

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.89-98>

EDN PGVCHA

УДК 622.276.63

Анализ параметров техногенного воздействия в скважинах с заколонной циркуляцией

Гарипова Л.И., Хаярова Д.Р.

ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет - «Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия

Analysis of man-made impact parameters in wells with column circulation

L.I. Garipova, D.R. Khayarova

Almetyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School, Almetyevsk, Russia

E-mail: garipova@agni-rt.ru

Аннотация. Кислотная обработка скважин является эффективным методом повышения продуктивности скважин. Однако повышение давления до значений, превышающих крепость пород на сжатие или растяжение, ведет как к деформации пород, так и к разрушению заколонного цементного камня и созданию трещин. Кислотный состав, проникая в трещины и активно взаимодействуя с заколонным цементным камнем, разрушает его. Следствием этого процесса является возникновение заколонной циркуляции с притоком из выше- или нижележащих обводненных пропластков. Появление ЗКЦ при освоении и эксплуатации скважин напрямую оказывает влияние на увеличение обводненности продукции и на снижение выработки запасов по целевому пласту. Выявление осложняющих факторов, оказывающих влияние на возникновение заколонной циркуляции, является актуальной задачей повышения эффективности кислотных обработок.

В работе выполнены анализ и обобщение опыта реализации технологий кислотных обработок скважин с выявлением осложняющих факторов, оказывающих влияние на возникновение заколонной циркуляции. Выявлены геолого-технологические параметры, влияющие на возникновение заколонной циркуляции в скважинах добывающего фонда после проведения кислотных обработок. Рекомендовано проведение дополнительных исследований и научно-технических работ для предотвращения ЗКЦ в скважинах при реализации кислотных обработок на промысловых объектах.

Ключевые слова: *заколонная циркуляция, обработка призабойной зоны, кислотный состав, давление, расход*

Для цитирования: Гарипова Л.И., Хаярова Д.Р. Анализ параметров техногенного воздействия в скважинах с заколонной циркуляцией // Нефтяная провинция.-2025.-№2(42).-С. 89-98. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.89-98>. - EDN PGVCHA

Abstract. Acid treatment of wells is an effective method of increasing well productivity. However, increasing the pressure to values exceeding the compressive or tensile strength of rocks leads to both rock deformation and destruction of the annular cement stone and the creation of cracks. The acid composition, penetrating into cracks and actively interacting with the annular cement stone, destroys it. The consequence of this process is the occurrence of behind-the-casing circulation with an inflow from overlying or underlying watered interlayers. The occurrence of ZKZ during well development and operation directly affects the increase in water cut of production and a decrease in the recovery of reserves in the target formation. Identification of complicating factors affecting the occurrence of behind-the-casing circulation is an urgent task of increasing the efficiency of acid treatments. The paper analyzes and summarizes the experience of implementing well acid treatment technologies with the identification of complicating factors affecting the occurrence of behind-the-casing circulation. Geological and technological parameters influencing the occurrence of behind-the-casing circulation to the wells of the production fund after acid treatments have been identified. It is recommended to conduct additional studies and scientific and technical work to prevent behind-the-casing circulation in wells during acid treatments at production facilities.

Key words: *column circulation, bottom-hole zone treatment, acid composition, pressure, flow rate*

For citation: L.I. Garipova, D.R. Khayarova Analiz parametrov tehnogenного vozdeistvia v skvajinah s zakollonnoi cirkulyaciei [Analysis of man-made impact parameters in wells with column circulation]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(42), 2025. pp. 89-98. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.89-98>. EDN PGVCHA (in Russian)

Введение

Разработка многопластовых месторождений осложняется как заколонными перетоками жидкости между пластами, так и по единому пласту с водоносной частью пласта. В нефтяных скважинах возникновение переток приводит к преждевременному обводнению добываемой продукции. Для интенсификации притока нефти к забою скважин применяются различные технологии, изменяющие коллекторские характеристики пласта,

например, гидроразрыв пласта или обработка призабойной зоны кислотными составами в режиме повышенных давлений. Любое повышение давления, превышающее крепость пород на сжатие или растяжение, ведет к деформации пород (разрушение цементного камня, создание новых трещин). В связи с этим для снижения дальнейших рисков техногенных осложнений при проведении наиболее распространенных видов ГТМ необходимо выявление аналитических зависимостей. Поиск и выявление осложняющих факторов, оказывающих влияние на возникновение заколонной циркуляции, имеет важное значение для повышения эффективности кислотных обработок.

Основной причиной ЗКЦ, как выделяют исследователи [1-4], является недостаточное сцепление между обсадной колонной и цементом, а также цементным раствором и пластом. Отмечается, что кислота под давлением способна проникать из перфорационных отверстий во внутренние части цемента или на недостаточно зацементированные поверхности раздела, поверхностно и быстро воздействуя на обсадную колонну, цемент и/или пласт.

Для выявления параметров влияния кислотных обработок на возникновение заколонной циркуляции выполнены:

- сбор данных о параметрах скважин, включая данные о глубине, диаметре, типе пород, типе цементного камня и условиях эксплуатации и возникновения ЗКЦ;
- анализ имеющихся данных об интервалах возникновения ЗКЦ, причинах ЗКЦ на скважинах;
- анализ результатов кислотных обработок, проведенных в скважинах до возникновения ЗКЦ, определить зависимость влияния кислотных обработок на последующее возникновение заколонной циркуляции в зависимости от влияния технологических факторов.

По результатам ранжирования добывающего фонда анализируемых геологических объектов (башкирский, верейский, турнейский ярусы, за-волжский, данково-лебединский горизонты) определен перечень скважин, на которых были проведены ОПЗ с применением кислотных составов, основной объем скважин сосредоточен в нефтегазоносных комплексах, приуроченных к средним, нижним каменноугольным отложениям.

В процессе выполнения работ проанализированы показатели работы более 290 скважин, на которых проводились различные технологии кислотных обработок в анализируемый период. Общий фонд скважин с выявленными ЗКЦ составил около 18% от анализируемого фонда скважин.

Анализируемый фонд был распределен по группам:

- скважины с выявленными ЗКЦ;
- скважины, в которых ЗКЦ не подтверждена геофизическими исследованиями;
- скважины с выявленными ЗКЦ до проведения ОПЗ;
- скважины без ЗКЦ.

Все анализируемые показатели распределены по следующим блокам:

- общие данные – номер скважины, дата ввода в эксплуатацию, дата проведения ОПЗ, вид технологии, объект разработки и др.;
- геологический блок - перфорированная толщина пласта, эффективная толщина пласта, коэффициенты пористости и абсолютной проницаемости и др.;
- технологический блок работы скважины – дебиты жидкости, нефти, обводненность продукции, пластовое и забойное давления до и после проведения ОПЗ и др.;
- показатели при проведении ОПЗ - тип кислотного состава (КС), объемы и давления закачки и др.

По результатам кислотных обработок в скважинах с ЗКЦ отмечено, что 75,5 % от анализируемого фонда скважин эксплуатируют отложения башкирского яруса (Рис. 1).

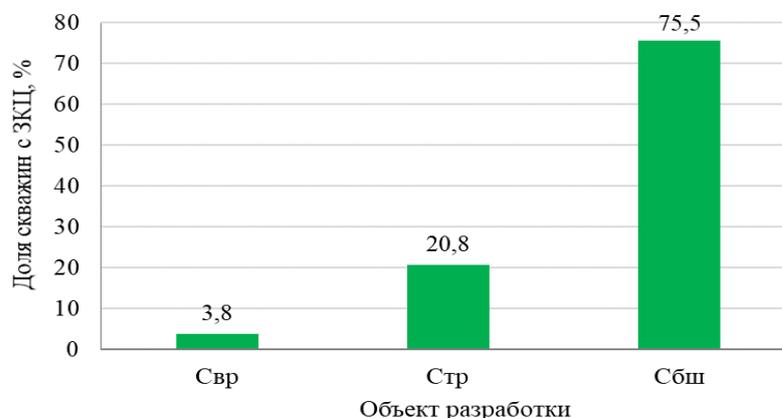


Рис. 1. Распределение скважин с ЗКЦ по объектам разработки

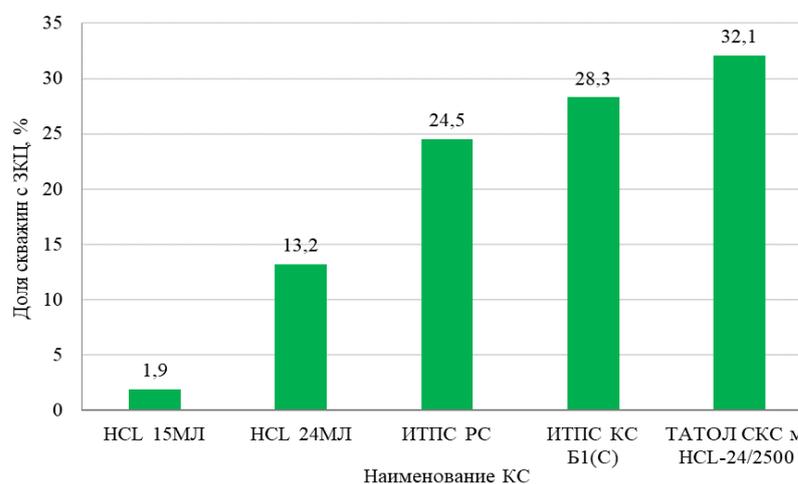


Рис. 2. Распределение скважин с ЗКЦ по типам кислотных составов

В основном, на анализируемых скважинах нашли применение следующие типы кислотных составов (Рис. 2): ИТПС РС; ИТПС КС Б1(С); ТАТОЛ СКС м. HCL-24/2500.

Также отмечаются незначительные величины максимальных давлений закачки при реализации кислотных ОПЗ – в основном, в интервале от 30 до 50 атм.

Использование методов математической статистики может способствовать определению влияния различных параметров на возникновение ЗКЦ в скважинах [5, 6].

С целью выявления параметров, оказывающих влияние на вероятность возникновения ЗКЦ в анализируемых скважинах проведен статистический ассоциативный анализ данных на основе выделения граничных условий.

В качестве геолого-технологических параметров, влияющих на появление ЗКЦ после проведения кислотных ОПЗ, рассмотрены следующие: удельный расход кислотного состава на 1 м толщины пласта; толщина интервала перфорации; давление закачки кислотного состава.

Анализируемые параметры разбиваем на три группы (Рис. 3).

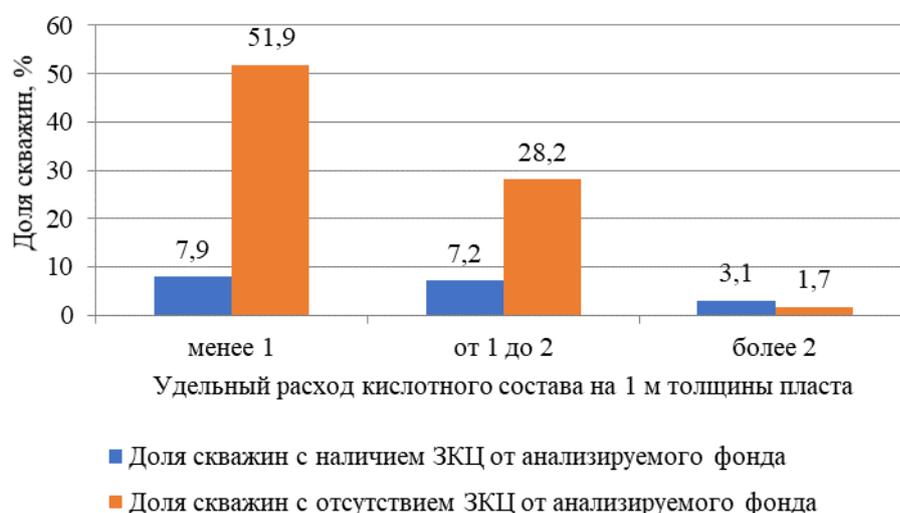


Рис. 3. Ассоциативное распределение анализируемой выборки скважин по удельному расходу кислотного состава на 1 м толщины пласта

Мера связи определяется коэффициентом сопряженности по формуле

$$\Psi_c = \frac{\varphi^2}{\sqrt{(s-1)(t-1)}}, \quad (1)$$

где

s – число групп, различающихся по наличию/отсутствию ЗКЦ;

t – число групп, различающихся по геолого-технологическим параметрам (в данном случае величина удельного расхода кислотного состава на 1 м толщины пласта).

N – объем выборки.

Величина φ^2 равна

$$\varphi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^N \frac{(n_{ji} - v_{ji})^2}{v_{ji}}, \quad (2)$$

где

n_{ji} – количество скважин, попавших в j -ую группу по геолого-технологическим параметрам и в i -ую группу по наличию/отсутствию ЗКЦ.

Для определения величины φ^2 вычислим сначала значения v_{ji} по формулам:

$$\begin{aligned} v_{11} &= \frac{n_{10} n_{01}}{N} \\ v_{12} &= \frac{n_{10} n_{02}}{N} \\ v_{13} &= \frac{n_{10} n_{03}}{N} \\ v_{21} &= \frac{n_{20} n_{01}}{N} \\ v_{ji} &= \frac{n_j n_i}{N}. \end{aligned} \quad (3)$$

Полученные значения заносим в табл. 1.

Оценка величины φ^2 проводится по формуле

$$\varphi^2 > \frac{c-1}{N}, \quad (4)$$

где c – число классов в табл. 1.

Таблица 1

Распределение значений v_{ji} по факторам

Удельный расход кислотного состава на 1 м толщины пласта	Количество скважин	
	Выявлена ЗКЦ	ЗКЦ отсутствует
менее 1	31,7	142,3
от 1 до 2	18,8	84,2
более 2	2,5	11,5

В данном анализе значение φ^2 соответствует 0,08.

$$C = (c - 1) / N = 0,017.$$

Так как значение $\varphi^2 > C$, то отмечается зависимость влияния удель-

ного расхода кислотного состава на 1 м толщины пласта на возникновение ЗКЦ.

Полученные результаты статистического ассоциативного анализа по рассматриваемым факторам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты статистического анализа геолого-технологических факторов на возникновение ЗКЦ в скважинах после проведения кислотных ОПЗ

Факторы	σ	ϕ^2	Влияние
Удельный расход кислотного состава на 1 м толщины пласта	0,017	0,08	выявлена зависимость
Максимальное давление при кислотной обработке, атм	0,017	0,023	нет связи
Толщина интервала перфорации, м	0,017	0,002	нет связи
Конечное давление закачки кислотного состава, атм	0,017	0,038	выявлена зависимость

По данным проведенного ассоциативного анализа по различным параметрам выявлено влияние следующих факторов на возникновение ЗКЦ в скважинах в результате проведения кислотных обработок: удельный расход кислотного состава на 1 м толщины пласта, а также конечное давление закачки кислотного состава при реализации технологического процесса.

По результатам анализа отмечено, что основные исследования по рассматриваемой проблеме направлены на моделирование взаимодействия цемента и кислотного раствора в лабораторных условиях преимущественно без проведения опытно-промышленных испытаний. На основе анализа промысловых данных в пределах рассматриваемой выборки выявлено влияние величин удельного расхода кислотного состава на 1 м толщины пласта, а также конечного давления закачки кислотного состава на возникновение ЗКЦ в скважинах в результате проведения кислотных обработок.

Таким образом, показана необходимость проведения дальнейших исследований как в области определения факторов, влияющих на возникновение ЗКЦ в результате реализации кислотного воздействия в скважинах,

так и мероприятий, направленных на предотвращение появления данной проблемы.

Список литературы

1. Бахтияров, Г.А. Причины возникновения заколонной циркуляции жидкости в процессе разработки пластов ЮВ11 и ЮВ12 / Г.А. Бахтияров, В.Г. Волков, Р.Х. Гильманова [и др.]. – Текст: электронный // NovaInfo. – 2016. – № 49. – С. 65-72.
2. Набиуллин, А.Ш. Изучение причин возникновения нарушений герметичности эксплуатационных колонн добывающих скважин. Разработка превентивных методов по защите обсадной колонны / А.Ш. Набиуллин, Т.И. Сеницына, С.Ю. Воронцов. – DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-88-93. – Текст: электронный // Экспозиция Нефть Газ. – 2023. – № 8. – С. 88-93.
3. Алешкин, С.В. Проблема заколонной циркуляции на скважинах Волго-Уральского региона / С.В. Алешкин, С.А. Ханьжин, А.В. Белослудцев. – Текст: электронный // Бурение и нефть. Спецвыпуск. – 2023. – № 2. – С. 73-75.
4. Краснов, Д.Ю. Снижение риска возникновения ЗКЦ при химическом воздействии на пласт / Д.Ю. Краснов, М.И. Додова. – Текст: электронный // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 9. – С. 42-47.
5. Гарипова, Л.И. Анализ факторов, влияющих на возникновение заколонной циркуляции / Л.И. Гарипова, Д.Р. Хаярова, Э.М. Абусалимов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2025. – № 3. – С. 68-72. – <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2025-3-68-72>.
6. Земцов, Ю.В. Многофакторный анализ эффективности ликвидации заколонной циркуляции воды в нефтедобывающих скважинах / Ю.В. Земцов, А.С. Устюгов. – Текст: электронный // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 2. – С. 55-59.

References

1. Bakhtiyarov, G.A. Causes of behind-the-casing fluid circulation during development of the YuV11 and YuV12 formations / G.A. Bakhtiyarov, V.G. Volkov, R.Kh. Gilmanova [et al.]. – Text: electronic // NovaInfo. – 2016. – No. 49. – P. 65-72. (in Russian)
2. Nabiullin, A.Sh. Study of the causes of leaks in production strings of production wells. Development of preventive methods for casing protection / A.Sh. – DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-88-93. – Text: electronic // Exposure Oil Gas. – 2023. – No. 8. – P. 88-93. (in Russian)
3. Aleshkin, S.V. The problem of behind-the-casing circulation in wells of the Volga-Ural region / S.V. Aleshkin, S.A. Khanzhin, A.V. Belosludtsev. - Text: electronic // Drilling and Oil. Special issue. - 2023. - No. 2. - P. 73-75. (in Russian)
4. Krasnov, D.Yu. Reducing the risk of behind-the-casing circulation during chemical stimulation of the formation / D.Yu. Krasnov, M.I. Dodova. - Text: electronic // Oil. Gas. Innovations. - 2018. - No. 9. - P. 42-47. (in Russian)
5. Garipova, L.I. Analysis of factors influencing the occurrence of behind-the-casing circulation / L.I. Garipova, D.R. Khayarova, E.M. Abusalimov [et al.] // Oil industry. – 2025. – No. 3. – P. 68-72. – <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2025-3-68-72>. (in Russian)
6. Zemtsov, Yu.V. Multivariate analysis of the efficiency of eliminating behind-the-casing water circulation in oil wells / Yu.V. Zemtsov, A.S. Ustyugov. – Text: electronic // Oilfield Business. – 2017. – No. 2. – P. 55-59. (in Russian)

Сведения об авторах

Гарипова Лилия Ильясовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423452, Альметьевск, ул. Советская, 186А

E-mail: garipova@agni-rt.ru

Хаярова Динара Рафаэлевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423452, Альметьевск, ул. Советская, 186А

E-mail: hayarova@agni-rt.ru

Authors

L.I. Garipova, PhD, Senior Lecturer, Oil and Gas Field Development Department, Almeteyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School

186A, Sovetskaya Str., Almeteyevsk, 423452, Russian Federation

E-mail: garipova@agni-rt.ru

D.R. Khayarova, PhD, Senior Lecturer, Oil and Gas Field Development Department, Almeteyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School

186A, Sovetskaya Str., Almeteyevsk, 423452, Russian Federation

E-mail: hayarova@agni-rt.ru

Статья поступила в редакцию 22.03.2025

Принята к публикации 17.06.2025

Опубликована 30.06.2025