Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 84–94. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2021. Vol. 19, No. 5, P. 84–94. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 622.276

doi: 10.17122/ngdelo-2021-5-84-94

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК

Роман Анатольевич Козихин¹, Арслан Миргаязович Даминов¹,
Ирик Галиханович Фаттахов^{1,2}, Эльчин Фикрет оглы Велиев³,
Айрат Ханифович Габбасов¹, Любовь Сергеевна Кулешова²,
Альбина Ринатовна Сафиуллина², Дина Ириковна Кобища²,
Альфира Хамитовна Габзалилова², Дилара Ильмировна Ахметшина²

¹ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, Октябрьский, Россия

³НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджанская Республика

Автор, ответственный за переписку

Любовь Сергеевна Кулешова, vsh@of.ugntu.ru

Аннотация. Работа проведена с целью оценки характера воздействия на пласт кислотных обработок. В ходе работы проведен сравнительный анализ результатов опытно-промышленных работ по реализации технологии большеобъемных кислотных обработок, обработок пласта с относительно высокими удельными объемами кислотных композиций, а также кислотных гидроразрывов пласта. Всего в статистических и факторных анализах использовались результаты более чем по 200 скважинным операциям. Удельные объем и расход кислотной композиции определяют величину прироста среднесуточного дебита и длительность эффекта от обработки. Выявлены факторы, приводящие к снижению эффективности кислотных обработок: уровень пластового давления менее 40 % от начального; наличие активных водонасыщенных зон питания, обеспечивающих сохранение пластовой энергии, но при этом повышающих риск прорыва воды.

Ключевые слова

кислотная обработка пласта,
скорость закачки кислоты,
удельный расход кислоты,
прирост добычи,
факторы эффективности

Для цитирования

Козихин Р.А., Даминов А.М., Фаттахов И.Г., Велиев Э.Ф., Габбасов А.Х., Кулешова Л.С., Сафиуллина А.Р., Кобища Д.И., Габзалилова А.Х., Ахметшина Д.И. Оценка характера воздействия на пласт кислотных обработок // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 84–94. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-84-94>.

Original article

ASSESSMENT OF THE ACID TREATMENTS IMPACT ON THE RESERVOIR

Roman A.Kozikhin¹, Arslan M. Daminov¹, Irik G. Fattakhov^{1,2}, Elchin F. Veliyev³,
Ayrat Kh. Gabbasov¹, Lyubov S. Kuleshova², Albina R. Safiullina²,
Dina I. Kobishcha², Alfira Kh. Gabzalilova², Dilara I. Akhmetshina²

¹Tatneft PJSC, Almeteyevsk, Russia

²Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Oktyabrsky, Russia

³Oil Gas Scientific Research Project Institute, SOCAR, Baku, Republic of Azerbaijan

Corresponding author

Lyubov S. Kuleshova, vsh@of.ugntu.ru

Abstract. The work has been carried out to assess the nature of the acid treatments impact on the reservoir. In the course of the work, a comparative analysis of experimental and industrial works on the technology of large-volume acid treatments implementation, reservoir treatments with relatively high specific volumes of acid compositions, as well as acid hydraulic fracturing was carried out. In total, the results of more than 200 well operations were used in statistical and factor analyses. The specific volume and consumption of the acid composition determine the increase in the average daily flow rate and the duration of the treatment effect. The factors that lead to a decrease in the acid treatments efficiency are identified: the level of reservoir pressure less than 40 % of the initial one; the presence of active water-saturated feeding zones that ensure the conservation of reservoir energy, but at the same time increase the risk of water breakthrough.

Keywords

reservoir acid treatment,
acid injection rate, specific acid flow,
production growth,
efficiency factors

For citation

Kozikhin R.A., Daminov A.M., Fattakhov I.G., Veliyev E.F. Gabbasov A.Kh., Kuleshova L.S., Safiullina A.R., Kobishcha D.I., Gabzalilova A.Kh., Akhmetshina D.I. Otsenka kharaktera vozddeistviya na plast kislotnykh obrabotok [Assessment of the Acid Treatments Impact on the Reservoir]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2021, Vol. 19, No. 5, pp. 84–94. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-84-94>.

Введение

По характеру воздействия на пласт все кислотные обработки можно разделить на:

— интенсификацию добычи нефти — характеризуется увеличением коэффициента продуктивности при сохранении или снижении величины пластового давления — увеличение скорости отбора существующих запасов нефти;

— приобщение ранее недренируемых зон (увеличение нефтеотдачи) — характеризуется ростом пластового давления при повышении или сохранении коэффициента продуктивности — увеличение активных запасов нефти.

На эффективность кислотных обработок влияет ряд факторов, основными из которых являются: протяжённость обрабатываемого интервала перфорации или вскрытой толщины пласта, обводнёность продукции скважины до проведения мероприятия, состояние пластового давления на момент планирования

и проведения обработок как показатель энергетического потенциала пласта, расход кислотной композиции при реализации технологии (анализируемый фактор). Для корректного анализа влияния расхода кислотной композиции на эффективность кислотных обработок необходимо учитывать влияние всех перечисленных факторов [1–15].

Методы и материалы

Выявленные факторы и полученные результаты, позволившие предложить и внедрить изменения в технологии, были получены в результате статистического анализа, факторного анализа и числового моделирования.

Результаты и дискуссия

Оценка характера воздействия на пласт в результате кислотных обработок

На кросс-плотах (рисунки 1–3) приведены распределения обработок по величине изме-

нения коэффициента продуктивности и пластового давления после обработок. Размер круга на верхних диаграммах соответствует приросту дебита жидкости, на нижних — изменению обводнённости продукции скважин в процентных пунктах. Цветом выделены зоны, соответствующие тому или иному характеру воздействия на пласт.

Сравнительный анализ распределений (рисунки 1–3) показал, что большинство большеобъемных солянокислотных обработок (БСКО), проведённых в рамках опытно-промышленных работ (ОПР), по характеру воздействия на пласт можно отнести к интенсификации добычи нефти, и напротив, более половины всех кислотных гидроразрывов

пласта (КГРП) и БСКО с повышенным расходом кислотной композиции (КК) можно отнести к увеличению охвата пласта воздействием. Основными причинами данного различия в характере воздействия на пласт являются более высокие удельные объём и расход кислоты при обработке. Таким образом, проведение БСКО при увеличении удельного объёма кислоты более $5 \text{ м}^3/\text{м}$ с одновременным повышением расхода КК более $5 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$ обрабатываемой толщины при давлении закачки ниже давления гидроразрыва повышает вероятность подключения ранее недренируемых участков пласта и приобщения дополнительных запасов нефти [16–29].

Рисунок 1. Результаты проведения большеобъемных солянокислотных обработок с повышенным расходом кислотной композиции

Figure 1. Results of large-volume hydrochloric acid treatments with increased consumption of acid composition

Рисунок 2. Результаты проведения кислотных гидроразрывов пласта в режиме образования новых трещин

Figure 2. Results of acid hydraulic fracturing treatment in the mode of new fractures formation

Большинство БСКО с повышенным расходом кислотной композиции характеризуется ростом пластового давления при повышении или сохранении коэффициента продуктивности, в ряде случаев наблюдается значительное снижение обводнённости продукции. Это свидетельствует о приобщении ранее недренируемых запасов нефти. Данный факт также подтверждается изменением состава нефти.

Следует отметить, что при проведении КГРП в режиме образования трещин, т.е. при давлении закачки выше давления гидрораз-

рыва, наблюдается увеличение количества обработок, результатом которых стало резкое повышение продуктивности за счёт прорыва воды — по скважинам, находящимся в зонах с относительно высокими пластовыми давлениями и активной зоной питания.

Результатом большей части проведённых в рамках ОПР БСКО является увеличение коэффициента продуктивности от 2 до 6 раз без значительного увеличения пластового давления.

Рисунок 3. Результаты проведения большеобъемных солянокислотных обработок в рамках опытно-промышленных работ

Figure 3. Results of large-volume hydrochloric acid treatments while industrial works

Оценка продолжительности эффекта от кислотных обработок

Эффективность обработок рассматривалась в совокупности прироста среднесуточного дебита нефти и продолжительности эффекта от проведения обработки. Результаты представлены на рисунке 4.

Анализ показал, что приросты среднесуточного дебита нефти при БСКО независимо от расхода кислотной композиции имеют сходные значения, но длительность эффекта в

случае БСКО с повышенным расходом кислотной композиции значительно выше — 30–40 мес. против 14 мес. при БСКО с удельным расходом кислотной композиции менее 5 м³/ч·м пласта. Это, возможно, связано с приобщением ранее недренируемых запасов нефти с увеличением пластового давления.

КГРП по продолжительности эффекта сопоставим с БСКО с повышенным расходом кислотной композиции, однако характеризуется более низкими приростами среднесуточ-

Рисунок 4. Сравнительная оценка приростов и продолжительности эффектов

Figure 4. Comparative assessment of increments and duration of effects

ного дебита нефти и значительной долей обработок (17 %) с отрицательными приростами вследствие прорыва воды.

Применение технологии БСКО в качестве метода интенсификации добычи нефти в условиях высокой выработанности запасов нецелесообразно в связи с низкими сроками эффекта. Аналогичной эффективности можно достичь менее дорогостоящими методами воздействия на карбонатный коллектор [30–33].

Применение технологии БСКО в режиме повышенного расхода кислотной композиции в качестве технологии повышения охвата пласта воздействием наиболее перспективно в связи со значительно большими сроками эффекта, обусловленными подключением ранее недренируемых запасов.

Выводы

По результатам работы подтвердились гипотезы о влиянии скорости закачки и удельного расхода кислотной композиции на эффективность проводимых обработок. Выявлены факторы, повышающие риск проведения неэффективных мероприятий: превышение давления гидроразрыва пласта в процессе реализации технологии значительно увеличивает риск обводнения скважины после обработки; энергетическое состояние пласта — уровень пластового давления на целевом объекте разработки ниже 40 % от начального; наличие активных водонасыщенных зон питания, обеспечивающих поддержание пластовой энергии в процессе разработки, но повышающие риск прорыва воды.

С целью повышения эффективности обработок карбонатных коллекторов было приняты следующие изменения в технологию: при расчёте плановых объёмов кислотной композиции использовать удельные величины параметров в зависимости от длины обрабатываемого интервала или перфорированной толщины, закачку кислотной композиции вести при максимально возможном удельном расходе (не менее $1,8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$), без превышения

давления гидроразрыва пласта, снизить величину минимального допустимого уровня для проведения большеобъемных кислотных обработок пластового давления с 60 % до 40 % от начального. Кроме того, были введены ограничения при подборе скважин-кандидатов: не проводить обработки в случае близости зоны питания, характеризующейся сохранением пластового давления при значительных накопленных отборах по скважине.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mahmoud M., Barri A., Elkatatny S. Mixing Chelating Agents with Seawater for Acid Stimulation Treatments in Carbonate Reservoirs // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. Vol. 152. P. 9-20. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.02.005.
2. Мухаметшин В.В. Адаптация соляно-кислотного воздействия на залежах в карбонатных коллекторах // *Нефтегазовое дело*. 2006. Т. 4. № 1. С. 127-131.
3. Li N., Dai J., Liu P., Luo Z., Zhao L. Experimental Study on Influencing Factors of Acid-Fracturing Effect for Carbonate Reservoirs // *Petroleum*. 2015. Vol. 1. Issue 2. P. 146-153. DOI: 10.1016/j.petlm.2015.06.001.
4. Мухаметшин В.Ш., Андреев В.Е., Ахметов Р.Т. Повышение эффективности использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти // *Нефтегазовое дело*. 2015. Т. 13. № 4. С. 122-125.
5. Mukhametshin V.V. Bottomhole Formation Zone Treatment Process Modelling with the Use Geological and Geophysical Information // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 194. Article Number 022024. DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022024.
6. Safari A., Rashidi F., Kazemzadeh E., Hassani A. Determining Optimum Acid Injection Rate for a Carbonate Gas Reservoir and Scaling the Result up to the Field Conditions: A Case Study // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2014. Vol. 20. P. 2-7. DOI: 10.1016/j.jngse.2014.05.017.
7. Mukhametshin V.Sh., Kotenev Yu.A., Sultanov Sh.Kh. Assessment of the Need to Stimulate the Development of Hard-to-Recover Reserves in Carbonate Reservoirs // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 194. Article Number 082027. DOI: 10.1088/1755-1315/194/8/082027.
8. Ахметов Р.Т., Андреев А.В., Мухаметшин В.В. Методика прогноза остаточной нефтенасыщенности и коэффициента вытеснения по данным геофизических исследований для оценки эффективности применения нанотехнологий // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2017. Т. 9. № 5. С. 116-133. URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-5-2017/116-133.pdf (дата обращения: 08.08.2021). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-5-116-133.
9. Зиновьев А.М., Птичкин П.А., Котляров С.О., Гаврюшин А.С. Геолого-технологическое обоснование проведения кислотного гидроразрыва пласта в добывающих скважинах // *Нефтепромысловое дело*. 2020. № 4 (616). С. 17-22. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-4(616)-17-22.
10. Хайрединов Н.Ш., Попов А.М., Мухаметшин В.Ш. Повышение эффективности заводнения низкопродуктивных залежей нефти в карбонатных коллекторах // *Нефтяное хозяйство*. 1992. № 9. С. 18-20.
11. Фаттахов И.Г., Малышев П.М., Шакурова А.Ф., Шакурова Ал.Ф., Сафиуллина А.Р. Диагностический анализ вопроса эффективности проведения гидравлического разрыва пласта // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2-27. С. 6023-6029.
12. Мухаметшин В.Ш. Моделирование процесса нефтеизвлечения с использованием опыта разработки месторождений, находящихся длительное время в эксплуатации // *Нефтегазовое дело*. 2011. Т. 9. № 4. С. 47-50.
13. Юсифов Т.Ю., Попов В.Г., Фаттахов И.Г., Сафиуллина А.Р., Исмаилов Ф.С. Гидроразрыв пласта и его эффективное применение // *Научное обозрение*. 2015. № 8. С. 23-28.
14. Зейгман Ю.В., Лысенков А.В., Мухаметшин В.В., Султанов Ш.Х., Котенев Ю.А. К вопросу выбора технологии кислотного воздействия для интенсификации добычи нефти // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2017. № 6. С. 44-50.
15. Нургалиев Р.З., Козихин Р.А., Фаттахов И.Г., Кулешова Л.С. Перспективы применения новых технологий при оценке влияния геолого-технологических рисков // *Горный журнал*. 2019. № 4. С. 36-40. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.08.
16. Kotenev Yu.A., Mukhametshin V.Sh., Sultanov Sh.Kh. Energy-Efficient Technology for Recovery of Oil Reserves with Gas Injection // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 194. Article Number 082019. DOI: 10.1088/1755-1315/194/8/082019.
17. Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш., Хафизов А.Р., Харина С.Б., Абуталипова Е.М., Авренюк А.Н. Особенности выбора составов жидкостей глушения скважин в осложненных условиях эксплуатации скважин // *Нефтяное хозяйство*. 2017. № 1. С. 66-69.
18. Teklu T.W., Abass H.H., Hanashmoon R., Caratu J.C., Ermila M. Experimental Investigation of Acid Imbibition on Matrix and Fractured Carbonate Rich Shales // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017. Vol. 45. P. 706-725. DOI: 10.1016/j.jngse.2017.06.001.
19. Андреев В.Е., Хузин Р.Р., Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С., Чижов А.П., Чибисов А.В. Результаты геолого-технологического обоснования методов воздействия на остаточные запасы в условиях Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторож-*

дений. 2018. № 11. С. 67-71. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-11-67-71.

20. Якупов Р.Ф., Гимазов А.А., Мухаметшин В.Ш., Макаев Р.И. Аналитическая методика оценки эффективности технологии отбора прикровельной нефти из водоплавающих залежей, верифицированная на гидродинамической модели // Нефтяное хозяйство. 2018. № 6. С. 66-69. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-6-66-69.

21. Федюшкин К.Г., Карапузов И.А. Проведение кислотного гидроразрыва пласта на Герасимовском месторождении // Наукосфера. 2020. № 7. С. 79-83.

22. Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.Ш., Сергеев В.В., Кинзябаев Ф.С. Экспериментальное исследование вязкостных свойств эмульсионных систем с содержанием наночастиц SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2017. Т. 9. № 2. С. 16-38. URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-2-2017/16-38.pdf (дата обращения: 05.05.2021). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-2-16-38.

23. Akhmetov R.T., Mukhametshin V.V. Estimation of Displacement Coefficient with Due Account for Hydrophobization of Reservoir Using Geophysical Data of Wells // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 194. Article Number 062001. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062001.

24. Кашапова Э.А., Зарипов Л.Ф., Морозов М.А., Кулешова Л.С., Фаттахов И.Г., Бахир А.С. Использование характеристик вытеснения для оценки эффективности проведения соляно-кислотных обработок // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2019: сб. тр. междунаrod. науч.-технич. конф.: В 2 Т. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. Т. 1. С. 139-143.

25. Мухаметшин В.Ш., Попов А.М., Гончаров А.М. Промысловое обоснование выбора скважин и технологических параметров при проведении соляно-кислотных обработок // Нефтяное хозяйство. 1991. № 6. С. 32-33.

26. Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Kochetkov A.V., Galiullina I.F., Andaryanov I.G., Safiullina A.R., Gizatul'lin I.R. The Use of a Liquid Destructor with Flow into the Stream During the Injection of the Fracturing Mixture // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 952. Article Number 012044. DOI: 10.1088/1757-899X/952/1/012044.

27. Ахметов Р.Т., Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С. Использование гангельной модели для определения абсолютной проницаемости коллекторов по кривым капиллярного давления // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2019. № 4 (328). С. 52-56. DOI: 10.30713/2413-5011-2019-4(328)-52-56.

28. Юсифов Т.Ю.О., Фаттахов И.Г., Зиятдинов А.М., Ахметшина Д.И., Сафиуллина А.Р. Влияние напряженного состояния пласта на формирование трещины гидравлического разрыва // Научное обозрение. 2015. № 19. С. 97-102.

29. Babichev I.N., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Zaripov L.F., Morozov M.A. Potential for the Wellbore Zone Development Using the Dynamic Impact // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 378. Article Number 012111. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012111.

30. Safaria A., Dowlatabad M.M., Hassani A., Rashidi F. Numerical Simulation and X-Ray Imaging Validation of

Wormhole Propagation During Acid Core-Flood Experiments in a Carbonate Gas Reservoir // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 30. P. 539-547. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.02.036.

31. Kozikhin R.A., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Andreev V.E., Safiullina A.R., Gabbasov A.Kh., Andaryanov I.G. Improvement of the Efficiency of Horizontal Wells // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 952. Article Number 012056. DOI: 10.1088/1757-899X/952/1/012056.

32. Мухаметшин В.В., Андреев В.Е., Хузин Р.Р., Кулешова Л.С., Чижов А.П., Чибисов А.В. Геолого-промысловое обоснование методов воздействия на пласт на примере эксплуатационных объектов месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 10. С. 40-45. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-8-40-45.

33. Kozikhin R.A., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Gabbasov A.Kh. Scenario Approach for Increasing Efficiency of Wells Operation with the Horizontal Termination // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 194. Article Number 082020. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062013.

REFERENCES

1. Mahmoud M., Barri A., Elkhatatny S. Mixing Chelating Agents with Seawater for Acid Stimulation Treatments in Carbonate Reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2017, Vol. 152, pp. 9-20. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.02.005.

2. Mukhametshin V.V. Adaptatsiya solyano-kislotnogo vozdeistviya na zalezkhakh v karbonatnykh kolektorakh [Adaptation of Hydrochloric Acid Impact on Deposits in Carbonate Reservoirs]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2006, Vol. 4, No. 1, pp. 127-131. [in Russian].

3. Li N., Dai J., Liu P., Luo Z., Zhao L. Experimental Study on Influencing Factors of Acid-Fracturing Effect for Carbonate Reservoirs. *Petroleum*, 2015, Vol. 1, Issue 2, pp. 146-153. DOI: 10.1016/j.petlm.2015.06.001.

4. Mukhametshin V.Sh., Andreev V.E., Akhmetov R.T. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursnoi bazy mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami nefi [Increase of Resource Base Usage Efficiency in Hard Removable Oil Fields]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2015, Vol. 13, No. 4, pp. 122-125. [in Russian].

5. Mukhametshin V.V. Bottomhole Formation Zone Treatment Process Modelling with the Use Geological and Geophysical Information. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 194, Article Number 022024. DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022024.

6. Safari A., Rashidi F., Kazemzadeh E., Hassani A. Determining Optimum Acid Injection Rate for a Carbonate Gas Reservoir and Scaling the Result up to the Field Conditions: A Case Study. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2014, Vol. 20, pp. 2-7. DOI: 10.1016/j.jngse.2014.05.017.

7. Mukhametshin V.Sh., Kotenev Yu.A., Sultanov Sh.Kh. Assessment of the Need to Stimulate the Development of Hard-to-Recover Reserves in Carbonate Reservoirs. *IOP Conference Series: Earth and*

Environmental Science, 2018, Vol. 194, Article Number 082027. DOI: 10.1088/1755-1315/194/8/082027.

8. Akhmetov R.T., Andreev A.V., Mukhametshin V.V. Metodika prognoza ostatochnoi nefenasyschennosti i koefitsienta vytesneniya po dannym geofizicheskikh issledovaniy dlya otsenki effektivnosti primeneniya nanotekhnologii [Residual Oil Saturation and the Displacement Factor Prediction Methodology Based on Geophysical Studies Data to Evaluate Efficiency of Nanotechnologies Application]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal — Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*, 2017, Vol. 9, No. 5, pp. 116-133. URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-5-2017/116-133.pdf (accessed 08.08.2021). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-5-116-133. [in Russian].
9. Zinovev A.M., Ptichkin P.A., Kotlyarov S.O., Gavryushin A.S. Geologo-tehnologicheskoe obosnovanie provedeniya kislotnogo gidrorazryva plasta v dobyvayushchikh skvazhinakh [Geological-Technological Substantiation for Conducting Hydraulic Fracturing of a Formation in Production Wells]. *Neftepromyslovoe delo — Oilfield Engineering*, 2020, No. 4 (616), pp. 17-22. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-4(616)-17-22. [in Russian].
10. Khairedinov N.Sh., Popov A.M., Mukhametshin V.Sh. Povyshenie effektivnosti zavodneniya nizkoproduktivnykh zalezhei nefi v karbonatnykh kollektorakh [Improving the Efficiency of Waterflooding of Low-Producing Oil Deposits in Carbonate Reservoirs]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 1992, No. 9, pp. 18-20. [in Russian].
11. Fattakhov I.G., Malyshev P.M., Shakurova A.F., Shakurova A.I., Safiullina A.R. Diagnosticheskii analiz voprosa effektivnosti provedeniya gidravlicheskogo razryva plasta [Diagnostic Analysis of the Question of the Effectiveness of Hydraulic Fracturing]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, 2015, No. 2-27, pp. 6023-6029. [in Russian].
12. Mukhametshin V.Sh. Modelirovanie protsessa nefteizvlecheniya s ispol'zovaniem opyta razrabotki mestorozhdenii, nakhodyashchikhsya dlitel'noe vremya v eksploatatsii [Model Forecast of the Oil Recovery Process Using Development Experience of Old-Run Fields]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2011, Vol. 9, No. 4, pp. 47-50. [in Russian].
13. Yusifov T.Yu., Popov V.G., Fattakhov I.G., Safiullina A.R., Ismailov F.S. Gidrorazryv plasta i ego effektivnoe primeneniye [Hydraulic Fracturing and its Effective Application]. *Nauchnoe obozrenie — Science Review*, 2015, No. 8, pp. 23-28. [in Russian].
14. Zeigman Yu.V., Lysenkov A.V., Mukhametshin V.V., Sultanov Sh.Kh., Kotenev Yu.A. K voprosu vybora tekhnologii kislotnogo vozdeistviya dlya intensivatsii dobychi nefi [Some Aspects of an Acidizing Technology Choice to Enhance Oil Production]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii — Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2017, No. 6, pp. 44-50. [in Russian].
15. Nurgaliev R.Z., Kozikhin R.A., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S. Perspektivy primeneniya novykh tekhnologii pri otsenke vliyaniya geologo-tehnologicheskikh riskov [Prospects for the Use of New Technologies in Assessing the Impact of Geological and Technological Risks]. *Gornyi zhurnal — Gornyi Zhurnal*, 2019, No. 4, pp. 36-40. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.08. [in Russian].
16. Kotenev Yu.A., Mukhametshin V.Sh., Sultanov Sh.Kh. Energy-Efficient Technology for Recovery of Oil Reserves with Gas Injection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 194, Article Number 082019. DOI: 10.1088/1755-1315/194/8/082019.
17. Zeigman Yu.V., Mukhametshin V.Sh., Khafizov A.R., Kharina S.B., Abutalipova E.M., Avrenyuk A.N. Osobennosti vybora sostavov zhidkosti glusheniya skvazhin v oslozhnennykh usloviyakh eksploatatsii skvazhin [Peculiarities of Selecting Well-Killing Fluids Composition for Difficult Conditions]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2017, No. 1, pp. 66-69. [in Russian].
18. Teklu T.W., Abass H.H., Hanashmoon R., Car-ratu J.C., Ermila M. Experimental Investigation of Acid Imbibition on Matrix and Fractured Carbonate Rich Shales. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2017, Vol. 45, pp. 706-725. DOI: 10.1016/j.jngse.2017.06.001.
19. Andreev V.E., Khuzin R.R., Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S., Chizhov A.P., Chibisov A.V. Rezul'taty geologo-tehnologicheskogo obosnovaniya metodov vozdeistviya na ostatochnye zapasy v usloviyakh Zapadno-Sibirskoi neftegazonosnoi provintsii [Results of Geological-Technological Substantiation of Residual Reserves Stimulation Methods Under the Conditions of the Western Siberian Oil and Gas Province]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii — Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2018, No. 11, pp. 67-71. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-11-67-71. [in Russian].
20. Yakupov R.F., Gimazov A.A., Mukhametshin V.Sh., Makaev R.I. Analiticheskaya metodika otsenki effektivnosti tekhnologii otbora prikrovel'noi nefi iz vodoplavayushchikh zalezhei, verifitsirovannaya na gidrodinamicheskoi modeli [Analytical Method for Estimating Efficiency of Oil Recovery Technology in Case of Bottom Water-Drive Reservoir, Verified on the Hydrodynamic Model]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2018, No. 6, pp. 66-69. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-6-66-69. [in Russian].
21. Fedyushkin K.G., Karapuzov I.A. Provedenie kislotnogo gidrorazryva plasta na Gerasimovskom mestorozhdenii [Acid Hydraulic Fracturing M Formation at Gerasimovsky Field]. *Naukosfera — Scienceosphere*, 2020, No. 7, pp. 79-83. [in Russian].
22. Zeigman Yu.V., Mukhametshin V.Sh., Sergeev V.V., Kinzyabaev F.S. Eksperimental'noe issledovanie vyazkostnykh svoystv emul'sionnykh sistem s sodержaniem nanochastits SiO₂ [Experimental Study of Viscosity Properties of Emulsion System with SiO₂ Nanoparticle]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal — Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*, 2017, Vol. 9, No. 2, pp. 16-38. URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-2-2017/16-38.pdf (accessed 05.05.2021). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-2-16-38. [in Russian].
23. Akhmetov R.T., Mukhametshin V.V. Estimation of Displacement Coefficient with Due Account for Hydrophobization of Reservoir Using Geophysical Data of Wells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 194, Article Number 062001. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062001.

24. Kashapova E.A., Zaripov L.F., Morozov M.A., Kuleshova L.S., Fattakhov I.G., Bakhr A.S. Ispol'zovanie kharakteristik vytesneniya dlya otsenki effektivnosti provedeniya solyano-kislotnykh obrabotok [The Use of Characteristics of Displacement to Assess the Effectiveness of the Hydrochloric Acid Treatment]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele — 2019»: V 2 T. [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in the Oil and Gas Business — 2019»: In 2 Volumes.]*. Ufa, UGNTU Publ., 2019, Vol. 1, pp. 139-143. [in Russian].

25. Mukhametshin V.Sh., Popov A.M., Goncharov A.M. Promyslovoe obosnovanie vybora skvazhin i tekhnologicheskikh parametrov pri provedenii solyano-kislotnykh obrabotok [Field Justification for the Selection of Wells and Technological Parameters During Hydrochloric Acid Treatments]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 1991, No. 6, pp. 32-33. [in Russian].

26. Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Kochetkov A.V., Galiullina I.F., Andaryanov I.G., Safiullina A.R., Gizatul'lin I.R. The Use of a Liquid Destructor with Flow into the Stream During the Injection of the Fracturing Mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 952, Article Number 012044. DOI: 10.1088/1757-899X/952/1/012044.

27. Akhmetov R.T., Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. Ispol'zovanie gantel'noi modeli dlya opredeleniya absolyutnoi pronitsaemosti kollektorov po krivym kapillyarnogo davleniya [A Dumbbell Model Application for the Absolute Permeability of Reservoirs by Capillary Pressure Curves Determining]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnykh i gazovykh mestorozhdenii — Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2019, No. 4 (328), pp. 52-56. DOI: 10.30713/2413-5011-2019-4(328)-52-56. [in Russian].

28. Yusifov T.Yu.O., Fattakhov I.G., Ziyatdinov A.M., Akhmetshina D.I., Safiullina A.R. Vliyanie napryazhennogo sostoyaniya plasta na formirovanie treshchiny gidravlicheskogo razryva [Effect of the Stress State of

Reservoir on the Formation of Hydraulic Fracture]. *Nauchnoe obozrenie — Science Review*, 2015, No. 19, pp. 97-102. [in Russian].

29. Babichev I.N., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Zaripov L.F., Morozov M.A. Potential for the Wellbore Zone Development Using the Dynamic Impact. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, Vol. 378, Article Number 012111. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012111.

30. Safaria A., Dowlatabad M.M., Hassani A., Rashidi F. Numerical Simulation and X-Ray Imaging Validation of Wormhole Propagation During Acid Core-Flood Experiments in a Carbonate Gas Reservoir. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, Vol. 30, pp. 539-547. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.02.036.

31. Kozikhin R.A., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Andreev V.E., Safiullina A.R., Gabbasov A.Kh., Andaryanov I.G. Improvement of the Efficiency of Horizontal Wells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 952, Article Number 012056. DOI: 10.1088/1757-899X/952/1/012056.

32. Mukhametshin V.V., Andreev V.E., Khuzin R.R., Kuleshova L.S., Chizhov A.P., Chibisov A.V. Geologo-promyslovoe obosnovanie metodov vozdeistviya na plast na primere ekspluatatsionnykh ob'ektov mestorozhdenii Zapadno-Sibirskoi neftegazonosnoi provintsii [Geological and Field Substantiation of Reservoir Stimulation Methods on the Example of Fields Operational Objects of the West Siberian Oil and Gas-Bearing Province]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnykh i gazovykh mestorozhdenii — Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2018, No. 10, pp. 40-45. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-8-40-45. [in Russian].

33. Kozikhin R.A., Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Gabbasov A.Kh. Scenario Approach for Increasing Efficiency of Wells Operation with the Horizontal Termination. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 194, Article Number 082020. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062013.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Козихин Роман Анатольевич, начальник отдела планирования инновационной деятельности Центра технологического развития, ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Roman A. Kozikhin, Head of the Innovation Planning Department, Center for Technological Development, Tatneft PJSC, Almet'yevsk, Russia

CTD@tatneft.ru

Даминов Арслан Миргаязович, начальник отдела повышения эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений Инженерного центра, ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Arslan M. Daminov, Head of the Department for Increasing the Efficiency of Oil and Gas Field Development of the Engineering Center, Tatneft PJSC, Almet'yevsk, Russia

Daminov_am@tatneft.ru

Фаттахов Ирик Галиханович, доктор технических наук, профессор кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия; начальник отдела организации работ по повышению нефтеотдачи пластов исполнительного аппарата, ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Irik G. Fattakhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia; Head of the Department for the Organization of Work on Enhanced Oil Recovery of the Executive Office, Tatneft PJSC, Almet'yevsk, Russia

i-fattakhov@rambler.ru

Габбасов Айрат Ханифович, ведущий инженер отдела повышения эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений, ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Ayrat Kh. Gabbasov, Leading Engineer of the Department for Oil and Gas Fields Development Efficiency Increasing, Tatneft PJSC, Almet'yevsk, Russia

tnr@tatneft.ru

Велиев Эльчин Фикрет оглы, кандидат технических наук, заместитель заведующего лабораторией аналитических исследований, НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджанская Республика

Elchin F. Veliyev, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Laboratory Manager of Analytical Investigations Laboratory, Oil Gas Scientific Research Project Institute, SOCAR, Baku, Republic of Azerbaijan

elchinf.veliyev@socar.az

Кулешова Любовь Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», заместитель директора по учебной работе, УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия

Lyubov S. Kuleshova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, Deputy Director for Academic Affairs, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia

vsh@of.ugntu.ru

Сафиуллина Альбина Ринатовна, техник кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия

Albina R. Safiullina, Technician of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia

safiullina.a.@yandex.ru

Кобица Дина Ириковна, учебный мастер кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия

Dina I. Kobishcha, Training Master of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia

dina_ugntu@mail.ru

Габзалилова Альфира Хамитовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия

Alfira Kh. Gabzalilova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia

alfiragabzalilova@mail.ru

Ахметшина Дилара Ильмировна, ассистент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, филиал, Октябрьский, Россия

Dilara I. Akhmetshina, Assistant of Oil and Gas Field Exploration and Development Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russia

ahmetshina95@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.06.2021; одобрена после рецензирования 04.08.2021; принята к публикации 03.09.2021.

The article was submitted 29.06.2021; approved after reviewing 04.08.2021; accepted for publication 03.09.2021.