

УДК 622.276 + 622.245.514

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2021

**Результаты исследования влияния жидкостей-разрушителей на полимерминеральную фильтрационную корку****А.А. Петров, Н.И. Николаев**

Санкт-Петербургский горный университет (Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, 2)

Results of Studying the Influence of Destroying Liquids on Polymineral Filter Cake**Artyom A. Petrov, Nikolay I. Nikolaev**

Saint Petersburg Mining University (2 21st line, Vasilyevsky island, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation)

Получена / Received: 28.10.2020. Принята / Accepted: 01.02.2021. Опубликовано / Published: 01.04.2021

Ключевые слова:

обработка призабойной зоны пласта, фильтрационная корка, брейкер, брейкерная системы, хелаты, комплексообразователи, энзимы, проницаемость, фильтрационно-емкостные свойства, первичное вскрытие пласта, биополимерные растворы, освоение скважин, скважинные фильтры.

В процессе строительства скважины ухудшение естественных коллекторских свойств пласта неизбежно. Образующаяся на поверхности призабойной зоны пласта плотная малопроницаемая фильтрационная корка (ФК) на стадии освоения способствует снижению фильтрационно-емкостных свойств породы, а значит и продуктивности скважины. Помимо этого корка может способствовать закупориванию таких элементов конструкции, как скважинный фильтр или устройства контроля притока, тем самым также оказывая негативное влияние на дебит. В большинстве случаев невозможность достижения требуемой очистки призабойной зоны при освоении скважины в дальнейшем ведет к необходимости применения дорогостоящих повторных операций и капитальному ремонту, химических и механических способов очистки ПЗП. Разработка технологий полного удаления сформировавшейся фильтрационной корки со стенок ствола скважины является необходимой задачей.

В работе рассматривается биополимерный раствор первичного вскрытия продуктивного пласта на водной основе, приведен компонентный состав и его параметры. Описана методика исследования действия брейкерных систем на полимер-минеральную фильтрационную корку в условиях высокого давления на фильтр-прессе HT-HP, а также приведена методика определения растворяющей способности отдельных компонентов системы (хелата и энзима). По результатам данного исследования авторами был подобран оптимальный состав брейкера энзим-хелатной основы, после действия которого наблюдается наиболее полное разрушение составляющих фильтрационной корки. Результаты оценивались на основании сравнения растворяющей способности карбоната кальция при воздействии различных хелатов. В качестве разрушителя крахмала был протестирован энзим альфа-амилаза. Эффективность работы состава подтверждена на основании изменения фильтрационно-емкостных свойств керамических дисков до и после обработки в сравнении с зарубежными аналогами брейкерных систем.

Keywords:

bottomhole formation zone treatment, filter cake, breaker, breaker systems, chelates, complexing agents, enzymes, permeability, reservoir properties, primary opening of the formation, biopolymer solutions, well completion, downhole filters.

In the course of well construction, deterioration of the natural reservoir properties of the formation is inevitable. A dense low-permeability filter cake formed on the surface of the bottomhole formation zone at the stage of completion contributes to a decrease in the reservoir properties of the rock, and hence the productivity of the well. In addition, the cake can contribute to the plugging of structural elements such as the well screen or inflow control devices, thereby also having a negative impact on the flow rate. In most cases, the impossibility of achieving the required cleaning of the bottomhole zone during well completion in the future leads to the need to use expensive repeated operations and overhaul, chemical and mechanical methods of cleaning the bottomhole formation zone. The development of technologies for the complete removal of the formed filter cake from the borehole walls is a necessary task. The paper considers the water-based biopolymer solution of the primary opening of the productive formation, the component composition and its parameters are given. A method is described for studying the effect of breaker systems on a polymer-mineral filter cake under high-pressure conditions using filter press HT-HP, and a method for determining the dissolving capacity of individual components of the system (chelate and enzyme). Based on the results of this study, the optimal composition of the breaker of the enzyme-chelate base was selected, after the action of which the most complete destruction of the crust constituents was observed. The results were evaluated by comparing the dissolving power of calcium carbonate when exposed to different chelates. The enzyme alpha-amylase was used as a starch breaker. The efficiency of the composition was confirmed by the change in the filtration-capacitive properties of ceramic discs before and after processing in comparison with foreign analogues of breaker systems.

Петров Артем Андреевич – аспирант кафедры бурения скважин (тел.: +007 812 328 84 78, e-mail: nbdriller@yandex.ru). Контактное лицо для переписки.**Николаев Николай Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры бурения скважин (тел.: +007 812 328 84 78, e-mail: nikinik@mail.ru).**Artyom A. Petrov** (Author ID in Scopus: 57217293118) – PhD Student at the Well Drilling Department (tel.: +007 812 328 84 78, e-mail: nbdriller@yandex.ru). The contact person for correspondence.**Nikolay I. Nikolaev** (Author ID in Scopus: 56308406100) – Doctor in Engineering, Professor at the Well Drilling Department (tel.: +007 812 328 84 78, e-mail: nikinik@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Петров А.А., Николаев Н.И. Результаты исследования влияния жидкостей-разрушителей на полимерминеральную фильтрационную корку // Недропользование. – 2021. – Т.21, №2. – С.58–63. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.2.2

Please cite this article in English as:

Petrov A.A., Nikolaev N.I. Results of studying the influence of destroying liquids on polymineral filter cake. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2021, vol.21, no.2, pp.58-63. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.2.2

Введение

Таблица 1

Компонентный состав раствора первичного вскрытия

Реагент	Концентрация, %	Назначение реагента
KCl	4	Регулятор плотности
Биополимер	0,4	Загуститель-структурообразователь
Крахмал	1,5	Регулятор водоотдачи
CaCO ₃	8	Кольматант
«Шлам»	2*	Имитация выбуренной породы

Примечание: * 2 % твердой фазы (в качестве имитации выбуренной породы) – максимально допустимое содержание твердой фазы для растворов первичного вскрытия, которое не влияет на увеличение репрессии и прочностные свойства фильтрационной корки.

В процессе вскрытия продуктивного пласта в результате воздействия бурового раствора на призабойную зону ухудшение естественной проницаемости коллектора неизбежно [1–3]. Образование же плотной фильтрационной корки на поверхности пласта минимизирует влияние раствора на коллектор [4, 5]. Но на стадии освоения, особенно в протяженных горизонтальных стволах [6–8], фильтрационная корка выступает в качестве барьера, который приводит к снижению проницаемости породы [9, 10], закупориванию скважинных фильтров [11, 12] и, как следствие, к уменьшению продуктивности скважины [13–15]. В связи с этим разработка составов технологических жидкостей и технологии их применения, обеспечивающих удаление фильтрационной корки при установке в открытом удале скважины, является актуальной задачей.

В последнее время активно развивается направление отмыва или разрушения фильтрационной корки воздействием специальных композиций для максимального улучшения гидродинамической связи «скважина – пласт» [16–18] как зарубежными сервисными компаниями [19–21], так и отечественными [22–24]. Это обусловлено необходимостью проведения работ в призабойной зоне горизонтальных участков скважин с установленными в них фильтрами, устройствами контроля притока и т.п., которые склонны к закупориванию. Также необходимо учитывать материалы фильтра, подвергающиеся химическому воздействию композиций. То есть технологические жидкости не должны оказывать существенного влияния на фильтр и в то же время должны быть эффективными в разрушении всех компонентов, слагающих фильтрационную корку, при этом не нанося ущерб продуктивному пласту [25, 26].

Стоит отметить, что применение технологических жидкостей для разрушения фильтрационной корки способствует облегчению вызова притока, что особенно актуально для скважин с ограничениями по депрессии [11, 27, 28].

Проблема устранения повреждений продуктивного пласта посредством разрушения фильтрационной корки актуальна для скважин Восточно-Мессояхского месторождения [29].

Методика исследований

Лабораторные исследования проводились на базе лаборатории кафедры бурения скважин Горного университета в два этапа, в результате которых был выбран наиболее эффективный состав для разрушения фильтрационной корки, образующейся при воздействии раствора первичного вскрытия на призабойную зону.

На первом этапе было исследовано и оценено действие трех зарубежных деструкторов. Целью этапа являлось изучение влияния различных по своей основе разрушителей на соответствующие критические компоненты фильтрационной корки [30] и подбор наиболее оптимальных и эффективных составляющих разрабатываемого разрушителя.

В задачи первого этапа входило:

1. Приготовление раствора, на котором происходит вскрытие продуктивного пласта. Оптимальная промывочная жидкость для вскрытия продуктивного пласта должна содержать только такие компоненты, которые легко растворяются и диспергируются при освоении скважины [25, 31, 32]. Безглинистые биополимерные системы наиболее полно отвечают требованиям промывки скважин, в том числе с горизонтальными стволами, и активно применяются в буровой практике вследствие минимального негативного воздействия на призабойную зону пласта [33–35].

Для испытаний была выбрана стандартная рецептура раствора первичного вскрытия, применяемая на Восточно-Мессояхском месторождении. Компонентный состав и назначение каждого реагента приведены в табл. 1.

Приготовление раствора происходило посредством ввода реагентов в определенной последовательности: KCl, крахмал, биополимер, карбонат, имитация выбуренной породы при тщательном перемешивании. В качестве шлама был использован измельченный керн продуктивного пласта Восточно-Мессояхского месторождения. Далее раствор оставляли минимум на 16 ч, в течение которых происходило структурное раскрытие биополимера. Характеристики биополимерного раствора отражены в табл. 2.

2. Получение фильтрационной корки посредством фильтр-пресса НТ–НР (Fann) на бумажных дисках (рис. 1). По истечении 16 ч раствор перемешивался в течение 5 мин и помещался в ячейку фильтр-пресса НТ–НР на 30 мин (при комнатной температуре и давлении 2 МПа) для формирования фильтрационной корки.

3. Выдерживание сформированных фильтрационных корок в брейкерной системе. Сформированная фильтрационная корка помещалась в контейнер с предварительно приготовленным брейкером (согласно методике компании-производителя продукта) и оставлялась на 24 ч. Проводилось не менее трех испытаний по деструктуризации фильтрационной корки на каждый состав разрушителя.

4. Оценка полученного результата. По истечении 24 ч корка извлекалась, и далее осуществлялся экспресс-тест на наличие крахмала и карбоната кальция путем взаимодействия с 5 % раствором йода и 10 % раствором соляной кислоты соответственно. Изменение цвета йодного раствора на фиолетовый (синий) указывало на наличие в фильтрационной корке крахмала. Бурная реакция с соляной кислотой свидетельствовала о присутствии карбоната кальция.

Цель второго этапа лабораторных испытаний – исследование проницаемости керамических дисков, имитирующих пласт, после обработки составом разрушителя для фиксации изменения их фильтрационно-емкостных свойств.

После подбора компонентного состава брейкера оценивали эффективность работы исследуемых составов в условиях высокого давления. Исследования проводились по следующей методике:

- 1) измеряли реологические параметры и плотность бурового раствора;

- 2) формировали фильтрационную корку на приборе НТ–НР (керамический диск 10 мкм, температура 22 °С, время 30 мин);

- 3) далее разбирали фильтрационную ячейку и фотографировали фильтрационную корку;

- 4) заново собирали фильтрационную ячейку, куда помещался керамический диск с ранее сформированной фильтрационной коркой;

Параметры биополимерного раствора

Параметр	Плотность, кг/м ³	Ф 30 мин, мл	Gel 10 sec	Gel 10 min	R600	R300	R6	R3	η_p , мПа*с	η_{sp} , фунт/100 фут ²
Значение	1080	4	11	14	43	32	9	7	11	21

5) заливали в ячейку состав разрушителя, и затем происходило термостарение при 23 °С и давлении 110 psi в течение 24 ч;

6) по истечении 24 ч разбирали ячейку НТ–НР и фотографировали диск с остатками фильтрационной корки (если имеются);

7) определяли наличие крахмала и карбоната кальция на диске;

8) заново собирали ячейку (перевернув диск фильтрационной коркой вниз) и измеряли время истечения 300 мл моторного масла при давлении 300 psi (или измеряли объем фильтрата за 30 мин фильтрации);

9) разбирали фильтрационную ячейку, извлекали диск-фильтр и определяли наличие крахмала и карбоната кальция на диске посредством экспресс-тестов.

Лабораторные исследования (основная часть)

На первом этапе лабораторных исследований проводилось тестирование трех зарубежных систем-разрушителей фильтрационной корки. После выдерживания в течение 24 ч в жидкости разрушителя проводились экспресс-тесты на присутствие в фильтрационной корке основных загрязняющих компонентов – крахмала и карбоната кальция. Наиболее эффективным брейкером по деструкции фильтрационной корки стал состав на основе хелатных и энзимных соединений, что также подтверждает анализ литературных источников [36, 37].

При применении данного брейкера достигается полное разрушение корки за установленный период (рис. 2, а). Оставшиеся два брейкера зарубежного производства на основе органических и неорганических кислот выполняют свою функцию частично: фильтрационная корка разрушена не полностью, наблюдаются «остатки» ее компонентов (рис. 2, б).

Следующим шагом исследований стал подбор хелата и энзима для разрабатываемой жидкости.

Выбор хелатного соединения

Хелатообразующий агент способствует образованию комплексов ионов металлов, присутствующих в фильтрационных корках, образованных жидкостями для вскрытия продуктивных пластов, и в жидкостях заканчивания [38], особенно ионов кальция, железа и магния. Вступает в реакцию исключительно с карбонатом кальция и не вызывает коррозии, по сравнению с кислотами или окислителями [39].

Для подбора наиболее эффективного хелатного соединения было проведено исследование по определению растворяющей способности карбоната кальция. Данная методика была предложена специалистами НПП «Буринтех». В ходе исследований испытано три комплексообразователя (хелата): аминокислотный (хелат № 1), фосфорсодержащий (хелат № 2), соли уксусной кислоты (хелат № 3).

Исследования проводились по следующей методике: навеска мела 10 г помещалась в сосуд с хелатным соединением и выдерживалась при различных значениях pH среды для изучения влияния данного параметра на протекание реакции. Далее сосуд помещался в печь, где происходило выпаривание жидкости. Затем оценивалась остаточная масса

карбоната кальция путем взвешивания после взаимодействия с хелатом (m_2) и рассчитывалась массовая доля веществ, растворимых в комплексообразователе (K), по формуле (1):

$$K = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \cdot 100 \%, \tag{1}$$

где m_1 – исходная масса навески мела, г; m_2 – масса мела после реакции с хелатом и просушки, г.

По итогам проведенных испытаний отмечается высокая растворяющая способность используемых комплексообразователей при различных значениях pH. Наибольшая скорость наблюдается в диапазоне значений pH = 4–7, так как кислотная среда способствует интенсивному растворению карбонатов. В кислотной среде количество растворенного мела увеличивается на 9–17 %. Это можно объяснить тем фактом, что в щелочной среде большое количество ионов OH⁻ способствуют протеканию побочных (нежелательных) реакций, вступая во взаимодействие с исходными веществами и снижая селективность реакции [40]. По количеству растворенного мела хелаты № 1 и № 3 превосходят реагент зарубежной компании.

Исходя из проведенных исследований, наиболее эффективным по растворяющей способности карбоната кальция оказался хелат, являющийся солью уксусной кислоты (рис. 3). Массовая доля растворенных веществ (карбоната кальция) при взаимодействии с данным хелатом составила 92 % при pH = 4–7 (84 % при pH = 7–10).

Выбор энзима (деструктора крахмала)

Энзим – это комплексные трехмерные молекулы протеина, вырабатываемые живыми клетками. Энзим при взаимодействии с молекулами крахмала разрушает их на обычные углеводы и сахара (является катализатором процесса гидролиза крахмала), при этом нарушая целостность фильтрационной корки и повышая эффективность освоения скважины [41].

Труднодоступность, а также достаточно высокая цена энзимов на рынке реагентов стали определяющими факторами при выборе фермента для разрушения крахмала. Анализ литературных источников [42–44] показал, что деструкция крахмала наиболее эффективно осуществляется специальным ферментом – альфа-амилазой. Альфа-амилаза – сложное органическое соединение белковой природы, биологический катализатор. Взаимодействие крахмала с альфа-амилазой сопровождается реакцией гидролиза, в результате которой образуются цепочки моносахаридов [41].

В лабораторных условиях было проверено влияние альфа-амилазы на крахмал, содержащийся в фильтрационной корке. Сформированная фильтрационная корка помещалась в контейнер с энзимом и выдерживалась при различных значениях температуры и pH. После извлечения фильтрационной корки проводился тест на наличие крахмала: оценка дается по изменению цвета раствора йода при взаимодействии с компонентами фильтрационной корки. Наличие крахмала дает синее окрашивание йода, а отсутствие – коричневое.



Рис. 1. Фильтр-пресс НТ-НР

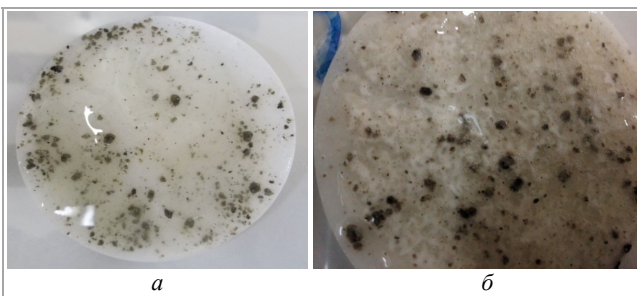


Рис. 2. Лабораторные исследования с использованием брейкера: а – фильтрационная корка после применения брейкера на основе хелатов и энзимов; б – бумажный фильтр с остатками фильтрационной корки после применения брейкера на основе органической кислоты

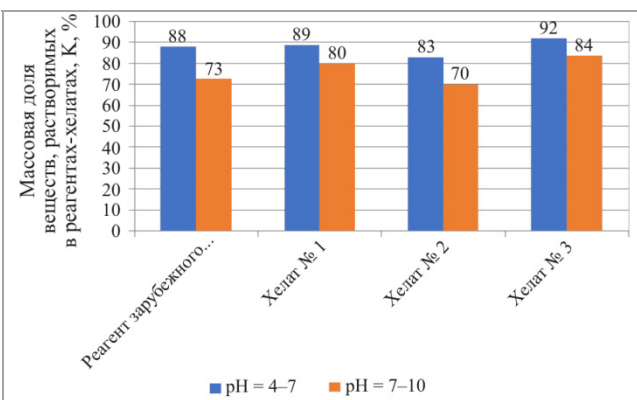


Рис. 3. Массовая доля веществ, растворимых в реагентах-хелатах при комнатной температуре и различном уровне pH



Рис. 4. Изменение цвета йодного раствора, свидетельствующее о наличии крахмала в фильтрационной корке

В ходе лабораторных испытаний энзимов выявлено, что разрушение крахмала наиболее эффективно происходит при температуре реакции 50–75 °С – наблюдается полное удаление крахмала с поверхности диска. При более низких температурах происходит лишь его локальное разрушение, а при температуре выше 90 °С энзим начинает коагулировать, т.е. теряет свою способность воздействовать на крахмал. В таком случае энзим не просто неэффективен, но и становится источником загрязнения коллектора [45]. Также энзимы не функционируют при значениях pH выше 10.

По результатам исследований, проведенных на первом этапе, были выбраны основные компоненты разрушителя фильтрационной корки, которыми стали соли уксусной кислоты, выполняющие роль растворителя карбоната кальция, и альфа-амилаза в качестве деструктора крахмала.

Второй этап исследований предполагал испытания трех зарубежных и разрабатываемого в данной работе брейкеров под действием давления. Все испытания проводились на фильтр-прессе НТ-НР по методике, изложенной выше.

Помимо испытаний брейкеров при давлении выдержки 110 psi (в течение 24 ч) были проведены опыты, в которых разрушитель оставляли на сутки при давлении в ячейке 500 psi – максимально приближенное к забойным условиям давление в лабораторных условиях согласно методикам API. Результаты исследований отражены в табл. 3.

Полученные результаты фильтрации моторного масла через керамический диск (после выдержки фильтрационной корки в жидкости разрушителя) сравниваются с фильтрацией того же моторного масла через диск без фильтрационной корки и диск, фильтрационная корка которого не разрушалась. Сравнение этих величин позволяет сделать вывод об эффективности действия брейкерной жидкости по восстановлению фильтрационных свойств диска.

В ходе испытаний было отмечено, что при проведении испытаний при значении давления в ячейке фильтра-пресса в 500 psi тест на наличие крахмала и карбоната кальция имеет положительный результат, следовательно, система для разрушения фильтрационной корки не работает. Повышение давления в рабочей среде препятствует выделению углекислого газа, который образуется в результате взаимодействия между хелатом и карбонатом кальция, что в итоге затрудняет химическую реакцию, так как максимально снижается скорость ее протекания [46, 47].

Оценка эффективности работы брейкерной системы по разрушению фильтрационной корки проведена на основе сравнения величин расхода моторного масла через керамические фильтры:

1) керамический диск, на котором не происходило формирование корки: по расходу через данный диск-фильтр можно оценить проницаемость пласта, не нарушенную воздействием раствора первичного вскрытия;

2) диск-фильтр с необработанной разрушителем фильтрационной коркой – позволяет оценить ухудшение проницаемости от применения раствора первичного вскрытия;

3) керамический фильтр с разрушенной фильтрационной коркой с помощью брейкерной системы.

В ходе проводимых испытаний замеряли время истечения 300 мл моторного масла через керамический диск без фильтрационной корки (при давлении 300 psi в ячейке фильтр-пресса НТ-НР) – 3 мин 20 с, при этом величина расхода составила 1,5 мл/с. Таким же образом был определен расход через керамический диск со сформированной на нем фильтрационной коркой (без воздействия систем разрушителей фильтрационной корки). Объем фильтрации 300 мл моторного масла за 30 мин составил 0,4 мл – расход равен 0,000222 мл/с.

Таблица 3

Результаты второго этапа исследований

Брейкер	После выдержки в ячейке (22 °С, 500 psi)		Объем фильтрата моторного масла за 30 мин, мл	После выдержки в ячейке (22 °С, 110 psi)		Объем фильтрата моторного масла за 30 мин, мл	После выдержки в комнатных условиях (22 °С)		Объем фильтрата моторного масла за 30 мин через ФК (не обработанную брейкером), мл
	тест на крахмал	тест на CaCO ₃		тест на крахмал	тест на CaCO ₃		тест на крахмал	тест на CaCO ₃	
№ 1	+	+	1,2	+	-	5,6	+	-	0,4
№ 2	+	+	0,75	+	-	3,2	+	-	
№ 3	+	+	0,8	+	-	5,4	+	-	
Разрабатываемый состав	+	+	0,55	+	-	1,8	+	-	

Примечание: ФК – фильтрационная корка.

Таблица 4

Величина расхода моторного масла при использовании различных сред

Брейкер	Расход (Q) моторного масла через керамический диск, мл/с		
	после применения брейкерной системы	с необработанной брейкерной системой фильтрационной коркой	без формирования фильтрационной корки на фильтре
Зарубежный 1	0,0031	0,000222	1,5
Зарубежный 2	0,00178		
Зарубежный 3	0,003		
Разрабатываемый состав	0,001		

Сравнение величин расхода моторного масла через керамические диски позволит судить об изменении фильтрационных свойств коллектора и качества канала связи «пласт – скважина» (табл. 4).

Исходя из значений расхода моторного масла через керамические диски, увеличение расхода моторного масла вследствие применения брейкерных систем свидетельствует об их эффективности. Расход изменяется в 8–14 раз при применении зарубежных систем разрушителей фильтрационной корки и в 4,5 раза при использовании разрабатываемого состава (см. табл. 4).

Заключение

По итогам анализа проведенных лабораторных исследований стоит отметить эффективность существующих

систем для разрушения полимерминеральной фильтрационной корки.

Подобранные в процессе исследований компоненты разрабатываемой брейкерной системы, а именно хелат и энзим, продемонстрировали свою эффективность. Наилучший результат по способности растворять карбонат кальция показал хелат, представляющий собой соль уксусной кислоты. В свою очередь в качестве разрушителя крахмала был выбран фермент альфа-амилаза, продемонстрировавший хорошее деструктурирующее воздействие на полимер.

Разработанный состав энзим-хелатной основы разрушает полимерминеральную фильтрационную корку – фильтрационные свойства керамического диска улучшаются в 4,5 раза. Требуется доработка композиции для увеличения показателей эффективности как минимум до уровня зарубежных производителей или выше.

Библиографический список

1. Антонов К.В., Лукманов Р.Р. Влияние полимерных буровых растворов на качество вскрытия продуктивных пластов и информативность геофизических исследований разреза скважин. – Тюмень: ЗапсибурНИПИ, 1996. – 60 с.
2. Formation Damage and Horizontal Wells – A Productivity Killer? / D. Brant Bennion [et al.] // International Conference on Horizontal Well Technology held in Calgary. – 1995. – SPE 37138. – P. 18–20. DOI: 10.2118/37138-MS
3. Ишбаев Р.Р., Зейгман Ю.В. Диагностирование влияния технологий первичного вскрытия и тампонирувания скважин на фильтрационные параметры пород призабойной зоны пласта // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 3. – С. 92–98.
4. Гаджиев С.Н., Попов И.В. Использование колматации для предупреждения осложнений при строительстве скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 12. – С. 16–17.
5. Грей Дж.Р., Дарли Г.С. Состав и свойства буровых агентов. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
6. Blinov P.A. Determining the stability of the borehole walls at drilling intervals of loosely coupled rocks considering zenith angle // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol 236. – P. 172–179. DOI: 10.31897/pmi.2019.2.172.
7. Кейн С.А., Швец С.В., Буслев Г.В. Технология заканчивания скважин с большим отходом от вертикали с установкой щелевого фильтра в горизонтальный ствол // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2017. – № 1. – С. 32–37.
8. Blinov P.A., Dvornikov M.V. Influence of Mud Filtrate on the Stress Distribution in the Row Zone of the Well // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Т. 12, № 15. – P. 5214–5217.
9. Filter Cake Porosity and Permeability Profile Along the Horizontal Well and Their Impact on Filter Cake Removal / Bageri Badr, Mahmoud Mohamed, Al-Mutairi S., Abdurrahman Abdulazeez. – 2015. DOI: 10.2523/IPTC-18465-MS.
10. Караманский Д.А., Петраков Д.Г. Лабораторное моделирование изменения механических и фильтрационных свойств пород коллекторов на различных этапах разработки месторождений нефти // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 49–59. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.5
11. Successful Deployment of a New Stimulation Chemical, Post Horizontal Open-Hole Gravel Pack in Wells Drilled with both Water-Based and Oil-Based Drill-In-Fluids / E. Davidson, D. McMillan, F. Martin, K. Morton, R. Lenz // SPE/IADC INDIAN Drilling Technology Conference and Exhibition. – 2006. – Drilling in India: Challenges and Opportunities, 2006. DOI: 10.2118/101964-MS.
12. Исследование колматации внутрискважинных фильтров растворами первичного вскрытия и фильтрационной коркой / П.М. Никитин, О.А. Колтыпин, Р.Л. Пчельников, П.М. Нукикин // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 3. – С. 25–29.
13. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Чельоанц Д.К. Интенсификация добычи нефти. – М.: Наука, 2000. – 414 с.
14. Vasilev B.U., Mardashov D.V. Technical solutions for ecologically safe and sustainable development of shelf deposits // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – № 2. – P. 1501–1506.
15. Nutskova M.V., Dvornikov M.V. Improving the quality of well completion in order to limit water inflows // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Т. 12, № 22. – P. 5985–5989. DOI: 10.36478/jeasci.2017.5985.5989
16. An Optimized Method to Remove Filter Cake Formed by Formate Based Drill-in Fluid in Extended Reach Wells / Alotaibi Mohammed B., Nasr-El-Din Hisham A., Hill Alfred Daniel and Abdullah Mohammad Al Moajil // Paper presented at the Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. – Jakarta, Indonesia, 2007. DOI: https://doi.org/10.2118/109754-MS.
17. Optimization of Stimulation Chemistry for Openhole Horizontal Wells / L.N. Morgenthaler, R.I. McNeil, R.J. Faircloth, A.L. Collins, C.L. Davis // Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition – New Orleans, Louisiana, September, 1998. DOI: https://doi.org/10.2118/49098-MS.
18. Петров Н.А., Давидова И.Н. Влияние реагентов и композиций на сформированную корку буровых растворов // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 4. – С. 30–36.
19. Гусева Д.М., Крацов С.А., Темник С.В. Исследование влияния биополимерного раствора на проницаемость кернов продуктивных пластов и оценка эффективности брейкерных систем // Труды РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – 2017. – Т. 288, № 3. – С. 58–62.
20. Харитонов А.Б. Обработка призабойной зоны – система N-FLOW. Опыт применения в России // Бурение и нефть. – 2010. – № 6. – С. 10–12.
21. Nasr-El-Din Hisham, Al Moajil Abdullah. Evaluation of In-Situ Generated Acids for Filter-Cake Cleanup. – 2007. DOI:10.2523/107537-MS.
22. Технология химического удаления фильтрационной корки «АРКБИТЛ» / Г.Г. Ишбаев, М.Р. Дильмиев, Р.Р. Ишбаев, С.С. Ложкин, Д.В. Петров // Научные труды НИПИ НЕФТЕГАЗ ГНКАР. – 2018. – № 2. – С. 11–14. DOI: 10.5510/OGP20180200345
23. Ноздря В.И., Роднова В.Ю., Курдюков А.В. Брейкерные составы «ПОЛИПРОН» для разрушения фильтрационных корок буровых растворов // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 6. – С. 19–23.
24. Новые составы брейкерных композиций контролируемого действия в условиях высоких температур / А.В. Курдюков, В.И. Ноздря, А.Ю. Царьков, М.П. Легута, С.А. Сорокин // Бурение и нефть. – 2019. – № 5. – С. 50–55.
25. Петров А.А., Николаев Н.И. Исследование и разработка составов для удаления фильтрационной корки // Новые идеи в науках о земле: материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 т. – М., 2019. – С. 284–287.
26. Mud cake removal efficiency of spacer fluids / S.S. Tabatabaee Moradi, N.I. Nikolaev, Y.V. Lykov, A.A. Petrov // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. – 2019. – № 2. – P. 920–925.
27. New Enzyme Process for Downhole Cleanup of Reservoir Drilling Fluid Filtercake / J.E. Hanssen, P.P. Jiang, Hanne Høst, Julie F. Jørgensen // Paper presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. – Houston, Texas, February, 1999. DOI: https://doi.org/10.2118/50709-MS.
28. Stanley Frederick O., Rae Phil, Juan C. Troncoso. Single Step Enzyme Treatment Enhances Production Capacity on Horizontal Wells // Paper presented at the SPE/IADC Drilling Conference. – Amsterdam, Netherlands, March, 1999. DOI: https://doi.org/10.2118/52818-MS.
29. Применение брейкеров при освоении горизонтальных скважин на Восточно-Мессояхском месторождении / Р.Ж. Мисбахов, М.Е. Мартынов, И.В. Коваленко, С.К. Сохошко // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 6. – С. 83–87. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-83-87
30. Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Горпиченко В.А. Технологическая жидкость для химической очистки призабойной зоны ствола скважины при заканчивании открытым стволом // Бурение и нефть. – 2013. – № 12. – С. 49–52.
31. Bondarenko A.V., Islamov S.R., Mardashov D.V. Features of oil well killing in abnormal carbonate reservoirs operating conditions // European Association of Geoscientists and Engineers. – 2019. – № 150273. – P. 629–633. DOI: 10.3997/2214-4609.201901759
32. Sandya M.S., Struchkov I.A., Rogachev M. K. Formation damage induced by wax deposition: laboratory investigations and modeling // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2020. – № 6. – P. 2541–2558. DOI: https://doi.org/10.1007/s13202-020-00924-2.
33. Influence of polymer reagents in the drilling fluids on the efficiency of deviated and horizontal wells drilling / T. Liu, E.L. Leusheva, V.A. Morenov, L. Li, G. Jiang // Energies. – 2020. – № 18. – P. 1–16. DOI: 10.3390/en13184704

