

2.8.2.
УДК 622.24

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

**Акопов А.С.,
Каверзин С.А.,
Бекетов С.Б.,
Керимов А-Г.Г.,
Янукия А.П.**

Северо-Кавказский федеральный университет
г. Ставрополь, Россия

филиал «Тюменского Индустриального университета»,
г. Сургут, Россия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК СКВАЖИН ПХГ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.4.7

Введение.

В мировой практике применения технологий интенсификации добычи одним из наиболее используемых методов воздействия на призабойную зону пласта для увеличения или восстановления продуктивности добывающих скважин является кислотная обработка продуктивного пласта. Кислотные обработки продуктивного пласта являются одним из основных мероприятий в группе методов обработки призабойной зоны, направленных на поддержание проектной производительности эксплуатационных скважин газовых месторождений и подземных хранилищ газа. Основной задачей кислотной обработки скважин газовых месторождений и подземных хранилищ газа является восстановление коллекторских свойств околоскважинной зоны продуктивного пласта за счет разрушения, перевода в раствор и выноса в ствол скважины кольматирующих твердых частиц естественного и техногенного происхождения, а также за счет улучшения фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта путем расширения уже существующих и создания новых флюидопроводящих каналов по всей перфорированной мощности пласта.

Материалы и методы исследования.

К базовым реагентам, используемым при кислотном воздействии, относятся соляная (хлористоводородная HCl) и плавиковая (фтористоводородная HF) кислоты. В статье рассмотрены вопросы влияния различных факторов на эффективность кислотной обработки. Описан механизм взаимодействия кислотного состава с породой продуктивного пласта, основные принципы выбора кислотного состава для терригенного пласта-коллектора.

Результаты исследований и их обсуждение.

Приведен анализ промысловых данных о результатах кислотных обработок, проведенных при ремонте скважин одного из подземных хранилищ газа за период 2014-2021 гг., сведения о количестве кислотных обработок, применяемых составах, технологических и экономических показателях, определяющих эффективность проведенных мероприятий.

Выводы.

По результатам проведенного анализа сделаны выводы о возможных направлениях повышения эффективности кислотных обработок терригенных коллекторов скважин подземных хранилищ газа.

Ключевые слова:

подземное хранилище газа, скважина, призабойная зона продуктивного пласта, кислотные обработки, эффективность

**Akopov A.S.,
Kaverzin S.A.,
Beketov S.B.,
Kerimov A-G.G.,
Yanukyan A.P.**

North Caucasus Federal University,
Stavropol,
Russia,

Tyumen Industrial University, Surgut, Russia

Effectiveness Analysis of Acid Treatments in UGS Wells

- Introduction.** In the world practice of using technologies for increasing of production one of the most widely used method for bottom-hole zone treatment for increasing or restoration of wells productivity is acid treatment of productive formation. Acid treatments of productive formation is the essential one in a group of methods for bottom-hole zone treatment directed on maintenance of project well production of gas fields and underground gas storages. Essential aim of acid treatment of gas fields and underground gas storages wells is restoration of reservoir properties in near wellbore zone of productive formation by destruction, transfer to the solution and removing to the bore hole wasting solid particles of natural and technogenic origin, as well as by improvement of filtration characteristics of bottom-hole zone of productive formation by means of expansion of existing and creating of new channels for fluid migration by all length of perforated interval.
- Materials and research methods.** As the base reagents, used for acid treatment, could be declared hydrochloric (HCl) and hydrofluoric (HF) acids. In the article discussed questions of different factors influence to efficiency of acid treatment. Described mechanism of reaction of acid compound with rock of productive formation, essential principles for choosing of acid compound for terrigenous reservoir.
- Research results and their discussion.** It is shown analysis of field data about results of acid treatments, done during of workover in wells of one of underground gas storage from 2014 to 2021, information about number of acid treatments, used acid compounds, technological and economic parameters, which allows to estimate efficiency for done activities.
- Conclusions.** Basing on the results of analysis it is down conclusions about possible directions for increasing efficiency of terrigenous reservoir acid treatments in underground gas storage wells.
- Key words:** underground gas storage, well, bottom-hole zone of productive formation, acid treatments, efficiency

Введение

В процессе эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ) по значительному количеству скважин эксплуатационного фонда наблюдается некоторое снижение производительности, связанное с ухудшением фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) призабойной зоны пласта (ПЗП). Необходимо отметить, что причиной снижения ФЕС ПЗП является кольматация ПЗП алевролитовы-

ми, пелитовыми и пр. частицами, размер которых сопоставим с размерами пор пласта. Перераспределение указанных частиц в массиве пласта является результатом изменения градиента давления, как при увеличении отборов газа, так и при снижении отборов при изменении потребности в объемах газа в Единой газотранспортной системе (ЕГТС).

Этот процесс и причины его вызывающие освещены в литературе достаточно подробно. На практике имеется большой перечень геолого-технических мероприятий (ГТМ), реализация которых может влиять на восстановление ФЕС. ГТМ объединяют в себе комплекс работ при капитальном ремонте, текущем ремонте и реконструкции скважин, проводящийся на фонде скважин с целью обеспечения проектных показателей эксплуатации ПХГ. В отечественной и зарубежной практике использования технологий для интенсификации добычи углеводородного сырья одним из основных методов воздействия на ПЗП для увеличения или восстановления продуктивности эксплуатационных скважин ПХГ является кислотная обработка. Основной задачей кислотной обработки скважин является восстановление коллекторских свойств ПЗП за счет удаления и выноса кольматирующих твердых частиц естественного и техногенного происхождения, путем расширения уже существующих и создания новых каналов поступления флюида [1, 3, 4, 13, 17–21].

Материалы и методы исследования

В настоящее время потенциальные возможности методов и технологий обработки призабойной зоны (ОПЗ) реализуются не полностью. Только часть обработок дает положительный эффект (50 – 60%). Остальные обработки не столь эффективны, так как проводятся без учета литолого-минералогического состава пород продуктивного пласта, геолого-технических условий работы и технического состояния скважин, обоснованного выбора технологии, кислотной композиции и правильности проведения технологических операций.

К факторам, снижающим эффективность ОПЗ, можно отнести следующие:

- недостаточная глубина обработки пласта и неполное удаление кольматантов и продуктов реакции из призабойной зоны;
- неполный охват кислотным воздействием всего массива пласта;
- недостаточный учет влияния капель масла и ионов железа (оксиды и гидроксиды железа) техногенного происхождения в призабойной зоне;
- недостаточный учет геолого-промыслового состояния скважин (обводненность, количество ремонтов с глушением, накопление в скважине воды, растворов, осадков и взвешенных частиц);
- ошибки в планировании и проведении технологического процесса ОПЗ (неполная информация о состоянии скважины, проведение работ без промывки до забоя, некорректный выбор композиционного состава и технологии обработки).

При кислотной обработке ставится задача растворения и удаления части породы и кольматантов (особенно глинистых частиц) и предотвращение накопления осадка в ПЗП. Глубина кольматации в околоскважинной зоне может составлять от нескольких сантиметров до нескольких метров. Естественная проницаемость коллекторов по толщине пласта различна, поэтому закачиваемые низковязкие технологические жидкости поступают в высокопроницаемые пропластки. При этом кислота еще больше увеличивает их проницаемость. Обычной кислотной обработкой устранить эффект кольматации ПЗП достаточно сложно. Впереди зоны воздействия активной кислоты продвигается фронт отработанного кислотного раствора и продуктов реакции. В этой части околоскважинной зоны происходит перераспределение подвижных твердых частиц и уплотнение кольматанта, причем проницаемость пласта в околоскважинной зоне уменьшается. В результате этого после кислотной обработки может наблюдаться значительное снижение производительности скважин. Для устранения указанного недостатка применяют более концентрированные растворы соляной кислоты или увеличивают глубину проникновения активной кислоты в пласт путем подбора рецептуры кислотного состава [2, 5, 7, 16, 18].

Выбор вида кислотной обработки и ее эффективность зависит от комплекса факторов, включающих в себя литологическую характеристику объекта обработки, опыт применения различных составов на определенных месторождениях, технологические и технические факторы и др.

При выборе кислотных составов и технологий для обработки ПЗП необходимо соблюдать ряд условий: кислотные составы должны сохранять матрицу породы (для предотвращения выноса освобожденных зерен породообразующих минералов), удерживать в виде суспензии мелкие частицы цемента (каолинит, гидрослюда, хлорит), отделившиеся от стенок поровых каналов, способствовать предотвращению выпадения нерастворимых осадков – продуктов реакции в поровом пространстве пород-коллекторов. В кислотных составах на основе соляной кислоты происходит быстрая нейтрализация соляной кислоты, при этом радиус проникновения кислоты, как правило, невелик. Скорость взаимодействия соляной кислоты с глинистыми минералами и карбонатами еще более увеличится при повышении температуры, следовательно, для кислотной обработки скважин, в особенности высокотемпературных, предпочтение следует отдавать слабым органическим кислотам, например, таким как уксусная, а также поликарбоксилатным комплексонам.

Проблемы, связанные с проведением кислотных обработок в терригенных коллекторах, содержащих большое количество глинистых минералов и примеси карбонатов, сопряжены в первую очередь с высокой вероятностью выпадения нерастворимых осадков в результате реакции между кислотой и минералами, составляющими продуктивный пласт. Образовавшиеся нежелательные осадки способны приводить к кольтатации пор, что, в свою очередь, может привести к резкому снижению производительности скважин. При кислотной обработке терригенных пород с использованием фтористоводородной кислоты или ее производных образование осадков различного состава практически неизбежно. В конечном счете, эффективность обработки и долгосрочность эффекта зависит от количества выпавших осадков, а также концентрации применяемой кислоты и применения химических реагентов различного функционального назначения [6, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 19–21].

Большинство ПХГ как в РФ, так и за рубежом, созданы на базе истощенных газовых и газоконденсатных месторождений, продуктивные пласты-коллекторы которых преимущественно относятся к терригенному типу. В статье рассматриваются кислотные обработки продуктивного горизонта, представленного пластом-коллектором терригенного типа, сложенного алевритами с переслаиваниями глин, с эффективной пористостью до 22 % и проницаемостью около 1 дарси.

При проведении ОПЗ эксплуатационного фонда скважин ПХГ опробованы с различной степенью эффективности следующие методы воздействия на продуктивный горизонт, направленные на восстановление производительности скважин до проектных показателей [10, 11]:

- обработка ПЗП составом «Глисил»;
- обработка ПЗП перекисным составом «КСПЭО-4ДБ»;
- обработка ПЗП гидрофобизирующим составом «Тесил-12»;
- обработка ПЗП водным раствором бисульфата натрия (NaHSO_4);
- обработка ПЗП глинокислотными составами (раствор соляной кислоты (HCl) – 12 % + раствор плавиковой кислоты (HF) – 40%);
- очистка (размыв) интервала продуктивного пласта от глинисто-песчаных пробок с применением колтубинговых технологий на депрессии с последующей осушкой.

Результаты исследований и их обсуждение

За период 2014–2021 гг. на фонде эксплуатационных скважин рассматриваемого ПХГ кислотные обработки проводились в рамках выполнения планов капитального и текущего ремонта скважин. Сведения о наименовании ПХГ в статье не раскрываются по причине ограничений корпоративной безопасности.

Сведения о количестве кислотных обработок при ремонте скважин рассматриваемого ПХГ с разбивкой по годам приведены на рисунке 1.

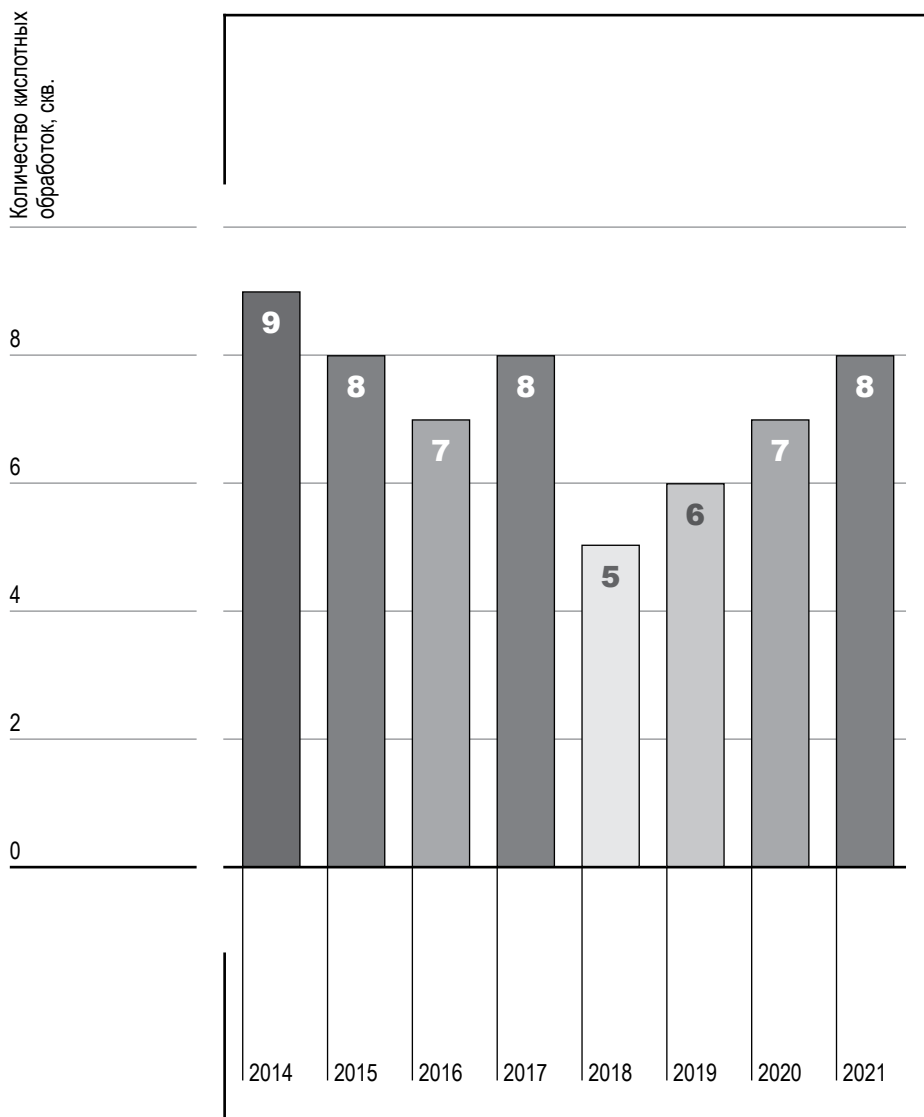


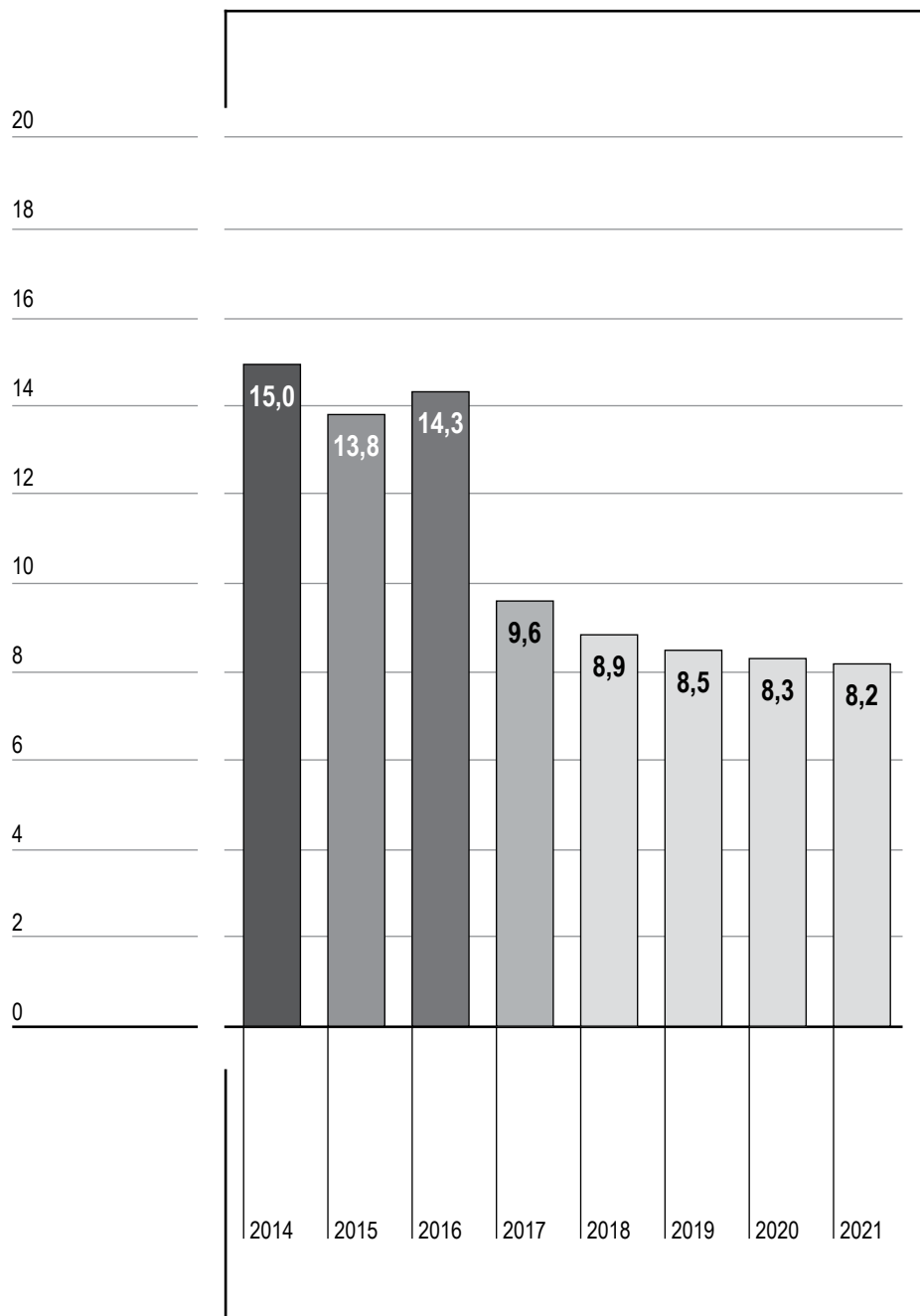
Рис. 1.

Количество кислотных обработок при ремонте скважин рассматриваемого ПХГ.

Fig. 1. Quantity of acid treatments during wells workover of considered UGS.

Как видно из рисунка 1, в среднем в год проводится 6–7 кислотных обработок скважин.

Отношение количества кислотных обработок при ремонте скважин рассматриваемого ПХГ к общему количеству ремонтов в процентном отношении приведено на рисунке 2.

**Рис. 2.**

Отношение количества кислотных обработок при ремонте скважин рассматриваемого ПХГ к общему количеству ремонтов.

Fig. 2. Ratio of acid treatments quantity to summary workover quantity during wells workover of considered UGS.

Как видно из рисунка 2, наблюдается устойчивая тенденция к снижению отношения количества кислотных обработок к общему количеству ремонтов, связанная с уменьшением общего количества ремонтов при сохранении среднегодового показателя количества кислотных обработок по рассматриваемому ПХГ.

Анализ результатов кислотных обработок на фонде эксплуатационных скважин рассматриваемого ПХГ проводился на основании данных о выполнении планов капитального и текущего ремонта за период 2014–2021 гг.

Оценка технологической эффективности проведенных кислотных обработок осуществлялась по данным о результатах газодинамических исследований (ГДИ) скважин до и после проведения обработок. При расчете показателей технологической и экономической эффективности использовались данные по рассматриваемому этапу (кислотная обработка ПЗП) без учета временных и финансовых затрат на подготовительно-заключительные работы (ПЗР). Некоторые количественные и качественные показатели эффективности проведенных кислотных обработок при капитальном и текущем ремонте скважин рассматриваемого ПХГ за период 2014–2021 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК ПРИ РЕМОНТЕ СКВАЖИН РАССМАТРИВАЕМОГО ПХГ
Table 1. Efficiency indexes of acid treatments during wells workover of considered ugs

Показатель	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Средняя продолжительность ремонта, бр./час	24,8	23,2	23	23,1	23	23,3	23,5	23,4
Средняя стоимость ремонта, тыс. руб.	420,7	431,7	461,1	503,1	544,7	612,4	678,0	744,1
Среднее изменение коэффициента продуктивности до и после проведения обработки, %	21,6	23,8	22,6	23,9	22,8	23,3	22,9	23,5

На рисунках 3–5 приведены зависимости изменения средних значений ряда показателей, позволяющих сделать выводы об эффективности кислотных обработок при капитальном и текущем ремонте скважин рассматриваемого ПХГ за период 2014–2021 гг.: продолжительность и стоимость 1-го ремонта скважины, изменение коэффициента продуктивности до и после проведения кислотной обработки.

Как видно из рисунка 3, средняя продолжительность ремонта при проведении кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ за анализируемый период сохраняется примерно на одном уровне.

Как видно из рисунка 4, средняя стоимость ремонта при проведении кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ имеет тенденцию к незначительному росту в пределах удорожания материалов и роста стоимости бригадо-часа на протяжении всего анализируемого периода.

Как видно из рисунка 5, среднее изменение коэффициента продуктивности до и после проведения кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ сохраняется примерно на одном уровне.

Выводы

По результатам проведенного анализа промысловых данных эффективности кислотных обработок продуктивного пласта при капитальном и текущем ремонте скважин рассматриваемого ПХГ за период 2014–2021 гг. и обзора литературных источников можно сделать следующие выводы [1–20]:

1. Средняя продолжительность кислотной обработки сохраняется примерно на одном уровне на протяжении всего анализируемого периода, что вероятнее всего обусловлено типовым характером работ и отработанной на протяжении долгого времени технологии проведения работ.
2. Средняя стоимость ремонта при проведении кислотной обработки имеет тенденцию незначительного роста на протяжении всего анализируемого периода в пределах удорожания материально-технических ресурсов и роста стоимости бригадо-часа.
3. Технологическая эффективность (среднее изменение коэффициента продуктивности до и после обра-

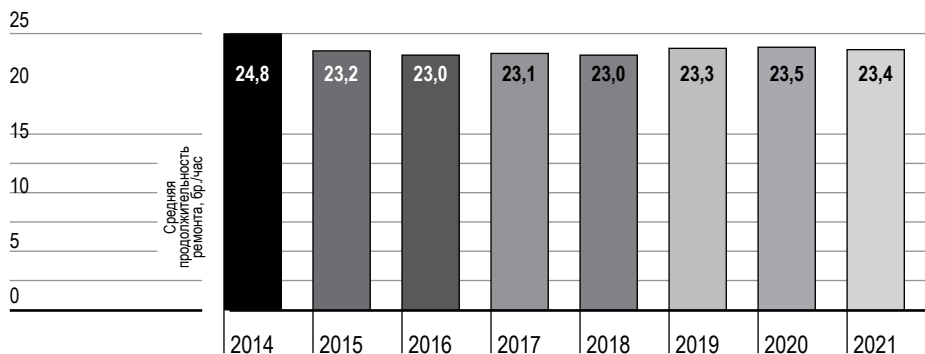


Рис. 3. Средняя продолжительность ремонта при проведении кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ.
Fig. 3. Average duration of workover during wells acid treatments of considered UGS.

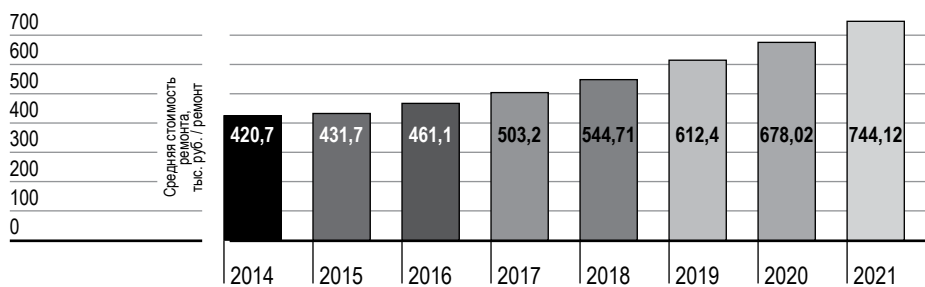


Рис. 4. Средняя стоимость ремонта при проведении кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ.
Fig. 4. Average cost of workover during wells acid treatments of considered UGS.

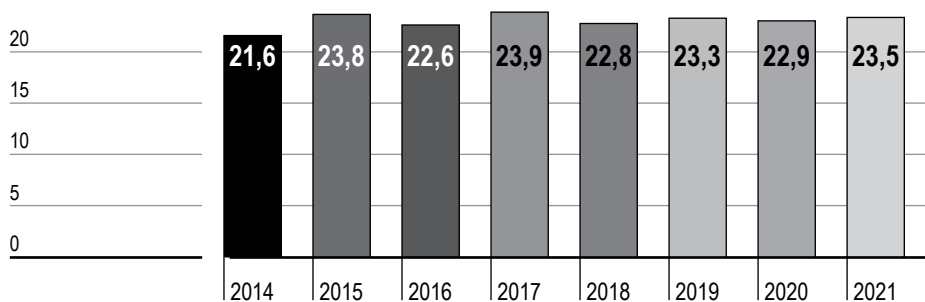


Рис. 5. Среднее изменение коэффициента продуктивности до и после проведения кислотных обработок скважин рассматриваемого ПХГ.
Fig. 5. Average change of productivity coefficient before and after wells acid treatments of considered UGS.

ботки) проводимых мероприятий по кислотной обработке продуктивного пласта за рассматриваемый период в среднем приближении сохраняется на одном уровне. Необходимо отметить, что данный параметр в значительной степени зависит от выхода ПХГ на максимальный (пиковый) отбор газа.

4. На основе проведенного анализа, с целью повышения эффективности кислотных обработок скважин ПХГ при капитальном и текущем ремонте рекомендовано:

— перед проведением кислотных обработок проводить очистку (отмыв) призабойной зоны продуктивного пласта с использованием органических растворителей и поверхностно-активных веществ (ПАВ) для удаления кольматирующих веществ, механических примесей и капель масла, а также для обеспечения более глубокого проникновения кислотных составов в пласт и увеличения зоны охвата;

— после проведения кислотных обработок проводить отработку скважин с применением метода циклического импульсного воздействия на пласт с целью обеспечения более полного выноса продуктов реакции и кольматирующих веществ;

— расширить спектр поиска по подбору и адаптации к горно-геологическим условиям ПХГ новых, высокоэффективных кислотных составов и их комбинаций, позволяющих обеспечить качественную разглинизацию ПЗП.

5. Для корректной оценки эффективности кислотных обработок на скважинах ПХГ предлагается:

— продолжить системно проводить ГДИ скважин до ремонта и после ремонта, а также после полного цикла отбора-закачки, для определения продолжительности эффекта от кислотной обработки;

— для оценки продолжительности эффекта и накопления статистических данных предусматривать проведение ГДИ до и после ремонта, с учетом привязки результатов ГДИ до и после ремонта к одному значению пластового давления ($R_{пл}$ при ГДИ до ремонта) для получения корректных сопоставимых данных о производительности скважины.

Библиографический список

1. Акопов А.С., Каверзин С.А., Климов К.Д. Солянокислотные обработки продуктивного пласта – как инструмент восстановления проницаемости ПЗП скважин, завершённых строительством // Актуальные проблемы наук о Земле: материалы VIII (65-й) ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь, 2021. С. 323–328.
2. Амиан В.А., Уголев В.С. Физико-химические методы повышения производительности скважин. Москва: Недра, 1970. 279 с.
3. Басарыгин Ю.М., Мавромати В.Д., Черномашенко А.Н. Теория и практика создания подземных хранилищ газа. Краснодар: Просвещение-Юг, 2012. 518 с.
4. Басарыгин Ю.М., Мавромати В.Д. Ремонт нефтяных и газовых скважин. Краснодар: Просвещение-Юг, 2008. 437 с.
5. Басарыгин Ю. М., Булатов А.И., Дадыка В.И. Материалы и реагенты для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах. Москва: Недра-Бизнесцентр, 2004. 349 с.
6. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ проведения солянокислотной обработки скважин на Средне-Макарихинском месторождении // Булатовские чтения. 2017. Т. 2. С. 30–38.
7. Глушченко В.Н., Силин М.А. Нефтепромысловая химия: Изд. В 5-ти томах. Т.4. Кислотная обработка скважин. Москва: Интерконтакт Наука, 2010. 703 с.
8. Карапетов Р.В., Мохов С.Н., Акопов А.С., Бекетов С.Б. Оптимизация состава для кислотной обработки призабойной зоны терригенного пласта // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: материалы всероссийской научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. 24 ноября 2017 г. г. Ставрополь / под ред. В.А. Гридина, С.Н. Овчарова, А.-Г.Г. Керимова и др. Ставрополь: ТЭСЭРА, 2017. С. 211–213.
9. Карапетов Р.В., Мохов С.Н., Акопов А.С., Бекетов С.Б. Совершенствование состава для кислотной обработки терригенного пласта-коллектора // Тезисы докладов XII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России». Секция «Разработка и эксплуатация месторождений природных углеводородов» (12–14 февраля 2018

- года, г. Москва). Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2018. С. 54.
10. Киселев В.В., Свинцов М.В., Вержбицкая В.В. Восстановление фильтрационно-емкостных свойств пласта – коллектора хадумского горизонта Северо-Ставропольского ПХГ методом гидрофобизации // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли», посвященной 25-летию Института нефти и газа СКФУ / под общ. ред. В.А. Гридина, А-Г.Г. Керимова, М.С. Лебедева, Ю.К. Димитриади, А.Ю. Калиниченко, Л.С. Мкртчяна. Ставрополь: ТЭСЭРА, 2018. С. 264–267.
 11. Киселев В.В., Епифанов О.Ю., Свинцов М.В., Савельев А.А. Опыт внедрения технологий повышения производительности скважин Северо-Ставропольского подземного хранилища газа в условиях аномально низких пластовых давлений // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: материалы международной научно-практической конференции / под ред. В.А. Гридина, С.Н. Овчарова, А-Г.Г. Керимова и др. Ставрополь: ТЭСЭРА, 2015. С. 299–304.
 12. Копытов А.Г., Левкович С.В., Левитина Е.Е., Ковалев И.А. Эффективность кислотной обработки призабойной зоны скважины для отложений с трудноизвлекаемыми запасами // Наука. Инновации. Технологии, 2021. №4. С. 27–40. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.2
 13. Кудинов В.И., Сучков Б.М. Методы повышения производительности скважин. Самара: Кн. изд-во, 1996. 414 с.
 14. Мордвинов В.А., Поплыгин В.В. Управление продуктивностью скважин: учеб. пособие. Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2011. 137 с.
 15. Мордвинов В.А. Исследования в области кислотного воздействия на продуктивные пласты карбонатного коллектора // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 10. С. 39–41.
 16. Состав для кислотной обработки призабойной зоны терригенного пласта: патент 2648379 РФ. №2017117799; заявл. 22.05.2017 г.; опубл. 26.03.2018 г. Бюл. №9.
 17. Akopov A.S., Yanukyuan A.P., Kushch I.I., Kaverzin S.A., Beketov S.B. Research in the effectiveness of acid treatments productive formations on oil fields in Western Siberia //

- IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference. Stavropol, 2021. P. 12021, DOI: 10.1088/1755-1315/745/1/012021
18. George E. King. An Introduction to the Basics of Well Completions, Stimulations and Workovers. Tulsa, Oklahoma, 1988. 663 p.
 19. Hong L.V., Mahmud H.B. A preliminary screening and characterization of suitable acids for sandstone matrix acidizing technique: a comprehensive review // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2019. Vol. 9. P. 753–778.
 20. Kunze K.R., Shaugnessy C.M. Acidizing sandstone formations with fluoboric acid // SPEJ. 1983. Vol. 23. № 1. P. 65–72.
 21. Leonard Kalfayan. Production enhancement with acid stimulation. 2nd ed. Tulsa, Oklahoma, 2008. 247 p.

References

1. Akopov A.S., Kaverzin S.A., Klimov K.D. Hydrochloric acid treatment of a productive formation as a tool for restoring the permeability of the bottomhole zone of wells completed by construction // Actual problems of the Earth sciences: materials of the VIII (65th) annual scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University. Stavropol, 2021. P. 323–328. (in Russ.).
2. Amiyan V.A., Ugolev V.S. Physico-chemical methods for improving the productivity of wells. Moscow: Nedra, 1970. 279 p. (in Russ.).
3. Basarygin Yu.M., Mavromati V.D., Chernomashenko A.N. Theory and practice of creating underground gas storage facilities. Krasnodar: Enlightenment-South, 2012. 518 p. (in Russ.).
4. Basarygin Yu. M., Mavromati V.D. Repair of oil and gas wells. Krasnodar: Enlightenment-South, 2008. 437 p. (in Russ.).
5. Basarygin Yu. M., Bulatov A.I., Dadyka V.I. Materials and reagents for repair and insulation works in oil and gas wells. Moscow: LLC «Nedra-Business Center», 2004. 349 p. (in Russ.).
6. Berezovsky D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of the hydrochloric acid treatment of wells at the Sredne-Makarikhinsky field // Bulatovskie readings. 2017. Vol. 2. p. 30-38. (in Russ.).
7. Glushchenko V.N., Silin M.A. Petroleum Chemistry: Ed. In 5 volumes. T.4. Acid treatment of wells. Moscow: Interkontakt Nauka, 2010. 703 p. (in Russ.).
8. Karapetov R.V., Mokhov S.N., Akopov A.S., Beketov S.B. Optimization of the composition for acid treatment of the bottom-

- hole zone of a terrigenous formation // Innovative technologies in the oil and gas industry: materials of the All-Russian scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University. November 24, 2017 Stavropol / ed. V.A. Gridina, S.N. Ovcharova, A.-G.G. Kerimova and others. Stavropol: TESERA, 2017. P. 211–213. (in Russ.).
9. Karapetov R.V., Mokhov S.N., Akopov A.S., Beketov S.B. Improving the composition for acid treatment of a terrigenous reservoir // Abstracts of the XII All-Russian scientific and technical conference «Actual problems of the development of the oil and gas complex of Russia». Section «Development and operation of natural hydrocarbon deposits» (February 12–14, 2018, Moscow). Moscow: Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin. 2018. P. 54. (in Russ.).
 10. Kiselev V.V., Svintsov M.V., Verzhbitskaya V.V. Restoration of the porosity and reservoir properties of the reservoir of the Khadum horizon of the Severo-Stavropol UGS facility by hydrophobization // Innovative technologies in the oil and gas industry: materials of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation «Innovative technologies in the oil and gas industry», dedicated to the 25th anniversary of the Institute of Oil and Gas NCFU / ed. ed. V.A. Gridina, A.-G.G. Kerimova, M.S. Lebedeva, Yu.K. Dimitriadi, A.Yu. Kalinichenko, L.S. Mkrtychyan. Stavropol: LLC ID TESERA, 2018. P. 264–267. (in Russ.).
 11. Kiselev V.V., Epifanov O.Yu., Svintsov M.V., Saveliev A.A. Experience in implementing technologies for improving the productivity of wells at the North Stavropol underground gas storage facility in conditions of abnormally low reservoir pressures // Innovative technologies in the oil and gas industry: materials of the international scientific and practical conference / ed. V.A. Gridina, S.N. Ovcharova, A.-G.G. Kerimova and others. Stavropol: LLC ID TESERA, 2015. P. 299–304. (in Russ.).
 12. Kopytov A.G., Levkovich S.V., Levitina E.E., Kovalev I.A. Efficiency of acid treatment of the bottomhole zone of a well for deposits with hard-to-recover reserves // Nauka. Innovation. Technologies, 2021. No. 4. P. 27–40. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.2 (in Russ.).
 13. Kudinov V.I., Suchkov B.M. Methods for improving well productivity. Samara: Book publishing house, 1996. 414 p. (in Russ.).
 14. Mordvinov V.A., Poplygin V.V. Well productivity management: textbook. allowance. Perm: Publishing House of the Perm Na-

- tional Research Polytechnic University, 2011. 137 p. (in Russ.).
15. Mordvinov V.A. Research in the field of acid impact on the productive layers of the carbonate reservoir // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2009, No. 10. P. 39–41. (in Russ.).
 16. Composition for acid treatment of the bottomhole zone of a terrigenous reservoir: patent 2648379 of the Russian Federation. No. 2017117799; dec. May 22, 2017; publ. 03/26/2018 Bull. No. 9. (in Russ.).
 17. Akopov A.S., Yanukyan A.P., Kushch I.I., Kaverzin S.A., Beketov S.B. Research in the effectiveness of acid treatments productive formations on oil fields in Western Siberia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. International Conference. Stavropol, 2021. P. 12021, DOI: 10.1088/1755-1315/745/1/012021
 18. George E. King. *An Introduction to the Basics of Well Completions, Stimulations and Workovers*. Tulsa, Oklahoma, 1988. 663 p.
 19. Hong L.V., Mahmud H.B. A preliminary screening and characterization of suitable acids for sandstone matrix acidizing technique: a comprehensive review // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019. Vol. 9. P. 753–778.
 20. Kunze K.R., Shaugnessy C.M. Acidizing sandstone formations with fluoboric acid // *SPEJ*. 1983. Vol. 23. No. 1. P. 65–72.
 21. Leonard Kalfayan. *Production enhancement with acid stimulation*. 2nd ed. Tulsa, Oklahoma, 2008. 247 p.

**Поступило в редакцию 15.10.2022,
принята к публикации 20.12.2022.**

Об авторах

- Акопов** Арсен Сергеевич, доцент кафедры строительства нефтяных и газовых скважин института наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета.
Scopus ID 57219176933. E-mail: ars.akopov@gmail.com
- Каверзин** Сергей Александрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры строительства нефтяных и газовых скважин института наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID 57190767328.
E-mail: skaverzin@ncfu.ru
- Бекетов** Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин

института наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID 56616900400.

E-mail: sbbeketov@ncfu.ru

Керимов Абдул-Гапур Гусейнович, доктор технических наук, профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин института наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID 56872657000.

E-mail: akerimov@ncfu.ru

Янукян Арам Погосович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Нефтегазовое дело» филиала Тюменского Индустриального университета. Scopus ID 57220160217.

E-mail: janukjanap@tyuiu.ru

About the authors

Акопов Arsen Sergeevich, Associate Professor of the Department of Construction of oil and gas wells, Institute of Earth's Sciences, North Caucasus Federal University. Scopus ID 57219176933.
E-mail: ars.akopov@gmail.com

Kaverzin Sergey Alexandrovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Construction of oil and gas wells, Institute of Earth's Sciences, North Caucasus Federal University.

Scopus ID 57190767328. E-mail: skaverzin@ncfu.ru

Beketov Sergey Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction of oil and gas wells, Institute of Earth's Sciences, North Caucasus Federal University. Scopus ID 56616900400.

E-mail: sbbeketov@ncfu.ru

Kerimov Abdul-Gapur Guseinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction of oil and gas wells, Institute of Earth's Sciences, North Caucasus Federal University.

Scopus ID 56872657000. E-mail: akerimov@ncfu.ru

Yanukyan Aram Pogosovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering, branch of the Tyumen Industrial University.

Scopus ID 57220160217. E-mail: janukjanap@tyuiu.ru