–2 мес. 1–1,5	1,5–2 1,5–2	1,0 1,0
Амплитуда колебания пластового давления, МПа	2,2–3,5 и 3,5–4,5	3,4–4,2	
Дополнительная добыча, тыс. т	580	1300	126
Прирост КИН, %	2,04	4,46	-

в циклическом отборе и закачке, определяют из отношения средней скорости нарастания обводненности по участку к скорости нарастания обводненности данной скважины или группы скважин. Данный режим работы скважин осуществлялся с 2006 по 2008 г. По результатам внедрения технологии дополнительная добыча нефти за 2008 г. по участку Ташлиярской площади составила 1,19 тыс. т, выручка от реализации нефти – 8,0 млн руб., прибыль от внедрения мероприятия – 4,7 млн руб.

В работе И.М. Бакирова [9] приводится обоснование причин, побудивших к проведению масштабных опытно-промышленных работ по нестационарному заводнению на месторождениях Республики Татарстан и Западной Сибири. Приведен анализ эффективности метода циклической закачки башкирских отложений Покровского (пласты А4, Б2) и Дмитриевского (пласт СIII-IV) месторождений Самарской области. Геолого-физические характеристики, система разработки на начало внедрения технологии, параметры циклического воздействия, а также результаты оценки эффективности метода циклической закачки по объектам представлены в табл. 3.

Сделаны выводы, что методы эффективны как в терригенных, так и в карбонатных коллекторах. Циклический метод заводнения тем эффективнее, чем выше остаточная нефтенасыщенность после обычного заводнения.

Изучению вопроса применимости и эффективности технологии нестационарного воздействия посвящен ряд статей авторов В.Н. Гуляева, И.И. Киприна, Н.П. Захаровой.

В работе [10] В.Н. Гуляевым разработана методика выбора участков, которая включает использование карт распределения комплексного параметра геологической благоприятности для циклического заводнения по площади объекта, расчет и выбор на основе текущего состояния разработки, а также данных четырехслойной модели пласта вариантов и цикличности заводнения и результатов регрессионно-корреляционного анализа для прогноза эффекта от планируемых к применению ГТМ. С использованием этой методики выбраны и рекомендованы для практической реализации циклического воздействия участки на эксплуатационных объектах месторождений ТПП «Лангепаснефтегаз» и «Покачевнефтегаз», где в 2013–2016 гг. получен общий эффект – 101,1 тыс. т нефти, подтвердивший обоснованность ее использования. Разработанная методика рекомендуется к практическому применению для выбора участков с целью применения гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь».

В статье [12] авторами приводится обоснование проведения циклического заводнения с применением четырехслойной геолого-статистической модели пласта. Параметры модели соответствуют параметрам пласта $БВ_3$ Ключевского месторождения. Средняя нефтенасыщенная толщина – 6,2 м, пористость – 22 %. Моделировалось два типа коллектора: с проницаемостью 0,041–0,048 и 0,19–0,196 мкм^2. Обводненность – 72 %. Расчеты параметров, выполненные на основе данных четырехслойной геолого-статистической модели участков, позволяют выбрать какой-либо из двух способов нестационарного воздействия: нестационарное (циклическое) заводнение или метод изменения направления фильтрационных потоков на участке, или исключить его из списка рекомендованных.

Непосредственно выбор скважин на объекте нестационарного воздействия основывается на многофакторном анализе. Это анализ геолого-промысловой информации, включающей геолого-физическую характеристику продуктивных пластов, характеристику фонда скважин, карты текущего состояния разработки объекта, накопленных отборов, изобар, проницаемостей и остаточных запасов, а также данные первичного геофизического каротажа и результаты комплекса геофизических исследований скважин (ГИС). С использованием такого подхода по выбору участков для циклического заводнения на объекте $БВ_3$ Ключевого месторождения в 2014 г. был выбран участок для применения этого метода ПНП. Составлена программа циклического заводнения. В результате реализации адресной программы ГТМ по предложенной для участка циклического заводнения схеме в 2014 г. дополнительно получено 2,4 тыс. т.

Применение циклической закачки воды с периодической эксплуатацией добывающих скважин в противофазе позволяет не только дополнительно добыть нефть, но и сократить добычу попутной воды.

Таблица 4

Геолого-физические характеристики анализируемых объектов (месторождения Западной Сибири)

Месторождение	X1	X2	X3	X4	X5	X6
	ЮВ1	ЮВ1	ЮС1	ЮВ1	ЮС1	ЮС1
Тип залежи	Пласт.-свод. лит. экр.	Стр.-лит., пласт.-свод.	Пласт.-свод.	Лит. экр	Стр.-лит., пласт.-свод.	Стр.-лит., пласт.-свод., тект. экр.
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	3,5	4,0	7,3	6,9	4,3	4,9
Коэффициент нефтенасыщенности пласта, доли ед.	0,53	0,57	0,536	0,51	0,55	0,533
Проницаемость, 10^{-3} мкм^2	39,4	14,0	18,8	25,0	17,0	41,6
Коэффициент песчанистости, доли ед.	0,677	0,59	0,801	0,343	0,56	0,564
Расчлененность	1,9	3,7	1,9	3,3	3,7	4,3
Начальное пластовое давление, МПа	25,9	27,2	28,1	28,9	28,0	28,2
Вязкость нефти в пластовых условиях, МПа·с	1,2	0,75	0,50	0,71	1,027	0,83

Таблица 5

Оценка эффективности нестационарного заводнения

Месторождение	Количество НЗ	Дополнительная добыча нефти, тыс. т		В среднем на одну скважину	Дополнительная добыча жидкости, тыс. т	
		всего	на 1 НЗ		всего	на 1 НЗ
X1	25	32,2	1,329	0,249	-16,1	-0,644
X2	15	9,1	0,605	0,101	-16,4	-1,091
X3	20	48,3	2,415	0,568	-23,5	-1,177
X4	17	11,3	0,667	0,106	-12,2	-0,716
X5	7	3,5	0,503	0,081	-3,8	-0,537
X6	9	12,4	1,376	0,251	-8,8	-0,974
ИТОГ	93	117,8	1,267	0,255	-80,7	-0,868

В работе [13] авторами проанализирована реализация нестационарного заводнения на объекте $АВ_{1-2}$ Урьевского месторождения. Коллектором объекта $АВ_{1-2}$ Урьевского месторождения являются средне-и мелкозернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты. Средняя нефтенасыщенная толщина – 7,9 м, пористость – 22,6 %, проницаемость – 0,148 мкм^2, коэффициент песчанистости – 0,475, коэффициент расчлененности – 3,8. Начальное пластовое давление – 18 МПа, давление насыщения – 7,9 МПа. Нестационарное заводнение применялось на 7 участках в 2013–2014 гг. Полуцикл остановки запуска скважин рассчитан по формуле Сургучева и составил от 40 до 56 сут для разных участков. На выбранных участках получена дополнительная добыча нефти в количестве 27,37 тыс. т. Средняя удельная эффективность – 191 т/скв. на одну скважино-операцию.

В работе Э.М. Велиева [14] на примере эксплуатационных объектов месторождения Кумколь (Казахстан) выполнена разработка программы развития нестационарного заводнения. Продуктивные горизонты меловых и юрских отложений, представленные песчаниками, объединены в четыре объекта разработки: горизонты М1 и М2 (совместно); горизонты Ю1 и Ю2 (совместно); Ю3 и Ю4. Вязкость нефти в пластовых условиях изменяется от 2,9 мПа·с (первый эксплуатационный объект) до 0,9 мПа·с (четвертый эксплуатационный объект). Текущий КИН на момент выполнения анализа (01.11.2014) месторождения Кумколь составил 0,455 доли ед. При этом текущая обводненность в целом по месторождению составляет 97,0 %, а показатель отбора проектных начальных извлекаемых запасов (НИЗ) в среднем не выше 78,6 %.

Автором показано, что нестационарное заводнение является эффективным при любой «стартовой» обводненности. При этом проявляется следующая особенность – эффект от нестационарного заводнения тем меньше, чем выше «стартовая» обводненность. Изменение длительности полуцикла работы/остановки нагнетательных скважин показало, что приращение КИН за счет нестационарного заводнения всегда положительно для любой длительности полуцикла.

В работе К.Ю. Медведева [15] представлена оценка эффективности применения циклического воздействия на Речицком и Вишанском месторождениях Припятского прогиба в Белоруссии. Выполненная оценка показала недостаточную эффективность технологического исполнения данного метода для залежей, приуроченных к низкопроницаемым неоднородным карбонатным коллекторам со значительным количеством органического вещества в породе, находящимся на поздней стадии разработки, что указывает на необходимость совершенствования технологии (длительность полуциклов, объемы нагнетания, объемы отборов, значения текущей компенсации на каждом полуцикле) с целью повышения эффективности циклического воздействия.

В работе [16] выполнена оценка технологической эффективности нестационарного заводнения на примере месторождений Западной Сибири. Геолого-физические характеристики анализируемых терригенных объектов представлены в табл. 4.

Оценка технологической эффективности от применения нестационарного заводнения проводилась путем расчета дополнительной добычи нефти по характеристикам вытеснения [16] (табл. 5).

Как видно из данных табл. 5, применение нестационарного заводнения позволило дополнительно добыть 117,8 тыс. т нефти, что составляет в среднем 1267 т на мероприятие, или 255 т на одну реагирующую добывающую скважину.

Наибольшей величиной дополнительной добычи нефти в среднем на одну реагирующую скважину характеризуются мероприятия по нестационарному заводнению на X3 месторождении. Оценка применения нестационарного заводнения на объекте X3 месторождении за 2014–2016 гг. показывает, что суммарная величина дополнительной добычи от 20 мероприятий составила 48,3 тыс. т – 2,9 % от суммарной добычи нефти объекта за данный период.

Применение нестационарного заводнения в сочетании с адресными обработками нагнетательных скважин потокоотклоняющими составами, направленными на снижение слоистой неоднородности и повышение охвата пласта, позволяет повысить эффективность реализации технологии нестационарного заводнения. Это отмечают авторы в работах [17–20].

Критерии применимости циклического воздействия

В 1978 г. специалистами Всероссийского нефтегазового научно-исследовательского института по результатам обобщения результатов исследований и анализа промыслового опыта разработано руководство по проектированию и применению циклического заводнения [21]. Авторами отмечено, что условия применения на объектах циклического заводнения совпадают с условиями применения обычного заводнения.

Далее приведены основные геологические критерии применимости метода:

1. Толщинная проницаемостная неоднородность пласта. Пласт является хорошим объектом для применения циклического воздействия, если его можно разбить на два (и более) неизолированных пропластка, проницаемости которых отличаются между собой не менее чем в 3–4 раза.

2. Гидродинамическая связанность пропластков. Этот критерий обеспечит переток жидкости между пропластками из-за разности давлений. Связанность должна быть почти полной. В случае снижения ее до величины менее 60–70 % эффективность циклического воздействия резко уменьшится.

3. Трещиноватость пластов (сильная неоднородность по проницаемости). Трещиновато-пористые пласты являются классическим объектом для применения циклического воздействия ввиду хорошей гидродинамической связанности трещин и блоков и существенного объема блоков.

4. Вязкость нефти. Для эффективного применения технологии циклического заводнения, как и в случае стационарного, вязкость пластовой нефти не должна быть слишком большой (в пределах 0,4–25,0 мПа·с).

5. Продолжительность стационарного заводнения, предшествующего циклическому.

Наилучшими объектами для эффективного применения метода являются мощные слоисто-неоднородные пласты с хорошей гидродинамической связью между пропластками, а также трещиновато-пористые коллекторы. Гидрофильность коллекторов также является благоприятным фактором. Газонасыщенные маловязкие нефти больше всего подходят для вытеснения их с помощью циклической закачки.

В настоящее время для ранжирования объектов при оценке возможности применения циклического заводнения ОАО «ВНИИнефть» предложен следующий перечень геологических характеристик [10]:

– песчанистость;
– неоднородность по проницаемости зональная;
– послойная неоднородность проницаемости;
– расчлененность;
– остаточные извлекаемые запасы;
– степень выработки запасов.

Для систематизации указанных параметров при ранжировании объектов предложена форма сводных таблиц и процедуры обработки данных, в результате работы которых для оцениваемых объектов рассчитывается числовая характеристика – степень предпочтительности. Диапазон значений характеристики от 0 до 1, где 1 – это наиболее предпочтительный объект для проведения циклического воздействия. Алгоритм ранжирования объектов представлен на рис. А.1 прил. А [22].

В результате обобщения и анализа результатов испытания метода нестационарного заводнения в работе [23] выделены области параметров пластов и режимов работы скважин, при которых с высокой степенью надежности можно рассчитывать на максимальную эффективность циклического заводнения:

– соотношение средних уровней закачки: 60 % $< \frac{q_{зц}}{q_{зс}} \leq 100$ %;
– время начала циклического заводнения с момента начала стационарного: 10 лет $> t^* \geq 0$;
– толщинная проницаемостная неоднородность: $\nabla > 0{,}5$, где $\nabla = (К_1 - 1)(1 - К_2)$, K_1 и K_2 – безразмерные значения проницаемости высоко- и низкопроницаемого слоя (средняя величина проницаемости слоя относительно средней проницаемости всего пласта));
– начальная нефтенасыщенность: 55 % $\leq \sigma_{нач} <$ 75 %;
– средняя проницаемость пласта: 0,05 мкм^2 $< K_{ср} <$ 0,6 мкм^2.

И.В. Владимиров в своих исследованиях [24] сформулировал основной принцип эффективности нестационарных методов следующим образом: применение технологии нестационарного воздействия эффективнее на тех объектах, для которых выше величина соотношения:

$$k_{эфф} = Q^0_{подв}/Q^0_{извл},$$

где $Q^0_{подв}$ – величина начальных потенциальных подвижных запасов нети объекта разработки; $Q^0_{извл}$ – величина начальных извлекаемых запасов нефти для стационарной системы разработки.

Другими словами, «чем больше величина подвижных запасов нефти, которые не могут быть освоены действующей стационарной системой разработки, тем выше эффект от применения технологии нестационарного заводнения в сочетании с технологиями изменения направления фильтрационных потоков».

В работе [25] коллектив авторов приводит следующие критерии применимости технологии циклического воздействия (применительно к объектам ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»):

– проницаемость коллектора не менее 0,03 мкм^2;
– пористость пластов не менее 12,5 %;
– глинистость пласта не более 5 %;
– вязкость пластовой нефти не более 150 мПа·с;
– нефтенасыщенность не более 60 %.

Эффективность метода повышается с увеличением неоднородности. Технология применима как на ранних, так и на поздних стадиях разработки залежи.

А.Р. Аубакировым [26] представлен алгоритм выбора объектов для применения циклического заводнения, который учитывает сформированную систему критериев применимости метода. Алгоритм может быть использован как для ранжирования объектов, так и для выбора участков конкретного объекта по приоритетности применения циклического заводнения.

Численные исследования проводились с использованием трехмерных гидродинамических моделей элементов симметрии систем размещения скважин Лас-Еганского (пласты АВ2, БВ6), Западно-Шумовского (пласт Бш) и Харьягинского (пласт Т1-I) месторождений.

Для исследования влияния критериев применимости на эффективность циклического заводнения автором предложен следующий набор критериев (табл. 6).

Комплексный критерий применимости циклического заводнения рассчитывается по формуле:

$$F = (F_G \cdot F_T)^{1/2},$$

где F – комплексный критерий применимости циклического заводнения; $F_G = (F_k F_h F_v F_c)1/4$ – обобщенный геолого-физический критерий применимости; $F_T = (F_a F_r)^{1/2}$ – обобщенный промыслово-технологический критерий применимости.

Таблица 6

Рассматриваемые критерии применимости

№ п/п	Наименование критерия	Обозначение
	Геолого-физические критерии	
1	Слоистая неоднородность пласта	
1.1	Соотношение проницаемостей высокопроницаемого и низкопроницаемого гидродинамически связанных коллекторов	F_k
1.2	Соотношение толщин низкопроницаемых и высокопроницаемых гидродинамически связанных коллекторов	F_h
2	Соотношение вязкостей нефти и воды	F_v
3	Сжимаемость пластовой системы	F_c
	Промыслово-технологические критерии	
4	Относительная амплитуда расхода нагнетательных скважин	F_a
5	Выработанность начальных извлекаемых запасов	F_r

Таблица 7

Блок-схема реализации нестационарного заводнения

Этап разработки по обводненности (В)	Разновидность систем заводнения	Вид нестационарного заводнения	МУН и стимулирования скважин
I этап (I и II стадия разработки) $B_i < 0{,}5 \cdot e^{0{,}693B_{ср}}$	Ячеистые, 13-точечные, многорядные	Нестационарная закачка и ее разновидности	А. Изменение свойств пласта; Б. Увеличение нефтеотмывающей способности вытесняющего агента
II этап (III стадия разработки) $B_i \geq 0{,}5 \cdot e^{0{,}693B_{ср}}$	Блочные, 10-точечные, трехрядные, 9-точечные	Импульсное воздействие и его разновидности	Снижение вязкостной неустойчивости вытесняющего агента, ограничение подвижности закачиваемого агента в зонах высокой водонасыщенности
III этап (IV стадия разработки) В $\geq$ 0,7–0,9	7-, 5-точечные однорядные системы	Нестационарный режим дренирования	Тампонирование промытых зон гелями, затем суспензиями
IV этап (IV стадия разработки) В $\geq$ 0,95	То же	Упругий режим и нестационарный форсированный отбор	То же

Критерии применимости F_k, F_h, F_v, F_c, F_a, F_r строятся на основе нормирования рассчитанных зависимостей относительного прироста накопленной добычи нефти от соответствующих параметров (p) по следующей формуле:

$$F_i = \frac{Q(p_i)}{\max(Q(p_i))},$$

где F_i – значение нормализованного критерия при i-м значении параметра p; $Q(p_i)$ – значение исходного размерного критерия при i-м значении параметра p.

Итоговая оценка пригодности объекта для циклического заводнения и выбор перспективных участков в рамках определенного объекта проводится на основе построения карты распределения значений критерия F.

Специалисты института «ТатНИПИнефть» на основе анализа и обобщения накопленного опыта по внедрению методов нестационарного воздействия и изменения направления фильтрационных потоков на объектах ПАО «Татнефть» разработали руководство по совершенствованию нестационарного заводнения в зависимости от геолого-физических условий и этапов разработки, которое устанавливает общие требования и подходы при применении нестационарного заводнения на нефтяных залежах [27].

В табл. 7 приведены известные разновидности нестационарного способа закачки воды [9]. Последовательность применения разновидностей нестационарного заводнения определяется в зависимости от конкретной геолого-физической характеристики месторождения. Продолжительность первого этапа ограничивается обводненностью $B_i < 0{,}5 \cdot e^{0{,}693B_{ср}}$. Наиболее удобными для осуществления нестационарного заводнения являются многорядные, ячеистые системы заводнения.

Несмотря на то что большинство исследователей отмечают широкую область эффективного применения технологии нестационарного воздействия, в работе [23] отмечено, что метод нестационарного заводнения обладает рядом особенностей, которые приводят к возникновению следующих осложнений при разработке:

1. Простой скважин влечет за собой снижение темпов отбора запасов нефти.
2. Частое включение и отключение промыслового оборудования приводит к ускоренному выходу из строя его электрических и электромеханических частей.
3. Ухудшение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллектора (как необратимые изменения пористости и проницаемости, так и их увеличение вследствие разрушения или размывания скелета коллектора).
4. Возможные потери части запасов из-за попадания нефти в промытые фильтрационные каналы и их вторичного нефтенасыщения.
5. Изменение трещинной системы в карбонатных трещинных и трещинно-поровых коллекторах в результате периодического изменения поля давления при достижении предельных его значений.

Кроме того, в работе [14] выявлено, что на скважинах, совместно эксплуатирующих два объекта (единым фильтром), нестационарное заводнение с большей вероятностью будет иметь отрицательный эффект. Разнородность ФЕС и неоднородность поля пластового давления по разрезу таких скважин приводят к возникновению межпластовых внутрискважинных перетоков, что снижает эффективность циклического воздействия.

Методика расчета параметров цикликического воздействия

Важнейшими технологическими параметрами циклического воздействия являются продолжительность полуцикла и амплитуда колебания давлений. На основании результатов практического применения

Таблица 8

Матрица применимости технологии нестационарного воздействия

Параметр		Применение технологии НВ эффективно		Применение технологии НВ неэффективно
		Бобриковские отложения самарских месторождений, терригенный девон Ромашкинского	Бобриковские отложения Ромашкинского месторождения	Карбонаты с неэффективным заводнением
Общие*	Тип коллектора	Трещинно-поровый, поровый		Трещиноватый
	Смачиваемость	Преимущественно гидрофильный		Гидрофобный
	Гидродинамическая связанность пропластков	≥ 0,6		< 0,6
	Коэффициент литологической связанности пластов по площади (отношение площади слияния коллекторов к общей площади участка)	≥ 0,3		< 0,3
	Послойная неоднородность проницаемости, $(K_1\text{-}1)(1\text{-}K_2)$	≥ 0,5		< 0,5
	Степень зональной неоднородности	≥ 0,2		< 0,2
	Вязкость нефти, мПа·с	< 5	25–45	> 45
	Проницаемость (среднее значение), мкм^2	> 0,1	> 0,5	< 0,025
I и II стадия разработки участка ** (НЗ и его разновидности)	1. Степень выработки запасов	< 0,3		–
	2. Обводненность добываемой продукции, %	15–50	30–60	–
	3. Кратность промывки	0,2–0,5	0,1–0,2	
	4. ВНФ накопленный	0,1–0,7	0,3–0,8	–
III стадия разработки участка ** (НЗ, импульсное воздействие и его разновидности)	1. Степень выработки запасов	0,3–0,9		–
	2. Обводненность добываемой продукции, %	50–95	60–95	–
	3. Кратность промывки	0,5–2,7	0,2–2,0	
	4. ВНФ накопленный	0,7–4,1	0,8–5,1	–
IV стадия разработки участка ** (нестационарный режим дренирования; упругий режим + нестационарный ФОЖ)	1. Степень выработки запасов	0,9–0,98		> 0,98
	2. Обводненность добываемой продукции, %	> 95		
	3. Кратность промывки	> 4,1	> 5,1	
	4. ВНФ накопленный	> 2,7	> 2,0	

Примечание: * – при подборе участков допустимый диапазон изменения параметров составляет ± 30 %;
** – при определении стадии разработки участка степени значимости параметра ранжированы и соответствуют порядковому номеру в списке.

циклического воздействия для определения оптимального времени полуцикла положительно себя зарекомендовала формула Сургучева [12, 13, 16, 23, 28]:

$$T = \frac{l^2 \cdot m \cdot C \cdot \mu}{2k},$$

где T – длительность полуцикла нестационарного воздействия; l – среднее расстояние между нагнетательными и добывающими скважинами; m – пористость; C – коэффициент сжимаемости породы и жидкости; μ – вязкость нефти; k – проницаемость.

Рекомендуемая длительность полуциклов нагнетательных скважин при их нестационарном режиме может быть также определена на основе моделирования с применением стохастических методов [27].

Выводы по результатам литературного обзора

На основе анализа и обобщения изученного материала, описывающего опыт применения нестационарного воздействия на месторождениях Татарстана, Самарской области и Западной Сибири, сформулированы следующие выводы.

Приведенные в литературе критерии выбора участков для нестационарного воздействия отличаются значительным диапазоном изменения их значений. А иногда значения, указанные в различных источниках, противоречат друг другу. Это связано, в первую очередь, с широкой географией применения нестационарного воздействия и индивидуальными особенностями (в том числе геолого-технологическими параметрами) объектов разработки, на которых было организовано циклическое воздействие. Поэтому авторами разработана матрица применимости технологии нестационарного воздействия на основе опыта ПАО «Татнефть» и мнения экспертов (табл. 8). Она состоит из двух частей:

– общие параметры выбора объектов воздействия;

– рекомендуемые технологии нестационарного воздействия в зависимости от стадии разработки участка.

Граничные значения параметров применимости нестационарного воздействия определены по опыту успешного применения на терригенных объектах Ромашкинского и бобриковских отложениях самарских месторождений. В качестве объектов с неэффективным применением нестационарного воздействия определены залежи с карбонатными коллекторами, характеризующиеся неэффективным заводнением.

Библиографический список

1. Ибатуллин, Р.Р. Применение нестационарного заводнения на нефтяных месторождениях Татарстана / Р.Р. Ибатуллин, А.М. Шавалиев, Н.З. Ахметов // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 8. – С. 54–57.
2. Сургучев, М.Л. Об увеличении нефтеотдачи неоднородных пластов / М.Л. Сургучев // Разработка нефтяных месторождений и подземная гидродинамика: тр. / ВНИИ. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – С. 152–163.
3. Сургучев, М.Л. Регулирование процесса разработки месторождений платформенного типа / М.Л. Сургучев. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 59 с.
4. Свалов, А.М. Об эффективности циклического заводнения продуктивных пластов / А.М. Свалов // Технологии нефти и газа. – 2018. – № 5. – С. 37–41.

5. Свалов, А.М. О правомерности существующего теоретического обоснования технологии циклического заводнения продуктивных пластов / А.М. Свалов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2021. – № 6. – С. 57–60.
6. Свалов, А.М. Критический анализ теоретического обоснования технологий циклической закачки воды в продуктивные пласты / А.М. Свалов // Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности: сб. тр. всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 35-летию ИПНГ РАН, Москва, 17–19 окт. 2022 г. – М.: ИПНГ РАН, 2022. – С. 19–22.
7. Цынкова, О.Э. Нестационарное гидродинамическое воздействие на нефтяные пласты / О.Э. Цынкова, Н.А. Мясникова // Особенности разработки сложнопостроенных залежей нефти : тр. ВНИИ. – М.: Недра, 1986. – Вып. 94. – С. 53–64.
8. Владимиров, И.В. Нестационарные технологии нефтедобычи: (этапы развития, современное состояние и перспективы) / И.В. Владимиров. – М.: ВНИИОЭНГ, 2004. – 215 с.
9. Бакиров И.М. Развитие систем разработки нефтяных месторождений с применением заводнения в различных геолого-физических условиях: автореф. дис... д-ра техн. наук: 25.00.17 / И.М. Бакиров; ТатНИПИнефть ОАО «Татнефть»; науч. конс. Р.Р. Ибатуллин. – Уфа, 2012. – 48 с.
10. Гуляев, В.Н. Исследование и обоснование выбора участков на объектах разработки для применения гидродинамических методов увеличения нефтеизвлечения: автореф. дис... канд. техн. наук: 25.00.17 / В.Н. Гуляев; филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени; науч. рук. А.К. Ягафаров. – Бугульма, 2019. – 25 с.
11. Воронцова, Г.Н. Внедрение технологии циклического заводнения в неоднородных коллекторах на участке Ташлиярской площади / Г.Н. Воронцова, Р.Г. Рамазанов, А.А. Кузнецова // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ОАО «Татнефть». – М.: ВНИИОЭНГ, 2010. – Вып. 78. – С. 76–82.
12. Гуляев, В.Н. Применение технологии нестационарного воздействия для увеличения КИН участков с трудноизвлекаемыми запасами / В.Н. Гуляев, И.И. Киприн, Н.П. Захарова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 10. – С. 39–44.
13. Гуляев, В.Н. О реализации нестационарного заводнения на объекте АВ 1-2 Урьевского месторождения / В.Н. Гуляев, И.И. Киприн // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 9. – С. 76–81.
14. Велиев, Э.М. Современные тенденции развития технологии нестационарного заводнения (на примере месторождения Кумколь): автореф. дис. канд. техн. наук: 07.00.10 / Э.М. Велиев; Уфимский гос. нефт. техн. ун-т; науч. рук. И.В. Владимиров. – Уфа, 2018. – 22 с.
15. Медведев, К.Ю. Повышение эффективности разработки неоднородных высокообводненных карбонатных залежей путем совершенствования технологии нестационарного заводнения: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17 / К.Ю. Медведев; Рос. гос. ун-т нефти и газа имени И.М. Губкина. – М., 2018. – 22 с.
16. Дымов, А.Е. Эффективность применения нестационарного заводнения на месторождениях Западной Сибири: бакалаврская работа / А.Е. Дымов. – Томск, 2019. – 84 с.
17. Гуляев, В.Н. Исследование влияния нестационарного заводнения на эффективность разработки месторождений ООО «Лукойл-Западная Сибирь» / В.Н. Гуляев, Н.П. Захарова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 9. – С. 48–51.
18. Билинчук А.В. Повышение эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти технологиями химического и гидродинамического воздействия на пласты (на примере месторождений ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз»): автореф. дис... канд. техн. наук: 25.00.17 / А.В. Билинчук; ОАО «ВНИИнефть» им. А.П. Крылова. – М., 2006. – 22 с.
19. Куликов, А.Н. К вопросу оптимального сочетания и последовательности применения технологий ограничения водопритока и повышения нефтеотдачи пластов при разработке залежей нефти различного типа / А.Н. Куликов, Л.А. Магадова, Д.Ю. Елисеев // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 1. – С. 25–34.
20. Петраков, А.М. Научно-методические основы применения технологий адресного воздействия для повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти (на примере месторождений Западной Сибири): автореф. дис... д-ра техн. наук: 25.00.17 / А.М. Петраков; ОАО «ВНИИнефть». – М., 2010. – 50 с.
21. Руководство по проектированию и применению циклического заводнения: РД 39-1-72-78: срок введения с 01.08.1978 / М.Л. Сургучев [и др.]; ВНИИ. – 1978. – 100 с.
22. Крянев, Д.Ю. Критерии выбора объектов разработки ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» для применения нестационарного заводнения / Д.Ю. Крянев, А.М. Петраков, А.В. Билинчук // Повышение эффективности разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: тр. / ВНИИнефть им. Крылова. – 2005. – Вып. 132. – С. 135–145.
23. Владимиров, И.В. Контроль и регулирование разработки нефтяных месторождений / И.В. Владимиров, Э.М. Альмухаметова. – Уфа: УГНТУ, 2014. – 364 с.
24. Владимиров, И.В. Нестационарные технологии в разработке нефтяных месторождений: автореф. дис... док. техн. наук: 25.00.17 / И.В. Владимиров; ООО НПО «Нефтегазтехнология». – Уфа, 2005. – 50 с.
25. Оптимизация параметров циклического заводнения на Лан-Еганском месторождении / Д.А. Баталов [и др.] // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: сб. науч. тр. / ГАНУ Ин-т нефтегазовых технологий и новых материалов РБ. – Уфа: Монография, 2016. – Вып. 5 (10). – С. 234–238.
26. Аубакиров, А.Р. Разработка методических решений для планирования циклического заводнения на основе трехмерного гидродинамического моделирования: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17 / А.Р. Аубакиров; РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина – М., 2019. – 24 с.
27. Методическое руководство по совершенствованию нестационарного заводнения в зависимости от геолого-физических условий и этапов разработки: РД 153-39.0-875-14: введен впервые: дата введения 28.11.2014 г. / А.В. Насыбуллин [и др.]; ТатНИПИнефть. – Бугульма, 2014. – 48 с.
28. Крянев, Д.Ю. Нестационарное заводнение. Методика критериальной оценки выбора участков воздействия / Д.Ю. Крянев. – М., 2008. – 208 с.
29. Хисамов, Р.С. Увеличение охвата продуктивных пластов воздействием / Р.С. Хисамов, А.А. Газизов, А.Ш. Газизов. – М.: ВНИИОЭНГ, 2003. – 564 с.
30. Фаттахов, И.Г. О методе экспресс-обработки неограниченного массива непрерывно поступающих промысловых данных / И.Г. Фаттахов, Л.С. Кулешова, А.И. Мусин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. – № 3.– С. 26–28.
31. Шаяхметов, М.Н. Совершенствование технологии химического воздействия на пласт для очистки гидродинамических каналов / М.Н. Шаяхметов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2025: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., Октябрьский, 21–22 мар. 2025 г. – Уфа: УГНТУ, 2025. – С. 398–403.
32. Билинчук, А.В. Повышение эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти технологиями химического и гидродинамического воздействия на пласты / А.В. Билинчук // Бурение и нефть. – 2007. – № 1. – С. 30–33.
33. Насыбуллин, А.В. Развитие технологий системного воздействия на пласт с применением гидродинамического моделирования / А.В. Насыбуллин, М.Н. Ханипов, Р.З. Саттаров // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 7. – С. 36–39.
34. Магзянов, И.Р. Инженерный расчет и гидродинамическое моделирование при планировании адресных технологий воздействия на пласт потокоотклоняющими составами / И.Р. Магзянов, Т.А. Исмагилов, В.П. Захаров // Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов: материалы III Междунар. науч. симпозиума: в 2 т. – М.: ВНИИнефть, 2011. – С. 91–95.
35. Любимов Н.Н. Использование средств гидродинамического моделирования для оценки технологической эффективности режима смешивающегося вытеснения нефти при реализации технологии водогазового воздействия на пласт // Бурение и нефть. – 2014. – № 10. – С. 48-51.
36. Баушин, В.В. Об оценке эффекта от применения методов повышения нефтеотдачи на примере циклического и полимерно-циклического воздействия [Электронный ресурс] / В.В. Баушин, И.Н. Хакимзянов, А.И. Никифоров // Нефтяная провинция : рец. науч. изд. сетевого распространения. – 2023. – № 3. – С. 84–93. – URL: https://vkro-raen.com/files/008/943/443/8943443/original/35-6-V.V.Baushin.pdf (дата обращения: 03.07.2025).
37. Промысловая реализация технологии очаговой кислотной обработки нагнетательных скважин на месторождении «Жетыбай» (Казахстан) / Б.А. Сулейманов [и др.] // SOCAR Proceedings. – 2018. – № 1. – С. 59–65.
38. Комплексный подход к оценке эффективности проектируемой соляно-кислотной обработки с использованием результатов лабораторных исследований и гидродинамического моделирования / С.Н. Кривощеков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 43–53.
39. Сидоров, И.В. Технология площадной циклической закачки пара горизонтальными скважинами при разработке месторождений высоковязкой нефти / И.В. Сидоров // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 12. – С. 42-45.
40. Омельянюк, М.В. Повышение эффективности химических методов интенсификации добычи нефти / М.В. Омельянюк, О.В. Концевич // Булатовские чтения: сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2017 г.: в 5 т. / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 188–191.
41. Упрощенный метод выбора эффективных технологий вытеснения нефти из карбонатных коллекторов на базе реализованных технологий / Н.И. Хисамутдинов [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 3. – С. 23–26.
42. Методические основы планирования выбора скважин для проведения геолого-технических мероприятий на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами / А.В. Чибисов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2018. – № 6. – С. 42–50.
43. Разработка Подверьюского месторождения методом направленной закачки воздуха в нефтяные пласты на основе численного моделирования / Р.Х. Низаев [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 9. – С. 9–12.
44. Повышение рентабельности эксплуатации месторождений на основе оптимизации технико-экономических показателей / А.М. Петраков [и др.] // PROнефть. Профессионально о нефти. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 89–97.
45. Дзюбенко, А.И. Информационный способ выбора действующих скважин для проведения на них геолого-технологических мероприятий / А.И. Дзюбенко, Т.А. Жемчугова, И.А. Черных // Недропользование. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 77–84.
46. Методы оценки текущего энергетического состояния пласта, определения профиля притока, техсостояния колонны / И.Г. Фаттахов [и др.] // Научное обозрение. – 2014. – № 8-1. – С. 76–88.

References

1. Ibatullin R.R., Shavaliev A.M., Akhmetov N.Z. Primenenie nestatsionarnogo zavodneniia na neftianykh mestorozhdeniiakh Tatarstana [Application of non-stationary flooding in oil fields of Tatarstan]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2003, no. 8, pp. 54-57.
2. Surguchev M.L. Ob uvelichenii nefteotdachi neodnorodnykh plastov [On increasing oil recovery from heterogeneous formations]. *Razrabotka neftianykh mestorozhdenii i podzemnaia gidrodinamika. Trudy VNII*. Moscow: Gostoptekhizdat, 1959, pp. 152-163.
3. Surguchev M.L. Regulirovanie protsessa razrabotki mestorozhdenii platformennogo tipa [Regulation of the development process of platform-type deposits]. Moscow: Gostoptekhizdat, 1960, 59 p.
4. Svalov A.M. Ob effektivnosti tsiklicheskogo zavodneniia produktivnykh plastov [On the efficiency of cyclic flooding of productive formations]. *Tekhnologii nefti i gaza*, 2018, no. 5, pp. 37-41.
5. Svalov A.M. O pravomernosti sushchestvuiushchego teoreticheskogo obosnovaniia tekhnologii tsiklicheskogo zavodneniia produktivnykh plastov [On the legality of the existing theoretical justification of cyclic flooding technology productive formations]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2021, no. 6, pp. 57-60. DOI: 10.33285/2413-5011-2021-6(354)-57-60
6. Svalov A.M. Kriticheskii analiz teoreticheskogo obosnovaniia tekhnologii tsiklicheskoi zakachki vody v produktivnye plasty [A critical analysis of the theoretical basis for cyclic water injection technologies into productive formations]. *Fundamental'nyi bazis innovatsionnykh tekhnologii neftianoi i gazovoi promyshlennosti. Sbornik trudov vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posviashchennyi 35-letiiu IPNG RAN, Moscow, 17-19 October 2022*. Moscow: IPNG RAN, 2022, pp. 19-22.
7. Tsynkova O.E., Miasnikova N.A. Nestatsionarnoe gidrodinamicheskoe vozdeistvie na neftianye plasty [Non-stationary hydrodynamic impact on oil reservoirs]. *Osobennosti razrabotki slozhnopostroennykh zalezhei nefti. Trudy VNII*. Moscow: Nedra, 1986, iss. 94, pp. 53-64.

8. Vladimirov I.V. Nestatsionarnye tekhnologii neftedobychi: (etapy razvitiia, sovremennoe sostoianie i perspektivy) [Non-stationary oil production technologies: (stages of development, current status and prospects)]. Moscow: VNIIOENG, 2004, 215 p.
9. Bakirov I.M. Razvitie sistem razrabotki neftianykh mestorozhdenii s primeneniem zavodneniia v razlichnykh geologo-fizicheskikh usloviiakh [Development of oil field development systems using waterflooding in various geological and physical conditions]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Ufa, 2012, 48 p.
10. Guliaev V.N. Issledovanie i obosnovanie vybora uchastkov na ob"ektakh razrabotki dlia primeneniia gidrodinamicheskikh metodov uvelicheniia nefteizvlecheniia [Research and justification of the selection of sites at development sites for the application of hydrodynamic methods to enhance oil recovery]. Abstract of Ph. D. thesis. Bugul'ma, 2019, 25 p.
11. Vorontsova G.N., Ramazanov R.G., Kuznetsova A.A. Vnedrenie tekhnologii tsiklicheskogo zavodneniia v neodnorodnykh kollektorakh na uchastke Tashliiarskoi ploshchadi [Implementation of cyclic flooding technology in heterogeneous reservoirs at the Tashliyarskaya site]. *Sbornik nauchnykh trudov TatNIPIneft'*. Moscow: VNIIOENG, 2010, iss. 78, pp. 76-82.
12. Guliaev V.N., Kiprin I.I., Zakharova N.P. Primenenie tekhnologii nestatsionarnogo vozdeistviia dlia uvelicheniia KIN uchastkov s trudnoizvlekaemymi zapasami [Application of non-stationary technology to increase oil recovery factor of fields' areas with hard-to-recover oil reserves]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2015, no. 10, pp. 39-44.
13. Guliaev V.N., Kiprin I.I. O realizatsii nestatsionarnogo zavodneniia na ob"ekte AV 1-2 Ur'evskogo mestorozhdeniia [Implementation of non-stationary water-flooding at AB $_{1\text{-}2}$ object of Urevsky field]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii.*, 2015, no. 9, pp. 76-81.
14. Veliev E.M. Sovremennye tendentsii razvitiia tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniia (na primere mestorozhdeniia Kumkol') [Modern trends in the development of non-stationary flooding technology (using the Kumkol field as an example)]. Abstract of Ph. D. thesis. Ufa, 2018, 22 p.
15. Medvedev K.Iu. Povyshenie effektivnosti razrabotki neodnorodnykh vysokoobvodnennykh karbonatnykh zalezhei putem sovershenstvovaniia tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniia [Improving the efficiency of developing heterogeneous, highly watered carbonate deposits by improving the technology of non-stationary waterflooding]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 2018, 22 p.
16. Dymov A.E. Effektivnost' primeneniia nestatsionarnogo zavodneniia na mestorozhdeniiakh Zapadnoi Sibiri: bakalavrskaia rabota [Efficiency of non-stationary waterflooding in Western Siberian fields: Bachelor's thesis]. Tomsk, 2019, 84 p.
17. Guliaev V.N., Zakharova N.P. Issledovanie vliianiia nestatsionarnogo zavodneniia na effektivnost' razrabotki mestorozhdenii OOO "Lukoil-Zapadnaia Sibir'" [Research of non-stationary flooding influence on the deposits development efficiency of LLC "LUKOIL-Western Siberia"]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2019, no. 9, pp. 48-51. DOI: 10.30713/2413-5011-2019-9(333)-48-51
18. Bilinchuk A.V. Povyshenie effektivnosti razrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov nefti tekhnologiiami khimicheskogo i gidrodinamicheskogo vozdeistviia na plasty (na primere mestorozhdenii OAO "Slavneft'-Megionneftegaz") [Improving the efficiency of developing hard-to-recover oil reserves using chemical and hydrodynamic technologies (using the example of the fields of Slavneft-Megionneftegaz OJSC)]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 2006, 22 p.
19. Kulikov A.N., Magadova L.A., Eliseev D.Iu. K voprosu optimal'nogo sochetaniia i posledovatel'nosti primeneniia tekhnologii ogranicheniia vodopritoka i povysheniia nefteotdachi plastov pri razrabotke zalezhei nefti razlichnogo tipa [On the issue of the optimal combination and sequence of application of technologies for limiting water influx and enhancing oil recovery in the development of oil deposits of various types]. *Neftepromyslovoe delo*, 2014, no. 1, pp. 25-34.
20. Petrakov A.M. Nauchno-metodicheskie osnovy primeneniia tekhnologii adresnogo vozdeistviia dlia povysheniia effektivnosti razrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov nefti (na primere mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri) [Scientific and methodological foundations for the application of targeted technologies to improve the efficiency of developing hard-to-recover oil reserves (using Western Siberian oil fields as an example)]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Moscow, 2010, 50 p.
21. Surguchev M.L. et al. Rukovodstvo po proektirovaniiu i primeneniiu tsiklicheskogo zavodneniia: RD 39-1-72-78: srok vvedeniia s 01.08.1978 [Guidelines for the design and application of cyclic flooding: RD 39-1-72-78: effective from 01.08.1978]. Moscow: VNII, 1978, 100 p.
22. Krianev D.Iu., Petrakov A.M., Bilinchuk A.V. Kriterii vybora ob"ektov razrabotki OAO "Slavneft'-Megionneftegaz" dlia primeneniia nestatsionarnogo zavodneniia [Criteria for selecting development targets of Slavneft-Megionneftegaz OJSC for the use of non-stationary flooding]. *Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami: trudy VNIIneft' im. Krylova*, 2005, iss. 132, pp. 135-145.
23. Vladimirov I.V., Al'mukhametova E.M. Kontrol' i regulirovanie razrabotki neftianykh mestorozhdenii [Control and regulation of oil field development]. Ufa: Ufimskii gosudarstvennyi neftianoi tekhnicheskii universitet, 2014, 364 p.
24. Vladimirov I.V. Nestatsionarnye tekhnologii v razrabotke neftianykh mestorozhdenii [Non-stationary technologies in oil field development]. Abstract of Doctor's degree dissertatio. Ufa, 2005, 50 p.
25. Batalov D.A. et al. Optimizatsiia parametrov tsiklicheskogo zavodneniia na Lan-Eganskom mestorozhdenii [Optimization of cyclic flooding parameters at the Lan-Eganskoye field]. *Neftegazovye tekhnologii i novye materialy. Problemy i resheniia. Sbornik nauchnykh trudov GANU Institut neftegazovykh tekhnologii i novykh materialov RB*. Ufa, 2016, iss. 5 (10), pp. 234-238.
26. Aubakirov A.R. Razrabotka metodicheskikh reshenii dlia planirovaniia tsiklicheskogo zavodneniia na osnove trekhmernogo gidrodinamicheskogo modelirovaniia [Development of methodological solutions for planning cyclic flooding based on three-dimensional hydrodynamic modeling]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 2019, 24 p.
27. Nasybullin A.V. et al. Metodicheskoe rukovodstvo po sovershenstvovaniiu nestatsionarnogo zavodneniia v zavisimosti ot geologo-fizicheskikh uslovii i etapov razrabotki: RD 153-39.0-875-14: vveden vpervye: data vvedeniia 28.11.2014; TatNIPIneft' [Methodological guidelines for improving non-stationary waterflooding depending on geological and physical conditions and development stages: RD 153-39.0-875-14: introduced for the first time: date of introduction 28.11.2014; TatNIPIneft]. Bugul'ma, 2014, 48 p.
28. Krianev D.Iu. Nestatsionarnoe zavodnenie. Metodika kriterial'noi otsenki vybora uchastkov vozdeistviia [Non-stationary flooding. Methodology for criteria-based assessment of the selection of impact sites]. Moscow, 2008, 208 p.
29. Khisamov R.S., Gazizov A.A., Gazizov A.Sh. Uvelichenie okhvata produktivnykh plastov vozdeistviem [Increasing the coverage of productive formations by impact]. Moscow: VNIIOENG, 2003, 564 p.
30. Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Musin A.I. O metode ekspress-obrabotki neogranichennogo massiva nepreryvno postupaiushchikh promyslovykh dannykh [On the method of express processing of an unlimited array of continuously incoming field data]. *Avtomatizatsiia, telemekhanizatsiia i sviaz' v neftianoi promyshlennosti*, 2009, no. 3, pp. 26-28.
31. Shaiakhmetov M.N. Sovershenstvovanie tekhnologii khimicheskogo vozdeistviia na plast dlia ochistki gidrodinamicheskikh kanalov]. [Improving the technology of chemical impact on the formation for cleaning hydrodynamic channels]. *Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele - 2025. Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Oktiabr'skii, 21-22 March 2025*. Ufa: Ufimskii gosudarstvennyi neftianoi tekhnicheskii universitet, 2025, pp. 398-403.
32. Bilinchuk A.V. Povyshenie effektivnosti razrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov nefti tekhnologiiami khimicheskogo i gidrodinamicheskogo vozdeistviia na plasty [Increase of Effectiveness of the Difficult Oil in Place Production with Chemical and Hydrodynamic Influence on Formations]. *Burenie i neft'*, 2007, no. 1, pp. 30-33.
33. Nasybullin A.V., Khanipov M.N., Sattarov R.Z. Razvitie tekhnologii sistemnogo vozdeistviia na plast s primeneniem gidrodinamicheskogo modelirovaniia [Development of Formation Treatment Technologies Using Reservoir Simulation Studies]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 7, pp. 36-39.
34. Magzianov I.R., Ismagilov T.A., Zakharov V.P. Inzhenernyi raschet i gidrodinamicheskoe modelirovanie pri planirovanii adresnykh tekhnologii vozdeistviia na plast potokootkloniaiushchimi sostavami [Engineering calculations and hydrodynamic modeling in planning targeted technologies for influencing the formation with flow-diverting compositions]. *Teoriia i praktika primeneniia metodov uvelicheniia nefteotdachi plastov. Materialy III Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma*. Moscow: VNIIneft', 2011, pp. 91-95.
35. Liubimov N.N. Ispol'zovanie sredstv gidrodinamicheskogo modelirovaniia dlia otsenki tekhnologicheskoi effektivnosti rezhima smeshivaiushchegosia vytesneniia nefti pri realizatsii tekhnologii vodogazovogo vozdeistviia na plast [Application of hydrodynamic simulation tools to assess miscible displacement process efficiency for water-gas stimulation technology]. *Burenie i neft'*, 2014, no. 10, pp. 48-51.
36. Baushin V.V., Khakimzianov I.N., Nikiforov A.I. Ob otsenke effekta ot primeneniia metodov povysheniia nefteotdachi na primere tsiklicheskogo i polimerno-tsiklicheskogo vozdeistviia [On evaluating IOR efficiency in terms of cyclic flooding and polymer cyclic flooding]. *Neftianaia provintsiia: retsenziruemoe nauchnoe izdanie setevogo rasprostraneniia*, 2023, no. 3, pp. 84-93, available at: https://vkro-raen.com/files/008/943/443/8943443/original/35-6-V.V.Baushin.pdf (accessed 03 July 2025).
37. Suleimanov B.A. et al. Promyslovaia realizatsiia tekhnologii ochagovoi kislotnoi obrabotki nagnetatel'nykh skvazhin na mestorozhdenii "Zhetybai" (Kazakhstan) [Experience of Acidizing Injection Wells for Enhanced Oil Recovery at the Zhetybai Field (Kazakhstan)]. SOCAR Proceedings, 2018, no. 1, pp. 59-65. DOI: 10.5510/OGP20180100341
38. Krivoshchekov S.N. et al. Kompleksnyi podkhod k otsenke effektivnosti proektiruemoi soliano-kislotnoi obrabotki s ispol'zovaniem rezul'tatov laboratornykh issledovanii i gidrodinamicheskogo modelirovaniia [Complex approach to estimating the efficiency of the designed hydrochloric acid treatment using the results of laboratory studies and hydrodynamic simulation]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 7, pp. 43-53. DOI: 10.18799/24131830/2021/7/3262
39. Sidorov I.V. Tekhnologiia ploshchadnoi tsiklicheskoi zakachki para gorizontal'nymi skvazhinami pri razrabotke mestorozhdenii vysokoviazkoi nefti [The technology of areal cyclic steam injection into horizontal wells when developing high-viscous oil fields]. *Neftepromyslovoe delo*, 2015, no. 12, pp. 42-45.
40. Omel'ianiuk M.V., Kontsevich O.V. Povyshenie effektivnosti khimicheskikh metodov intensifikatsii dobychi nefti [Improving the efficiency of chemical methods for intensifying oil production]. *Bulatovskie chteniia. Sbornik statei I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Krasnodar, 31 March 2017*. Krasnodar: Izdatel'skii Dom - Iug, 2017, vol. 2. Razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii, pp. 188-191.
41. Khisamutdinov N.I. et al. Uproshchennyi metod vybora effektivnykh tekhnologii vytesneniia nefti iz karbonatnykh kollektorov na baze realizovannykh tekhnologii [A simplified method of selection of effective technologies for oil replacement from carbonate reservoirs on the basis of the implemented technologies]. *Neftepromyslovoe delo*, 2019, no. 3, pp. 23-26. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-3-23-26
42. Chibisov A.V. et al. Metodicheskie osnovy planirovaniia vybora skvazhin dlia provedeniia geologo-tekhnicheskikh meropriiatii na mestorozhdeniiakh s trudnoizvlekaemymi zapasami [Main principles of wells selection planning for intervention at oil fields with hard-to-recover reserves]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov*, 2018, no. 6, pp. 42-50. DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-6-42-50
43. Nizaev R.Kh. et al. Razrabotka Podver'iuskogo mestorozhdeniia metodom napravlennoi zakachki vozdukha v neftianye plasty na osnove chislennogo modelirovaniia [Development of Podveryusky oilfield by the method of direct air injection into petroleum reservoirs on the ground of numerical modeling]. *Neftepromyslovoe delo*, 2016, no. 9, pp. 9-12.
44. Petrakov A.M. et al. Povyshenie rentabel'nosti ekspluatatsii mestorozhdenii na osnove optimizatsii tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei [Increasing the profitability of field operation based on optimization of technical and economic indicators]. *PROneft'. Professional'no o nefti*, 2023, vol. 8, no. 1, pp. 89-97. DOI: 10.51890/2587-7399-2023-8-1-89-97
45. Dziubenko A.I., Zhemchugova T.A., Chernykh I.A. Informatsionnyi sposob vybora deistvuiushchikh skvazhin dlia provedeniia na nikh geologo-tekhnologicheskikh meropriiatii [Informational Method of Selecting Operating Wells for Stimulation]. *Nedropol'zovanie*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 77-84. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.2.4
46. Fattakhov I.G. et al. Metody otsenki tekushchego energeticheskogo sostoianiia plasta, opredeleniia profilia pritoka, tekhsostoianiia kolonny [Methods for assessing the current energy state of the reservoir, determining the inflow profile, and the technical condition of the column]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 8-1, pp. 76-88.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Вклад авторов равноценен.