

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 22-30. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 5 (145). P. 22-30. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 622.276.43-027.236

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-5-22-30

EDN: UGPGAI

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Наталья Расатовна Яркеева¹, Камиль Флюрович Ишмухаметов²,
Аделия Флюровна Ишмухаметова³, Вадим Эдуардович Марушевский⁴

^{1, 2, 3, 4}Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Уфа, Россия

¹yarkeevan@yandex.ru

²ishmukhametovk.f@gmail.com

³IAF0309@yandex.ru

⁴vadik.marushevsckyw@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Камиль Флюрович Ишмухаметов,
ishmukhametovk.f@gmail.com

Аннотация. Большая часть месторождений Западной Сибири находится на заключительной стадии разработки, доминирующим методом воздействия на месторождения разработки является заводнение пластов. Вопрос поддержания дебита нефти на постоянном уровне становится все актуальнее для нефтяных компаний. Возникает потребность в создании быстрого инструмента для эффективного системного подхода к заводнению нефтяных и газонефтяных месторождений. Решением данного вопроса является блочно-факторный анализ - инструмент, который позволяет оперативно проводить анализ по блокам объектов разработки. Использование комплексного подхода к мониторингу месторождения позволяет определить участки со снижением добычи нефти и причины развития, а также предот-

вратить развитие негативных последствий. В качестве решения предлагается объект разработки разделить на блоки заводнения, и по каждому провести детальный анализ по критерию «обводненность» с помощью эталонной характеристики вытеснения и по критерию «компенсация» по энергетическому анализу состоянию блока заводнения. Подробно разъяснены основные шаги по применению данного инструмента, главными достоинствами которого являются простота, оперативность, эффективность. И самое главное - позволяет наиболее рационально подбирать необходимые мероприятия для интенсификации дебита нефти при сравнительно малых финансовых затратах. Данный продукт оптимизирует имеющуюся систему разработки за счет увеличения эффективности непрерывного контроля.

Ключевые слова: заводнение, блок заводнения, эталонная характеристика вытеснения, компенсация, обводненность, геолого-технические мероприятия

Для цитирования: Яркеева Н. Р., Ишмухаметов К. Ф., Ишмухаметова А. Ф., Марушевский В. Э. Комплексный подход к организации системы заводнения нефтяного месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 22-30. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-22-30>.

Original article

AN INTEGRATED APPROACH TO AN OIL FIELD FLOODING SYSTEM ORGANIZATION

Natalya R. Yarkееva¹, Kamil F. Ishmukhametov², Adelia F. Ishmukhametova³,
Vadim E. Marushevsky⁴

^{1, 2, 3, 4}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹yarkeevan@yandex.ru

²ishmukhametovk.f@gmail.com

³IAF0309@yandex.ru

⁴vadik.marushevskyw@yandex.ru

Corresponding author: Kamil F. Ishmukhametov, ishmukhametovk.f@gmail.com

Abstract. Most of the fields in Western Siberia are at the final stage of development, the dominant simulation method of the fields under development is reservoir waterflooding. The issue of oil flow rate maintaining at a constant level is becoming more and more relevant for oil companies. There is a need to create a quick tool for an effective systematic approach for oil and gas & oil fields waterflooding. The solution of this issue is a block-factor analysis – a tool for quick analyze of blocks of objects under development. The use of an integrated approach to field monitoring makes it possible to identify areas with a decrease in oil production and the causes of development, as well as to prevent the development of negative conse-

quences. As a solution, it is proposed to divide the development object into waterflooding blocks, and for each to conduct a detailed analysis according to the waterflooding criterion using the displacement reference characteristic and according to the compensation criterion – according to the energy analysis of the block waterflooding condition. The main steps for this tool application are explained in detail, its main advantages are simplicity, operativeness, efficiency. The most important thing is that it allows making the most rational selection of the necessary measures to intensify the oil flow rate at relatively low financial costs. This tool optimizes the existing development system by increasing the efficiency of continuous monitoring.

Keywords: waterflooding, waterflooding block, displacement reference characteristic, compensation, waterlogging, geological and technical measures

For citation: Yarkееva N. R., Ishmukhametov K. F., Ishmukhametova A. F., Marushevskii V. E. Kompleksnyi podkhod k organizatsii sistemy zavodneniya nefryanogo mestorozhdeniya [An Integrated Approach to an Oil Field Flooding System Organization]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 5 (145), pp. 22-30. [in Russian]. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-22-30>.

Блочный анализ

Для более эффективного и упрощенного анализа технологических показателей объектов разработки их необходимо разбить на блоки. Основным способом разбиения является «линия непротекания», проходящая по линии нагнетательных скважин. Каждый блок

характеризуется схожими геолого-физическими свойствами группированных скважин [1].

На рисунке 1 представлен элемент заводнения на одном из месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, наглядно показана граница между ячейками, проведенная по нагнетательным скважинам.

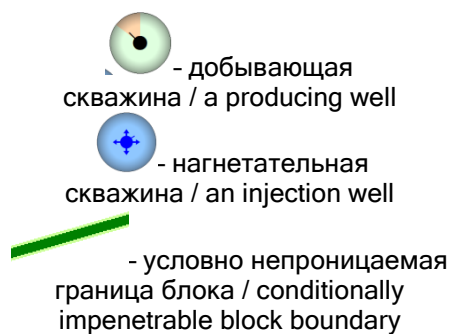
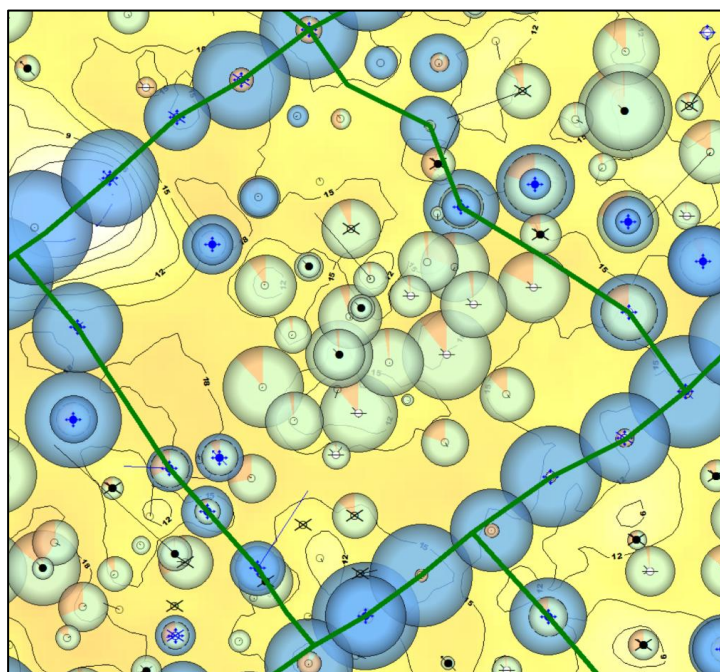


Рисунок 1. Пример блока объекта разработки

Figure 1. Example of a development object block

Для терригенных коллекторов лучше провести границу ячейки по результатам трассерных исследований и достаточно обладать информацией о гидродинамической взаимосвязи нагнетательных скважин с добывающими, а также о распределении потоков в пласте.

Для карбонатных коллекторов критериями разграничения будут служить данные анализа направлений прорывов вытесняющего агента и типы разломов (трещин) [2]. Далее каждый блок отдельно подробно рассматривается, и по каждому элементу заводнения получают параметры (распределение пластового давления, дебит жидкости, компенсация и др.) [3].

Эталонная характеристика вытеснения

Эталонная характеристика вытеснения (ЭХВ) необходима для определения характера обводненности: опережающее, нормальное или замедленное [4, 5]. Анализ динамики обводненности проводится на основе сравнения углов наклона касательных к кривым фактического и эталонного вытеснения. Отклонения фактических значений на характеристике вытеснения от эталонной позволяет своевременно обнаружить аномальный рост обводненности и принять необходимые меры для предотвращения последствий и причин [6, 7]. На рисунке 2 представлены эталонная и фактическая характеристики вытеснения одного из блоков заводнения объекта разработки.

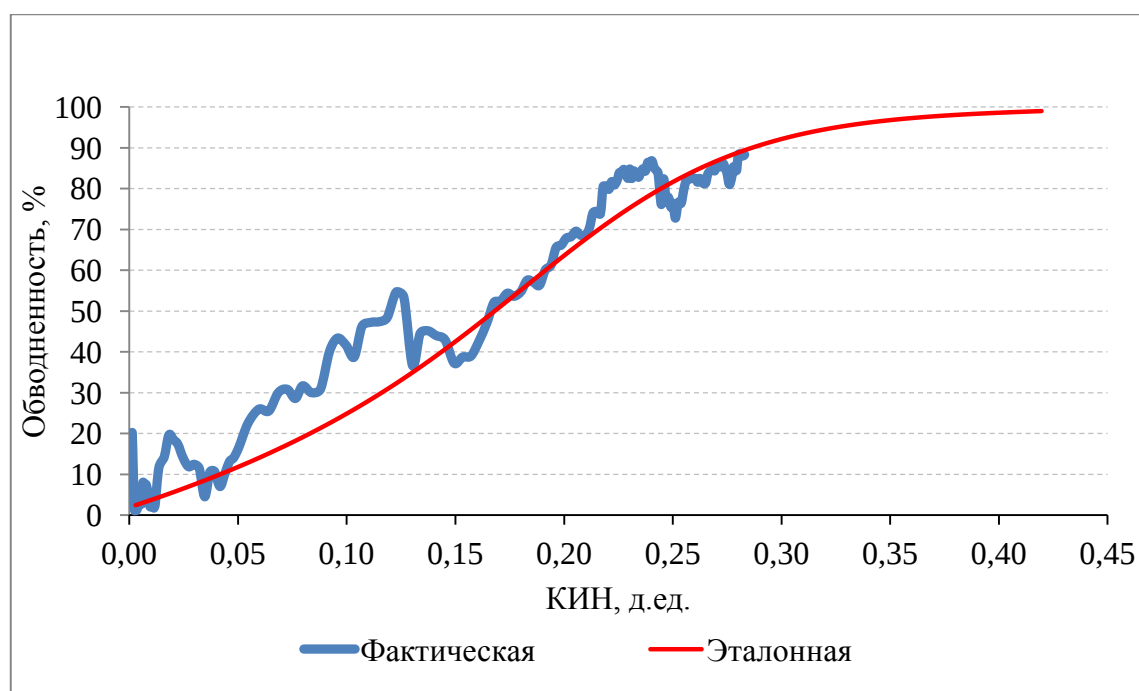


Рисунок 2. Эталонная и фактическая характеристики вытеснения

Figure 2. Standard and actual displacement characteristics

Энергетический анализ элемента заводнения

Энергетика блока определяется по характеру изменения пластового давления и перепаду давлений между нагнетательной и добывающей скважинами с помощью карты изобар, а также оценки активности водоносного горизонта. Далее проводится анализ компенсации - одного из ключевых показателей эффективности системы заводнения и эффективности разработки [8].

Компенсация представляет собой отношение закачанного объема жидкости (воды) к общему объему добытой продукции (нефть + вода):

$$m = \frac{V_{\text{зак.ж.}} b_{\text{зак.ж.}}}{V_H b_H + V_B b_B}, \quad (1)$$

где $V_{\text{зак.ж.}}$ - количество закачанной жидкости (воды) в пласт, м^3 ;

$b_{\text{зак.ж.}}$ - объемный коэффициент закачиваемой жидкости (воды), $\text{м}^3/\text{м}^3$;

V_H - добыча нефти из пласта, м^3 ;

b_H - объемный коэффициент нефти, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

V_B - добыча воды из пласта, м^3 ;

b_B - объемный коэффициент воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

В идеальном случае компенсация характеризуется одинаковым объемом закачки воды в нагнетательные скважины и отбором скважинной продукции с добывающей скважины [9].

Факторный анализ разработки

При проведении мониторинга разработки месторождения важную роль играет анализ изменения параметров добывающих скважин. Данный анализ проводится на основе данных с промысла, также ежемесячных отчетов по каждой скважине, позволяющий определить величину потерь нефти при добыче в рассматриваемый период, а также их причину.

В качестве основных факторов, влияющих на потери дебита нефти, являются изменения следующих параметров:

- 1) пластового и забойного давлений;
- 2) коэффициента продуктивности;
- 3) обводненности [10];

- 4) времени простоя скважин за месяц;
- 5) ввода или вывода скважины с фонда [11-13].

Определение проблемных участков месторождения

Все блоки заводнения после прохождения детального анализа подразделяют на три группы:

- с приростом дебита нефти;
- с постоянными значениями дебита;
- с потерями дебита нефти.

Дальнейшему анализу подлежат элементы заводнения с потерями нефти. Для выявления проблемного блока применяется вышеописанная эталонная характеристика вытеснения. С помощью ЭХВ рассматривается каждый элемент заводнения, где сравниваются фактические данные, полученные с промысла, с теоретической (эталонной) кривой вытеснения [12]. Проблемным участком месторождения будет являться блок, в котором фактические данные обводненности выше плановых - опережающее обводнение, а если существенно ниже - замедленное обводнение. Аналогично проводят ранжировку по энергетическому состоянию блока. В качестве критерия выступает «компенсация» по каждому участку, анализируется динамика среднего пластового давления. Проблемными блоками будут выступать элементы, в которых пластовое давление имеет значения существенно ниже начальных и имеется тенденция к снижению - недостаточная компенсация, а если текущее пластовое давление выше начального пластового - избыточная компенсация [14].

В последующем проблемные участки подразделяются по двум описанным выше критериям. Наиболее подробно описано в статье [15], где строится матрица принятия решения для каждого блока и предлагаются рекомендации по геолого-техническим мероприятиям. В качестве результата ранжирования блоков строятся карты «светофор» (рисунк 3), где просто и наглядно указываются участки, требующие проведения мероприятий по ликвидации негативных факторов и последующему принятию решения.

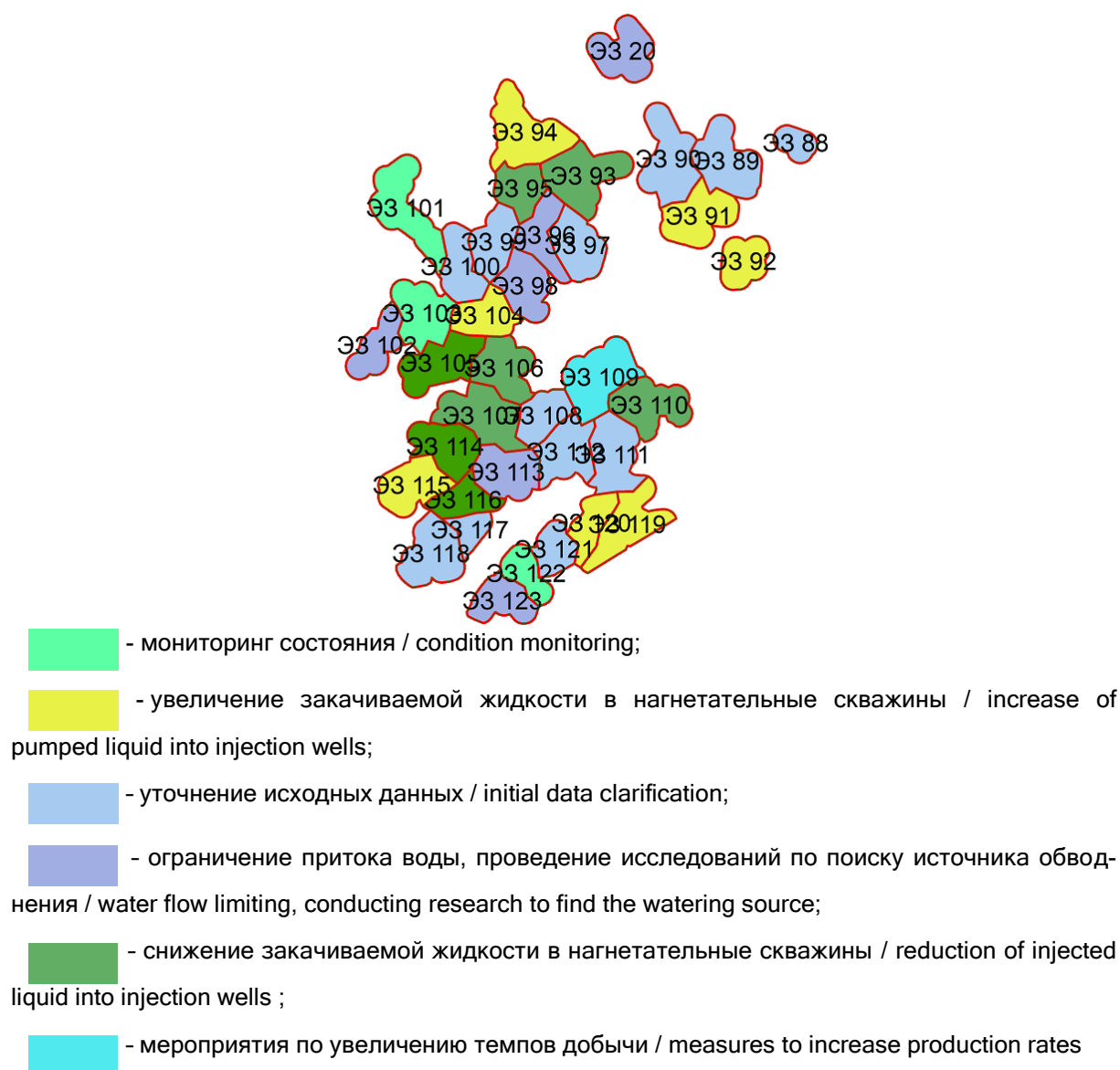


Рисунок 3. Карта рекомендаций по блокам в виде «светофор»

Figure 3. A recommendation map for blocks in a «traffic light» form

Выводы

1. Описаны поэтапные шаги по применению системного анализа к организации системы заводнения.
2. Обоснована практика разделения объекта разработки на блоки с последующим

анализом каждого и подбором геолого-технических мероприятий для устранения проблемных блоков.

3. Установлено, что системный анализ элемента заводнения позволяет снизить падение базовой добычи и сократить непроизводительную закачку.

Список источников

1. Ситников А.Н., Пустовских А.А., Шеремеев А.Ю., Маргарит А.С., Ахметов А.В., Колупаев Д.Ю., Ищук Д.А., Шакиров М.А. Проактивный блочный анализ разработки месторождений // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2016. № 1. С. 60-67. EDN: XTBKJV.
2. Dake L.P. The Practice of Reservoir Engineering. Elsevier Science B.V., 2001. 568 p.
3. Dake L.P. Fundamentals of Reservoir Engineering. Elsevier Science B.V., 1998. 498 p.
4. Noaman El-Khatib Waterflooding Performance // SPE Reservoir Evaluation and Engineering. 1999. Vol. 2, Issue 6. P. 542-549.
5. Полякова Н.И. Обоснование применения методов анализа системы заводнения и эффективности закачки воды в нефтяной пласт: магистерская дис. Томск, 2020. С. 36-63
6. Харисов М.Н. Алгоритм расчета базовой добычи нефти на основе характеристик вытеснения // Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: матер. XV науч.-практ. конф. М.: Нефтяное хозяйство, 2015. С. 31
7. Харисов М.Н., Юнусова Э.А., Харисова Э.А., Майский Р.А. Анализ характеристик вытеснения по скважинам и эксплуатационным объектам месторождений углеводородного сырья // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 4. С. 73-83. DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-73-83. EDN: YNJMNC.
8. Wolkott D. Applied Waterflood Field Development. Houston: Schlumberger, 2001. 144 p.
9. Савельев О.Ю., Бородкин А.А., Наугольников М.В., Шуваев Д.В., Талипов И.Ф., Гришко Ф.В. Усовершенствованный подход к проведению блочно-факторного анализа разработки // Нефтяное хозяйство. 2015. № 10. С. 74-77. EDN: UXQXLB.
10. Yarkееva N.R., Farkhutdinova A.I., Zaripova D.A. Water Injection Front Estimation of Oil Fields to Reduce Risks of Sharp Water Flooding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. Article No. 042014. DOI: 10.1088/1755-1315/981/4/042014. EDN: OSVBCN.
11. Анкудинов А.А. Методика анализа эффективности систем заводнения путем оценки распределения закачки // XII конференция молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа - Югры: сб. матер. конф. Ханты-Мансийск, 2012. С. 87-91.
12. Анкудинов А.А., Ваганов Л.А. Совершенствование разработки нефтяных месторождений на основе многофакторного анализа эффективности системы заводнения // НефтьГазТЭК: матер. Тюменского междунар. инновационного форума. Салехард: Печатник, 2013. С. 35-38.
13. Полякова Н.И., Максимова Ю.А., Зяти-

References

1. Sitnikov A.N., Pustovskikh A.A., Sheremeev A.Yu., Margarit A.S., Akhmetov A.V., Kolupaev D.Yu., Ishchuk D.A., Shakirov M.A. Proaktivnyi blochnyi analiz razrabotki mestorozhdenii [Proactive Analysis in the Field Development Monitoring]. *PRONEFT". Professional'no o nefti - PROneft. Professionals about Oil*, 2016, No. 1, pp. 60-67. EDN: XTBKJV. [in Russian].
2. Dake L.P. *The Practice of Reservoir Engineering*. Elsevier Science B.V., 2001. 568 p.
3. Dake L.P. *Fundamentals of Reservoir Engineering*. Elsevier Science B.V., 1998. 498 p.
4. Noaman El-Khatib Waterflooding Performance. *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*, 1999, Vol. 2, Issue 6, pp. 542-549.
5. Polyakova N.I. *Obosnovanie primeneniya metodov analiza sistemy zavodneniya i effektivnosti zakachki vody v neftyanoi plast: masterskaya dis.* [Substantiation of the Application of Methods for Analyzing the Waterflooding System and the Efficiency of Water Injection into the oil Reservoir: Master's Thesis.]. Tomsk, 2020. pp. 36-63 [in Russian].
6. Kharisov M.N. Algoritm rascheta bazovoi dobychi nefti na osnove kharakteristik vytesneniya [Algorithm for Calculating Basic Oil Production Based on Displacement Characteristics]. *Materialy XV nauchno-prakticheskoi konferentsii «Geologiya i razrabotka mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami»* [Materials of the XV Scientific-Practical Conference «Geology and Development of Deposits with Hard-to-Recover Reserves»]. Moscow, Neftyanoe khozyaistvo Publ., 2015, pp. 31. [in Russian].
7. Kharisov M.N., Yunusova E.A., Kharisova E.A., Maiskii R.A. Analiz kharakteristik vytesneniya po skvazhinam i ekspluatatsionnym ob"ektam mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ya [Analysis of Displacement Characteristics of Oil Wells and Oil Fields]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 4, pp. 73-83. DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-73-83. EDN: YNJMNC. [in Russian].
8. Wolkott D. *Applied Waterflood Field Development*. Houston, Schlumberger, 2001. 144 p.
9. Savelev O.Yu., Borodkin A.A., Naugolnov M.V., Shuvaev D.V., Talipov I.F., Grishko F.V. Usovershenstvovannyi podkhod k provedeniyu blochno-faktornogo analiza razrabotki [Modernized Approach to Provide Block and Factor Analysis of Oil Field Development System]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2015, No. 10, pp. 74-77. EDN: UXQXLB. [in Russian].
10. Yarkееva N.R., Farkhutdinova A.I., Zaripova D.A. Water Injection Front Estimation of Oil Fields to Reduce Risks of Sharp Water Flooding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, Vol. 981, Article No. 042014. DOI:

ков П.Н. Комплексный подход к применению методов анализа эффективности системы заводнения нефтяных пластов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 10 С. 91-98. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2853. EDN: UNAMQJ.

14. Анкудинов А.А. Совершенствование методов анализа системы заводнения и повышения эффективности закачки воды в нефтяной пласт: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2017. 114 с.

15. Антонов М.С., Гумерова Г.Р., Рафикова Ю.И. Повышение эффективности процесса мониторинга разработки месторождений на основе построения эталонных характеристик вытеснения // Нефтяное хозяйство. 2019. № 4. С. 44-48. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-4-44-48. EDN: BPVDHG.

10.1088/1755-1315/981/4/042014. EDN: OSVBCN.

11. Ankudinov A.A. Metodika analiza effektivnosti sistem zavodneniya putem otsenki raspredeleniya zakachki [Methodology for Analyzing the Effectiveness of Waterflooding Systems by Evaluating the Distribution of Injection]. *Sbornik materialov konferentsii «XII konferentsiya molodykh spetsialistov, rabotayushchikh v organizatsiyakh, osushchestvlyayushchikh deyatel'nost', svyazannuyu s ispol'zovaniem uchastkov neдр na territorii Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga - Yugry»* [Collection of Materials of the Conference «XII Conference of Young Professionals Working in Organizations Engaged in Activities Related to the Use of Subsoil Plots on the Territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra»]. Khanty-Mansiysk, 2012, pp. 87-91. [in Russian].

12. Ankudinov A.A., Vaganov L.A. Sovershenstvovanie razrabotki neftnykh mestorozhdenii na osnove mnogofaktornogo analiza effektivnosti sistemy zavodneniya [Improving the Development of Oil Fields Based on Multivariate Analysis of the Effectiveness of the Waterflooding System]. *Materialy Tyumenskogo mezhdunarodnogo innovatsionnogo foruma «Neft'GazTEK»* [Materials of the Tyumen International Innovation Forum «NeftGazTEK»]. Salekhard, Pechatnik Publ., 2013, pp. 35-38. [in Russian].

13. Polyakova N.I., Maksimova Yu.A., Zyatikov P.N. Kompleksnyi podkhod k primeneniyu metodov analiza effektivnosti sistemy zavodneniya neftnykh plastov [Integrated Approach to Application of Methods for Analyzing the Effectiveness of the Oil Reservoir Flooding System]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, Vol. 331, No. 10, pp. 91-98. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2853. EDN: UNAMQJ.

14. Ankudinov A.A. *Sovershenstvovanie metodov analiza sistemy zavodneniya i povysheniya effektivnosti zakachki vody v neftyanoi plast: dis. kand. tekhn. nauk* [Improving Methods for Analyzing the Waterflooding System and Improving the Efficiency of Water Injection into the Oil Reservoir: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen, 2017. 114 p. [in Russian].

15. Antonov M.S., Gumerova G.R., Rafikova Yu.I. Povyshenie effektivnosti protsessa monitoringa razrabotki mestorozhdenii na osnove postroeniya etalonnykh kharakteristik vytesneniya [Improving the Efficiency Of Monitoring Oil Fields Development on the Basis of Standard Displacement Characteristics]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2019, No. 4, pp. 44-48. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-4-44-48. EDN: BPVDHG. [in Russian].

Информация об авторах

• Яркеева Наталья Расатовна, кандидат технических наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: yarkeevan@yandex.ru

• Ишмухаметов Камиль Флюрович
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Студент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: ishmukhametovk.f@gmail.com

• Ишмухаметова Аделия Флюровна
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Студент кафедры «Строительные конструкции»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: IAF0309@yandex.ru

• Марушевский Вадим Эдуардович
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Студент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: vadik.marushevskyw@yandex.ru

Information about the authors

• Yarkeeva Natalya R., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas & Oil Fields Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: yarkeevan@yandex.ru

• Ishmukhametov Kamil F.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas & Oil Fields Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: ishmukhametovk.f@gmail.com

• Ishmukhametova Adelia F.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Building Construction Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: IAF0309@yandex.ru

• Vadim E. Marushevsky
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas & Oil Fields Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: vadik.marushevskyw@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2023; одобрена после рецензирования 01.07.2023; принята к публикации 04.09.2023.

The article was submitted 01.06.2023; approved after reviewing 01.07.2023; accepted for publication 04.09.2023.