

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-4-50-59

УДК 622.276

Р.Н. Якубов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация; Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация), **В.А. Стрижнев** (ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация), **Л.Е. Ленченкова** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **А.Г. Телин** (ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНО-ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

Ravil N. Yakubov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation; D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation), **Vladimir A. Strijnev** (Ufa Scientific and Technical Center LLC, Ufa, Russian Federation), **Lyubov E. Lenchenkova** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **Aleksey G. Telin** (Ufa Scientific and Technical Center LLC, Ufa, Russian Federation)

METHODOLOGICAL ASPECTS OF REPAIR AND INSULATION OPERATIONS IMPROVING EFFICIENCY

Введение

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений в условиях старения основного фонда скважин и его массового обводнения особую актуальность приобретают ремонтно-изоляционные работы (РИР). Определяющими направлениями в повышении эффективности и успешности РИР являются выбор скважин-кандидатов на основе обеспечения запланированных уровней добычи и выработки запасов нефти из данных объектов месторождения с обеспечением решения вопросов охраны недр и окружающей среды, а также обоснование технологии и построение дизайна РИР на основе современных цифровизированных подходов в решении рассматриваемой проблемы.

Background

At the late stage of oil field development with an aging of main well stock and its mass flooding, repair and insulation operations (RIO) are of particular relevance. The determining directions in increasing the efficiency and success of the RIO are the selection of candidate wells on the basis of ensuring the planned levels of oil production and recovery from these fields, ensuring the solution of subsurface and environmental protection issues, as well as substantiating the technology and constructing the RIO design on the basis of modern digitalized approaches.

© Якубов Р.Н., Стрижнев В.А., Ленченкова Л.Е., Телин А.Г., 2020

Цели и задачи

Повышение эффективности ремонтно-изоляционных работ путем совершенствования методических подходов к выбору скважин-кандидатов, определению причин обводнения, обоснованию технологии воздействия и прогнозированию технологической эффективности.

Результаты

В работе предложена последовательность операций по выбору осложненных скважин-кандидатов и проектированию технологий РИР на нефтяных месторождениях, включая анализ исходной информации с последующей обработкой для определения проблемных скважин, установления источника обводнения, а также подходы к обоснованию критериев выбора скважин для проведения РИР и прогнозированию технологической эффективности воздействия.

Авторами обоснованы методические подходы к проектированию РИР и разработаны алгоритмы, применение которых позволит повысить успешность и эффективность технологических мероприятий по ограничению притока воды.

Aims and Objectives

Improving the efficiency of repair and insulation operations by improving methodological approaches to the selection of candidate wells, determining the causes of premature flooding, substantiating the repair technology and predicting technological efficiency.

Results

The paper proposes a sequence of operations for the selection of complicated candidate wells and the design of RIO technologies in oil fields, including the analysis of initial information with subsequent processing to identify problem wells, establishing the source of premature flooding, as well as approaches to substantiating the criteria for selecting wells for RIO and predicting technological efficiency.

The authors substantiated methodological approaches to the design of RIO and developed algorithms, which will increase the success and effectiveness of technological measures to limit water inflow.

Ключевые слова: ремонтно-изоляционные работы; преждевременное обводнение; диагностика причин обводнения; алгоритм; скважины-кандидаты; технологическая эффективность

Key words: repair and insulation operations; early water breakthrough; diagnostics of causes of water breakthrough; algorithm; candidate wells; technological efficiency

Анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы выявил отсутствие интегрального и обоснованного подхода к выбору скважин-кандидатов и технологий для проведения ремонтно-изоляционных работ (РИР). Поэтому авторами предлагается комплексный подход к решению рассматриваемой проблемы, основанный на выделении и алгоритмизации всех методических и проектных этапов, необходимых для повышения эффективности и успешности ремонтно-изоляционных работ.

Основные этапы, предлагаемые авторами к рассмотрению:

1. *выявление скважин с избыточной обводненностью;*
2. *определение причин обводнения;*
3. *выбор и обоснование технологии РИР;*
4. *прогнозирование эффективности воздействия.*

Рассмотрим, каждый этап более подробно.

1. На первом этапе выявляются наиболее проблемные скважины с точки зрения динамики обводнения и выработки запасов, а также обладающие наибольшим потенциалом по продуктивности [1, 2].

В работе [3] предварительное ранжирование скважин предлагается производить по величине функции ожидания «Продуктивность - избыточная обводненность», которая учитывает значения текущей нефтенасыщенной толщины, ее средней проницаемости и текущей избыточной обводненности продукции. При этом учитывается потенциал скважины по остаточной продуктивности и по прогнозируемому снижению обводненности продукции после проведения РИР.

В случае отсутствия данных о фазовых проницаемостях анализируемых объектов, необходимых для расчета величин избыточной обводненности продукции скважин, на первом этапе анализа применима функция ожидания «продуктивность - обводненность», использующая величину фактической текущей обводненности.

С использованием программного продукта при наличии базы данных анализ всего добывающего фонда с целью определения скважин с преждевременным обводнением продукции проводится по следующим схемам:

- выбираются скважины с высокой обводненностью добываемой продукции (например 90 % и более), при которой дальнейшая эксплуатация является экономически нецелесообразной;

- выбираются скважины с резким обводнением добываемой продукции за короткий период времени (например при увеличении обводненности на 20-30 % за 2-3 месяца).

Как правило, при первой схеме обводнение обусловлено поступлением к забою подошвенной или закачиваемых вод по высокопроницаемым пропласткам или трещинами в пласте. В этом случае наблюдается постепенный рост обводненности.

По классификатору ремонта скважин данные работы относятся к КР1-1 «Отключение отдельных интервалов и пропластков объекта эксплуатации».

Резкое обводнение скважин при второй схеме наблюдается при возникновении заколонных перетоков между пластами (КР1-3 «Восстановление негерметичности цементного кольца») или обнаружении негерметичности эксплуатационных колонн (КР2 «Устранение негерметичности тампонированием»).

Однако точное определение источника обводнения будет выполняться на следующем этапе проектирования воздействия.

На основе сформированной базы данных проводится анализ всего добывающего фонда с преждевременным обводнением продукции.

В ходе работы оцениваются текущие параметры работы скважин (дебиты по жидкости, нефти и обводненность, забойные давления, коэффициенты продуктивности), остаточные запасы в районе зоны дренирования скважин-кандидатов.

На рисунке 1 представлен схематичный алгоритм выбора скважин-кандидатов для РИР.

Для построения такой схемы в условиях месторождения необходимо выполнение анализа успешности и эффективности проведенных ранее ремонтов.

На основе этих данных строится рекомендательная система (дерево решений для классификации), позволяющая выбрать кандидаты для проведения РИР с учетом обоснованных количественных и качественных критериев.

Представление этой системы в виде дерева принятия решений позволит добиться простоты, удобства и прозрачности алгоритма и избежать эффекта черного ящика, свойственного большинству алгоритмов машинного обучения, когда пользователь не может дать ответ на вопрос, почему было принято именно такое решение.

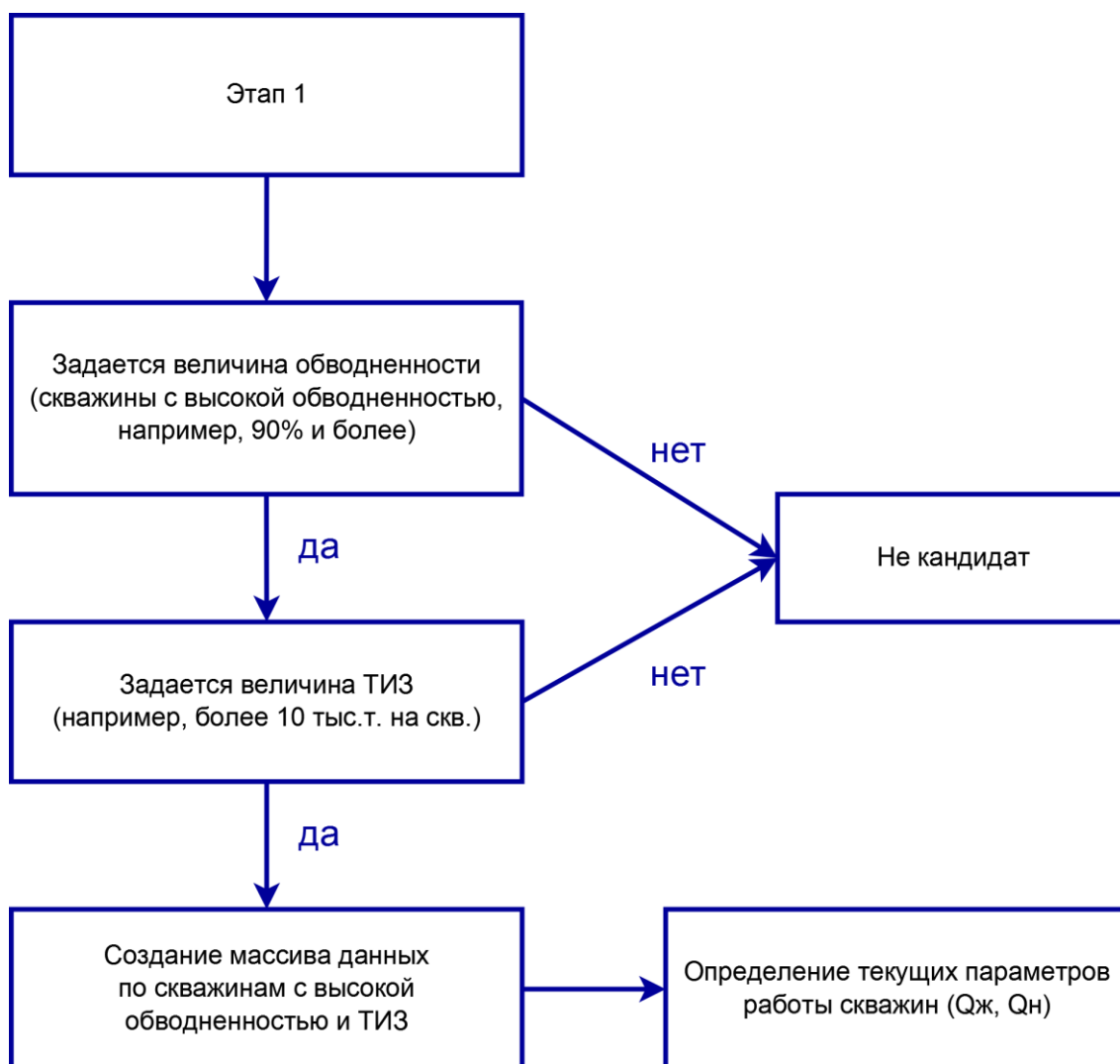


Рисунок 1. Алгоритм выбора скважин-кандидатов для РИР

2. Общепринятыми основными причинами *преждевременного обводнения скважин* являются:

- 1) прорыв нагнетаемой или законтурной воды по высокопроницаемому пропластку или трещине;
- 2) конусообразование;
- 3) заколонный переток;
- 4) негерметичность эксплуатационной колонны.

Рядом авторов рассматриваются следующие методы выявления причин обводнения, а именно [4]:

- инструментальные (промысло-геофизические исследования скважин, трассерные исследования, химический анализ поступающей воды и др.);
- гидродинамические (идентификация причин при интерпретации результатов гидродинамических исследований скважин);

- графо-аналитические (обработка и анализ промысловых данных по скважине).

Наиболее актуальными в настоящий момент времени являются методы 3-й группы, основанные на графо-аналитических методиках [4-8], так как эти методы не требуют материально-технических затрат, используют уже имеющуюся в базах данных промысловую информацию и могут быть автоматизированы.

В работе [4] выполнено сравнение точности различных графо-аналитических методик выявления источника обводнения, таких как алгоритм из работ К.Сирайта и Р.Новатного, методы Д.Уолкотта и Г. Уотерлуда, К.С.Чана, Л.И. Меркуловой и А.А. Гинзбурга, Р.И. Медведского.

В выводах авторы уточняют, что ни одна методика не позволяет точно определить причину обводнения, и для надежной интерпретации следует использовать рассмотренные методы в комплексе.

В других работах предлагается объединение методов из различных групп для увеличения точности определения источника обводнения, так выработан алгоритм взаимодействия результатов интерпретации метода Меркуловой-Гинзбурга и промыслово-геофизических исследований (ПГИ) для определения заколонных перетоков и диагностических графиков Чана и химических методов анализа вод для определения прорывов закачиваемых вод [9].

В работе [10] некоторые методы идентификации причины обводнения реализованы в виде программного модуля в комплексе NGT Smart, что позволяет автоматически строить диагностические графики и выявлять источник обводнения для каждой конкретной скважины на основе имеющихся данных о технологических параметрах её работы.

Таким образом, анализ публикаций, посвященных проблеме определения причин обводнения скважин, подтверждает актуальность и перспективность использования графо-аналитических методик и выявляет

направления повышения их точности и успешности на основе комплексного подхода.

Рассмотрим наиболее распространённые методы.

Метод Чана К.С. основан на использовании зависимости текущего водонефтяного фактора (ВНФ) и его производной $ВНФ'$ от времени в билогарифмических координатах и позволяет определить источник поступления воды в скважину по характерному виду построенных кривых.

Характерные для различных источников обводнения кривые представлены на рисунках 2-4 [11].

Метод Л.И.Меркуловой и А.А. Гинзбурга также относится к графо-аналитическим и основан на построении характеристик обводнения в безразмерных координатах отношения суммы величины накопленной добычи воды и нефти за водный период на определенную дату к аналогичной сумме, но на дату анализа (координата x) и отношения величины накопленной добычи нефти к сумме накопленной добычи воды и нефти (координата y). Особенностью метода Меркуловой-Гинзбурга является использование интегральных показателей эксплуатации скважин (накопленной добычи нефти и воды).

На рисунке 5 представлена блок-схема алгоритма определения причин обводнения.

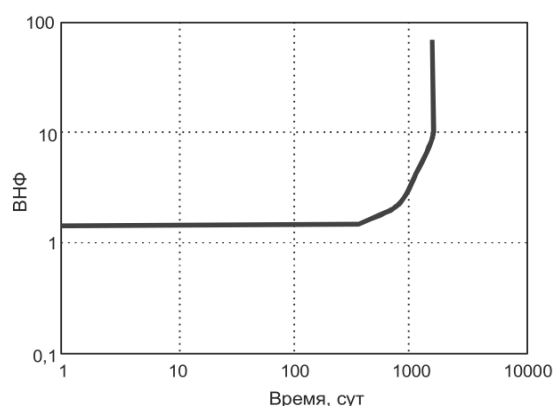


Рисунок 2. Негерметичность эксплуатационной колонны, заколонный переток

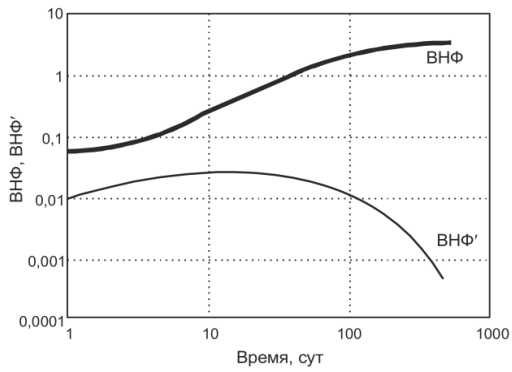


Рисунок 3. Конусообразование

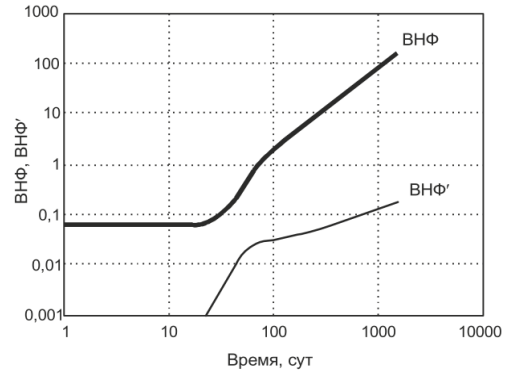


Рисунок 4. Прорыв по высокопроницаемому пропластку законтурных или закачиваемых вод

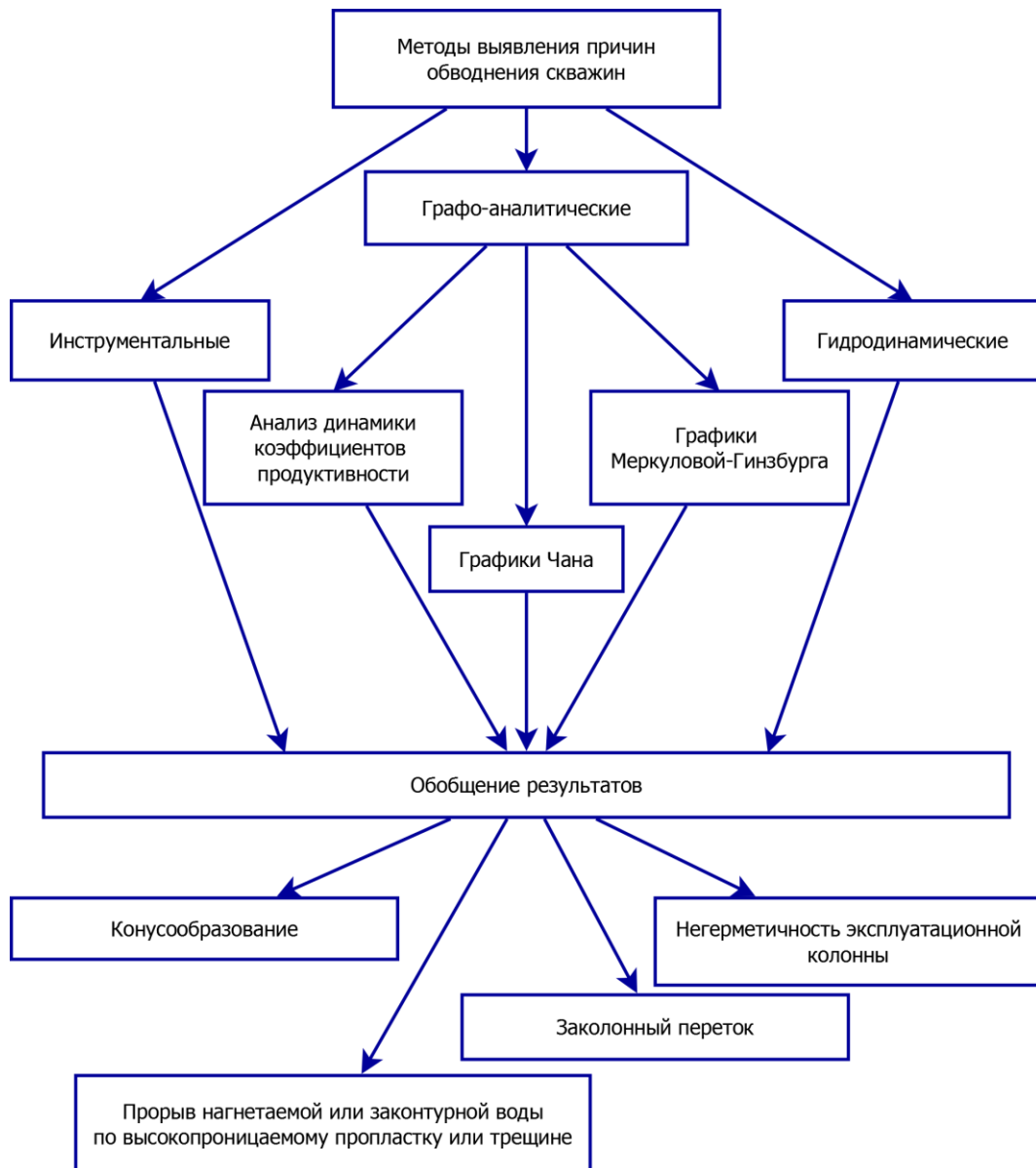


Рисунок 5. Алгоритм определения причины обводнения

3. После выявления причины обводнения скважины-кандидата следует выполнить *выбор и обоснование технологии проведения РИР*. Для этого предложено много различных систем принятия решений, основанных на критериях эффективного применения технологии в конкретных геолого-физических и технологических условиях эксплуатации скважины. Поэтому рассмотрение примеров подобных систем в рамках данной работы нецелесообразно, так как эта тема заслуживает отдельного внимания.

4. На следующем этапе определяются *прогнозные параметры работы скважины после РИР*. Прогнозирование технологической эффективности может осуществляться различными методиками, которые можно классифицировать следующим образом.

1) Статистические - методики, основанные на анализе результатов проведенных ранее мероприятий на скважинах рассматриваемого месторождения или в аналогичных геолого-физических условиях.

2) Аналитические - методики, основанные на применении аналитических законов, описывающих процессы притока флюидов в скважину до и после проведения РИР с учетом изменения характеристик притока в результате проведения технологических работ.

3) Математическое моделирование - применение численных гидродинамических моделей.

Наиболее перспективными являются методы, основанные на гидродинамическом моделировании процесса, так как численные модели в отличие от аналитических позволяют учитывать большее количество влияющих факторов и выполнять более точный прогноз. В отличие от статистических методов прогнозирования эффективности для гидродинамической модели необязательно использование исторической информации, а в случае её наличия выполняется адаптация модели для повышения точности её расчетов. Вычислительные мощности современных офисных компьютеров позволяют выполнять численные расчеты по прогнозированию эффективности РИР на рабочем месте исполнителя.

В последние годы становится актуальным направление применения методов «Big

Data» в нефтегазовой отрасли. По мнению авторов, анализ базы МЭР, результатов гидродинамических исследований, эффективности ремонтно-изоляционных работ с начала разработки месторождения методами «Big Data» и «Machine Learning» (методы кластеризации, классификации) в вопросах выбора скважин-кандидатов и технологий РИР позволит выявить неочевидные закономерности и повысить успешность проектируемых работ.

Выводы

Такой параметр, как технологическая успешность РИР, как и успешность (надежность) любого последовательного процесса будет обладать свойством мультипликативности, т.е. определяться произведением коэффициентов успешности (надежности) каждого промежуточного этапа:

$$K_{\text{усп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

где K_1 - успешность этапа по выявлению скважин с избыточной обводненностью;

K_2 - успешность этапа по определению причин обводнения;

K_3 - успешность этапа по выбору технологии РИР;

K_4 - успешность этапа по прогнозированию эффективности и обоснованию оптимальных технологических параметров воздействия;

K_5 - успешность технологического этапа на промысле;

$K_{\text{усп}}$ - успешность применения РИР в целом по объекту.

В процессе проектирования РИР авторы выделили 4 основных этапа, завершающим пятым этапом станут промысловые операции по закачке технологических жидкостей в скважину. По этой причине рассмотрение каждого этапа в отдельности и их совершенствование являются основой для повышения технологической эффективности проведения ремонтно-изоляционных работ в обводненных скважинах.

Объединение вышеописанных этапов в единый «workflow» и его автоматизация на базе имеющихся в нефтяных компаниях про-

граммных продуктов для мониторинга процессов разработки позволит значительно сократить время выбора скважин-кандидатов и снизить зависимость успешности РИР от квалификации специалиста на основе применения обоснованных критериев в автоматизированной системе подбора скважин-

кандидатов и технологий при проектировании мероприятий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24086.

Список литературы

1. Усманов Т.С., Хатмуллин И.Ф., Мухамедшин Р.К., Муллагаллин И.З., Телин А.Г., Афанасьев И.С., Чукашов В.Н., Тазиев М.М. Снижение рисков при проведении ремонтно-изоляционных работ // Нефтяное хозяйство. 2004. № 8. С. 86-89.
2. Стрижнев К.В. Ремонтно-изоляционные работы в скважинах: теория и практика. СПб.: Недра, 2010. 560 с.
3. Латыпов А.Р., Куликов А.Н., Стрижнев В.А. Совершенствование методики выбора скважин для проведения работ по изоляции источников обводнения в добывающих скважинах // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 5. С. 91-95.
4. Федоров К.М., Печерин Т.Н. Сравнительная эффективность методик диагностики причин обводнения продукции // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. № 4. С. 49-57.
5. Куликов А.Н., Магзянов И.Р., Штинов В.А. Графоаналитическая методика диагностики обводнения нефтяных скважин // Нефтепромысловое дело. 2012. № 8. С. 11-17.
6. Dokhon W., Alkayadi F., Dallag M. Characterizing Water Breakthrough Using Analytical Diagnostic Workflow // Materials of International Petroleum Technology Conference. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia. 2020. IPTC-20274-Abstract. DOI: 10.2523/IPTC-20274-Abstract.
7. Yang R., Zhang J., Yang L., Jiang R. A New Model for Predicting Productivity Index Pending Water Breakthrough in Oil Field // Materials of SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. Abu Dhabi, UAE. 2015. SPE-177563-MS. DOI: 10.2118/177563-MS.
8. Al Shehri D. Comprehensive Evaluation of Water Breakthrough with a Novel Method to Estimate Water Production // Gas and Oil Technology: Materials of SPE Showcase and Conference. Dubai, UAE. 2019. SPE-198643-MS. DOI: 10.2118/198643-MS.
9. Шорохов А.Н., Азаматов М.А., Сохошко С.К. Разработка комплексного алгоритма взаимодействия аналитических методов для определения источника обводнения на нефтяных добывающих скважинах // Технологии нефти и газа. 2014. № 2 (91). С. 46-49.

References

1. Usmanov T.S., Khatmullin I.F., Mukhamedshin R.K., Mullagalin I.Z., Telin A.G., Afanasev I.S., Chukashov V.N., Taziev M.M. Snizhenie riskov pri provedenii remontno-izolyatsionnykh rabot [Decrease of Risks at Performance of Repair - Insulating Works]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2004, No. 8, pp. 86-89. [in Russian].
2. Strizhnev K.V. *Remontno-izolyatsionnye raboty v skvazhinakh: teoriya i praktika* [Repair and Isolation Works in Wells: Theory and Practice]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2010. 560 p. [in Russian].
3. Latypov A.R., Kulikov A.N., Strizhnev V.A. Sovershenstvovanie metodiki vybora skvazhin dlya provedeniya rabot po izolyatsii istochnikov obvodneniya v dobyvayushchikh skvazhinakh [Improving the Methodology for Selecting Wells for Isolating Water Cut Sources in Producing Wells]. *Neft' i gaz. Novatsii - Oil. Gaz. Novation*, 2009, No. 5, pp. 91-95. [in Russian].
4. Fedorov K.M., Pecherin T.N. Sravnitel'naya effektivnost' metodik diagnostiki prichin obvodneniya produktsii [Comparative Effectiveness of Techniques of Production Water Cut Causes Diagnostics]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz - The Journal «Oil and Gas Studies»*, 2009, No. 4, pp. 49-57. [in Russian].
5. Kulikov A.N., Magzyanov I.R., Shtinov V.A. Grafoanaliticheskaya metodika diagnostiki obvodneniya neftyanykh skvazhin [Graph-Analytical Methodology of Diagnosing of Oil Wells Water-Flooding]. *Neftpromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 2012, No. 8, pp. 11-17. [in Russian].
6. Dokhon W., Alkayadi F., Dallag M. Characterizing Water Breakthrough Using Analytical Diagnostic Workflow. *Materials of International Petroleum Technology Conference*. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020, IPTC-20274-Abstract. DOI: 10.2523/IPTC-20274-Abstract.
7. Yang R., Zhang J., Yang L., Jiang R. A New Model for Predicting Productivity Index Pending Water Breakthrough in Oil Field. *Materials of SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. Abu Dhabi, UAE, 2015, SPE-177563-MS. DOI: 10.2118/177563-MS.

10. Шорохов А.Н., Азаматов М.А. Внедрение программного модуля оперативной диагностики источника обводнения на нефтяных добывающих скважинах // Георесурсы. 2013. № 2 (52). С. 11-14.

11. Синцов И.А., Остапчук Д.А. Диагностика причин обводнения горизонтальных скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 5. С. 30-33.

8. Al Shehri D. Comprehensive Evaluation of Water Breakthrough with a Novel Method to Estimate Water Production. *Materials of SPE Showcase and Conference «Gas and Oil Technology»*. Dubai, UAE, 2019, SPE-198643-MS. DOI: 10.2118/198643-MS.

9. Shorokhov A.N., Azamatov M.A., Sokhoshko S.K. Razrabotka kompleksnogo algoritma vzaimodeystviya analiticheskikh metodov dlya opredeleniya istochnika obvodneniya na neftyanykh dobyvayushchikh skvazhinakh [Development of Complex Algorithm of Analytical Methods Interworking for Water Source Determination in Oil Production Wells]. *Tekhnologii nefti i gaza - Science and Technology of Hydrocarbons*, 2014, No. 2 (91), pp. 46-49. [in Russian].

10. Shorokhov A.N., Azamatov M.A. Vnedrenie programmnoy modulya operativnoi diagnostiki istochnika obvodneniya na neftyanykh dobyvayushchikh skvazhinakh [The Introduction of Rapid Diagnostic Software Module of Watering Source on the Oil Producing Wells]. *Georesursy - Georesursy*, 2013, No. 2 (52), pp. 11-14. [in Russian].

11. Sintsov I.A., Ostapchuk D.A. Diagnostika prichin obvodneniya gorizontalnykh skvazhin [Diagnostics of Causes Leading to Horizontal Wells Water-Flooding]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii - Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2014, No. 5, pp. 30-33. [in Russian].

Авторы

• Якубов Равиль Наилевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-17-71
Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева
Магистрант
Российская Федерация, 125047, г. Москва,
Миусская площадь, 9
e-mail: rnyakubov@gmail.com

• Стрижнев Владимир Алексеевич, канд. техн.
наук
ООО «Уфимский научно-технический центр»
Эксперт
Российская Федерация, 450076, г. Уфа,
ул. Аксакова, 59
e-mail: strijnevva@ufntc.ru

The Authors

• Yakubov Ravil N., 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,
Russian Federation
tel: (347) 243-17-71
D. Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia
Undergraduate Student
9, Miuskaya sqv., Moscow, 125047,
Russian Federation
e-mail: rnyakubov@gmail.com

• Strijnev Vladimir A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa Scientific and Technical Center LLC
Expert
59, Aksakova str., Ufa, 450076,
Russian Federation
e-mail: strijnevva@ufntc.ru

• Ленченкова Любовь Евгеньевна, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: lenchenkoval@mail.ru

• Lenchenkova Lyubov E., Doctor of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Oil and Gas&Oil Fields Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: lenchenkoval@mail.ru

• Телин Алексей Герольдович, канд. хим. наук
ООО «Уфимский научно-технический центр»
Заместитель директора по научной работе
Российская Федерация, 450076, г. Уфа, ул. Аксакова, 59
e-mail: telinag@ufntc.ru

• Telin Aleksey G., Candidate of Chemical Sciences
Ufa Scientific and Technical Center LLC
Deputy Director for Research
59, Aksakova str., Ufa, 450076,
Russian Federation
e-mail: telinag@ufntc.ru