

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.2.161-173>

EDN YSINLW

УДК 622.244.4.06

Результаты лабораторных исследований и анализ применения катионной системы бурового раствора при зарезке боковых стволов на месторождениях Западной Сибири

^{1,2}Бабушкин Э.В., ¹Буянова М.Г., ¹Низамутдинова Р.М., ^{1,2}Гущина А.А.

¹Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, Россия

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

The results of laboratory testing and analysis of the use of a cationic drilling mud system in the construction of wells by sidetracking in the fields of Western Siberia

^{1,2}E.V. Babushkin, ¹M.G. Buyanova, ¹R.M. Nizamutdinova, ^{1,2}A.A. Gushchina

¹KogalymNIPIneft (Tyumen) – LUKOIL Engineering LLC Branch, Tyumen, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: BuyanovaMG@tmn.lukoil.com

Аннотация. Представлены результаты лабораторных исследований и опыт применения катионных систем буровых растворов при проведении капитального ремонта скважин методом зарезки боковых стволов на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

С целью снижения объемов отходов бурения при зарезке боковых стволов проведены лабораторные исследования по определению максимального «срока жизни» катионного бурового раствора и оценка возможности его повторного использования.

Ключевые слова: катионные буровые растворы, зарезка боковых стволов, арсиллиты

Для цитирования: Бабушкин Э.В., Буянова М.Г., Низамутдинова Р.М., Гущина А.А. Результаты лабораторных исследований и анализ применения катионной системы бурового раствора при зарезке боковых стволов на месторождениях Западной Сибири//Нефтяная провинция.-2022.-№2(30).-С.161-173. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.2.161-173>. - EDN YSINLW

Abstract. The results of laboratory testing and the experience of using cationic systems of drilling fluids during the overhaul of wells by the sidetracking at the fields of LU-KOIL-Western Siberia LLC is presented.

In order to reduce the volume of drilling waste when the sidetracking, laboratory studies were carried out to determine the maximum "lifetime" of cationic drilling mud and assess the possibility of its reuse.

Key words: *cationic drilling fluids, sidetracking, mudstones*

For citation: E.V. Babushkin, M.G. Buyanova, R.M. Nizamutdinova, A.A. Gushchina Rezul'taty laboratornyh issledovaniy i analiz primeneniya kationnoj sistemy burovogo rastvora pri zarezke bokovyh stvolov na mestorozhdeniyah Zapadnoj Sibiri [The results of laboratory testing and analysis of the use of a cationic drilling mud system in the construction of wells by sidetracking in the fields of Western Siberia]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(30), 2022. pp. 161-173. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.2.161-173>. EDN YSINLW (in Russian)

Зарезка боковых стволов (ЗБС) — одна из наиболее эффективных технологий, позволяющая добиться повышения добычи нефти на «зрелых» месторождениях и увеличения коэффициента извлечения нефти, вернуть в эксплуатацию нефтяные скважины, которые не могли быть возвращены в действующий фонд другими методами. При ЗБС на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», в зависимости от горно-геологических условий и сложности профиля скважины, применяются промывочные жидкости различного типа и состава. В частности, при бурении боковых стволов с горизонтальным окончанием применяются биополимерные буровые растворы, модифицированные реагентами-ингибиторами гидратации глин и хлоридом калия. Многие осложнения, возникающие при зарезке боковых стволов, так или иначе, связаны с применяемым буровым раствором. Затяжки, посадки и прихваты бурильного инструмента, осыпи и обвалы из-за нарушения устойчивости стенок скважины, поглощение бурового раствора вследствие плохой очистки скважины и накопления шлама в затрубном пространстве, сужение ствола, избыточный крутящий момент, осложнения при спуске геофизических приборов и другие проблемы, как правило, являются результатом несоответствия бурового раствора условиям бурения.

На этапе проектирования необходимо предусматривать все риски, связанные с возникновением осложнений, планируя применение тех или иных модификаций буровых растворов в зависимости от геолого-технологических условий бурения. При этом требуется учитывать геомеханические особенности вскрываемых пород, гидростатическое давление столба жидкости в скважине, состав и свойства бурового раствора [1].

При зарезке боковых стволов с горизонтальным окончанием задача стоит в минимизации риска осыпей и обвалов при вскрытии с большим зенитным углом покрышек целевых пластов, которые, в основном, представлены неустойчивыми глиносодержащими породами. Одним из решений является применение катионного бурового раствора [2, 3, 4], предназначенного для бурения в терригенных породах, обладающего повышенными ингибирующими и консолидирующими свойствами, обеспечивающими высокий уровень стабилизации глинисто-аргиллитовых отложений.

В состав катионного бурового раствора (КБР) входят высокомолекулярный и низкомолекулярный органические ингибиторы, обладающие повышенной адсорбционной активностью к терригенным породам.

Низкомолекулярный катионный ингибитор с фильтратом бурового раствора проникает в толщу горной породы, обеспечивая ингибирование на уровне кристаллической решетки глинистого алюмосиликата.

Высокомолекулярный катионный ингибитор адсорбируясь на поверхности более крупных структур (зерен, слоев, массивов) неустойчивых аргиллитов связывает их в одно целое, капсулирует, предупреждая разупрочнение породы, обвалы и осыпи неустойчивых отложений.

Ингибиторы капсулирующего механизма действия, создают на поверхности глины устойчивые слои, препятствующие гидратации и диспергированию. К таким реагентам преимущественно относятся органические соединения, содержащие в своей структуре четвертичный аммониевый катион или сильно электроположительный атом азота ($[(\text{CH}_3)_3\text{N}^-]^+$, $-\text{CON}^{\delta+}\text{H}_2$ и т.д.).

Механизм ингибирования процесса гидратации глин в водных средах с акриловыми полимерами, синтетическими поликатионными электролитами или катионными ПАВ, вероятно, многоплановый и обусловлен их способностью химической и физической адсорбции, и способностью замещать катионы обменного комплекса органическими катионами во всех доступных участках обменных центров поверхности глинистых частиц. В результате капсуляции природа глин становится такой же, как у гидрофобных материалов и поэтому устранение межплоскостной гидратации происходит, в основном, в результате подавления структурной составляющей расклинивающего давления. Модифицирование поверхности глин одновременно ведет к ослаблению структурной составляющей и уменьшению электростатической составляющей расклинивающего давления [5].

Катионный буровой раствор обладает крайне низкой диспергирующей способностью, благодаря чему кратно снижаются темпы наработки твердой фазы в процессе бурения и, как следствие, необходимость разбавления раствора для снижения концентрации наработанной твердой фазы.

Основные параметры буровых растворов, применяемых при ЗБС на месторождениях Западной Сибири, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований буровых растворов для ЗБС

Температура замера, °С	Плотность, г/см ³	ПВ, мПа*с	ДНС, дПа	СНС 10сек/СНС 10мин, дПа	Ф _{0,7} МПа, см ³ /30 мин	Водородный показатель рН, ед	Продольное набухание через 24 ч, %	Эш* %
Биополимерный ингибированный буровой раствор (БИБР)								
25	1,12	18	108	36,5/55,2	5,0	10,5	22,6	-
49	-	16	92,6	26,3/46,1	-	-	-	2,5
Катионный буровой раствор								
25	1,13	22	96,0	23/30	2,6	10,0	18,5	-
49	-	15	82,0	20/26	-	-	-	1,5

*Эш – эрозия шлама (оценка диспергирующих свойств по остатку на сите)

Оценка продольного набухания и диспергирующей способности проводилась на естественных керновых глинистых образцах, отобранных из неустойчивой аргиллитовой покрывки надпродуктивной части коллектора. По результатам исследовательских работ установлено, что катионный буровой раствор имеет более оптимальные фильтрационные, ингибирующие и недиспергирующие свойства по сравнению с традиционно применяемым биополимерным хлоркалийевым буровым раствором.

Для оценки возможности вскрытия продуктивного пласта проведены исследования изменения фильтрационно-емкостных свойств керна после воздействия катионного бурового раствора (Рис. 1).

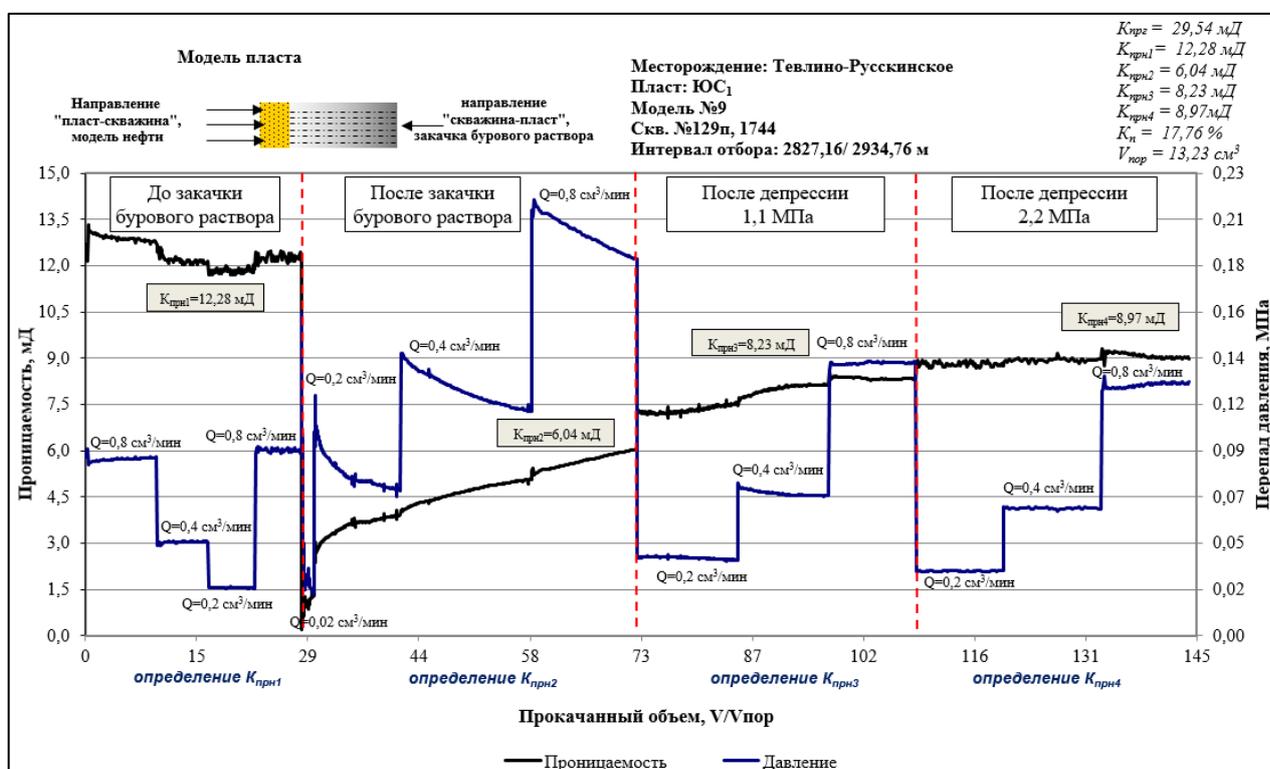


Рис. 1. Динамика фильтрации керосина через модель до и после воздействия катионного бурового раствора

Сводные результаты фильтрационного исследования представлены в табл. 2.

Результаты лабораторных исследований подтвердили возможность и целесообразность применения катионного бурового раствора при ЗБС. С целью повышения технико-экономической эффективности ЗБС на ме-

сторождениях Западной Сибири проведены опытно-промысловые работы, основной задачей которых было снижение непроизводительного времени на ликвидацию осложнений, обусловленных неустойчивостью стенок скважин.

Таблица 2

**Результаты исследования катионного бурового раствора
на естественном керновом материале**

Тип бурового раствора	Плотность бурового раствора, кг/м ³	Созданная репрессия (в динамических/статических условиях), МПа	Объем отфильтровавшегося раствора (в динамических/статических условиях), см ³	Продолжительность фильтрации бурового раствора (в динамических/статических условиях), мин	Давление отрыва корки, МПа	Коэффициент проницаемости по керосину до воздействия БР (К), 10 ⁻³ мкм ²	Коэффициент проницаемости по керосину после воздействия БР (К ₁), 10 ⁻³ мкм ²	Коэффициент восстановления проницаемости после фильтрации бурового раствора (K _{восст.}), %
КБР	1120	5,0/4,5	4,1/2,8	120,3/290,7	0,16	12,3	8,91	73*

Примечание. * – допустимое регламентированное значение K_{восст.} > 70%.

Ватьеганское месторождение (целевой продуктивный пласт БВ₁)

Бурение горизонтальных скважин на целевой объект БВ₁ Ватьеганского месторождения характеризуется высокой вероятностью получения осложнений, приуроченных к интервалу залегания «покачевско-саульской» пачки глин. Применение различных буровых растворов, в том числе на углеводородной основе, не позволило в полной мере предотвратить возникновение нештатных ситуаций, связанных с неустойчивостью ствола скважин. С использованием КБР удалось на 92%, по сравнению с базовым буровым раствором на водной основе, сократить непроизводительное время (НПВ) на ликвидацию аварий и осложнений при зарезке боковых стволов (Рис. 2).

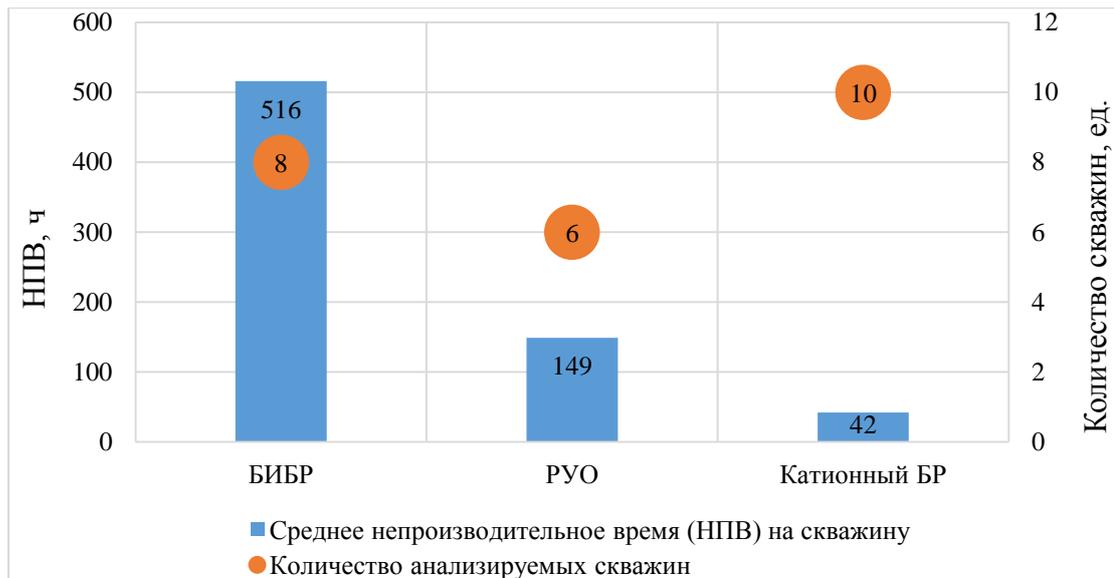


Рис. 2. Результаты анализа применения буровых растворов при ЗБС на Ватьеганском месторождении

(БИБР – биополимерный ингибированный раствор на водной основе, РУО – эмульсионный раствор на углеводородной основе)

Результаты анализа свидетельствуют о целесообразности применения катионных буровых растворов в условиях данного месторождения.

Южно-Ягунское месторождение

Бурение боковых стволов скважин на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, сопровождается поглощениями бурового раствора и дифференциальными прихватами в истощенных пластах с пониженным пластовым давлением, наличием интервалов неустойчивых отложений горных пород, склонных к обвалам и осыпям, что, в целом, приводит к значительному непроизводительному времени, связанному с осложнениями и авариями.

ЗБС на Южно-Ягунском месторождении характеризуется следующими условиями: близким к гидростатическому давлением пласта BC_{10}^0 ; значительно пониженным, относительно вышележащих объектов, пластовым давлением в целевых пластах BC_{10}^1 BC_{10}^2 (градиент пластового давления до 0,57 МПа/100 м). Вскрытие с зенитными углами 82-86 град. неустойчивых аргиллитов, склонных к осыпанию, приводит к образованию

каверн, несмотря на наличие различных типов ингибиторов и микрокольматантов (хлористый калий, силикатные и другие) в рецептурах буровых растворов. При этом, увеличение плотности раствора для обеспечения устойчивости ствола нецелесообразно, так как может привести к дифференциальному прихвату.

За период с 2019 по 2021 годы на Южно-Ягунском месторождении пробурено 30 боковых стволов с горизонтальным окончанием, из них на девяти получены осложнения в виде прихватов бурильного инструмента и обсадной колонны (Рис. 3). Данные осложнения влекут за собой большие временные и финансовые затраты, риски невыполнения производственной программы нефтегазодобывающего предприятия.

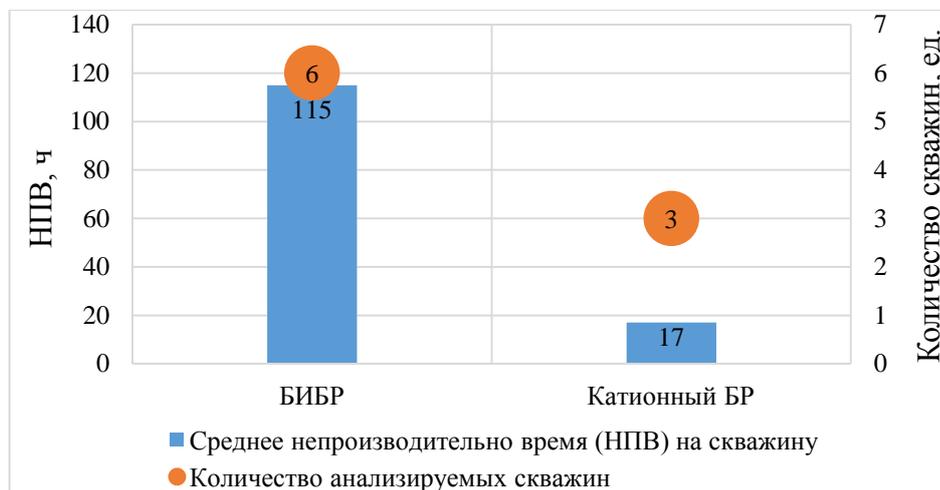


Рис. 3. Результаты анализа применения буровых растворов при ЗБС на Южно-Ягунском месторождении

Для снижения доли возникновения осложнений при ЗБС на Южно-Ягунском месторождении целесообразно применение катионных буровых растворов минимально возможной плотности, что позволит обеспечить безаварийную проводку скважин.

Месторождения ТПП «Урайнефтегаз»

Основной задачей при зарезке боковых стволов с горизонтальным окончанием на месторождениях ТПП «Урайнефтегаз» является обеспечение устойчивости ствола скважин с зенитным углом более 35° при вскры-

тии слоистых аргиллитов, в условиях их длительного контакта с буровым раствором.

Опыт применения катионного бурового раствора показал возможность кратного увеличения времени обеспечения устойчивости горных пород, склонных к осыпям и обвалообразованию, и сокращение в 1,7 раза НПВ при бурении, по сравнению с базовым биополимерным ингибированным раствором на водной основе (Рис. 4).

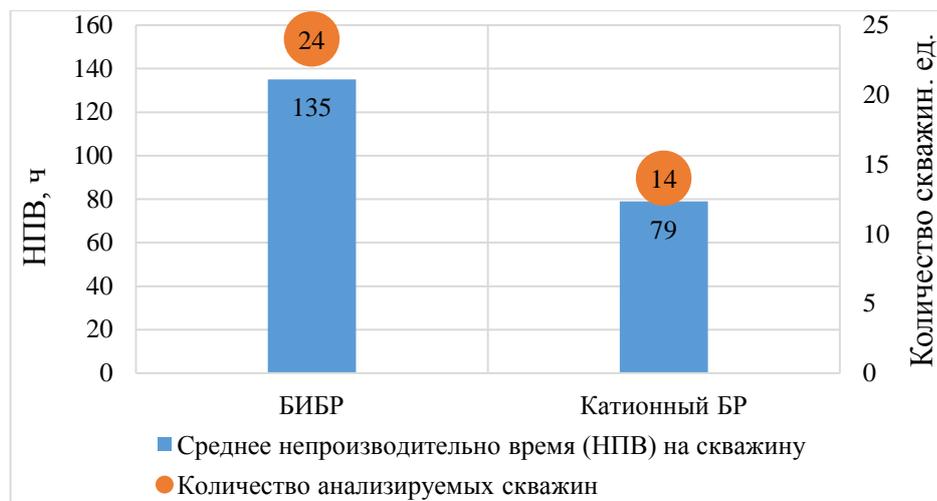


Рис. 4. Результаты анализа применения буровых растворов при ЗБС на месторождениях ТПП «Урайнефтегаз»

Исследования стабильности технологических свойств катионного бурового раствора во времени

Повторное применение отработанных буровых растворов при ЗБС эффективно в экономическом и экологическом аспекте в связи с тем, что уменьшаются затраты на приготовление растворов, транспортировку и утилизацию отходов бурения. Проведены лабораторные исследования по определению максимального «срока жизни» катионного бурового раствора для оценки возможности его повторного использования. В результате установлено, что при нахождении катионного бурового раствора в состоянии покоя в течение непродолжительного времени наблюдается нарушение агрегативной устойчивости дисперсной системы. Однако после

перемешивания бурового раствора его консистенция усредняется (Рис. 5), технологические параметры восстанавливаются.



Рис. 5. Катионный буровой раствор: после нахождения в состоянии покоя в течение 1 месяца (слева), после перемешивания (справа)

Ухудшение технологических свойств КБР не наблюдается на протяжении четырех месяцев (Табл. 3).

Таблица 3

Изменение во времени свойств КБР при его хранении

Время наблюдения, сут.	Плотность, г/см ³	ПВ, мПа·с	ДНС, дПа	СНС _{10сек} /СНС _{10мин} , дПа	Φ _{0,7} МПа, см ³ /30 мин	Водородный показатель рН, ед
0	1,12	28,5	99,8	21,5/42,4	3,2	9,0
30	1,12	29,9	96,6	20,5/41,6	3,2	8,9
60	1,12	29,4	96,5	21,5/44,6	3,4	8,5
90	1,12	30,5	93,6	18,2/38,9	3,6	8,5
120	1,12	36,8	104,8	24,0/42,7	3,2	8,5

Примечание. Замер параметров производился при комнатной температуре

Исследования показали, что существует возможность повторного применения катионного бурового раствора, без проведения дополнительных обработок химереагентами, при бурении нескольких скважин в схожих геолого-технических условиях.

Для регулирования объемов отработанных буровых растворов (ОБР) используются декантирующие центрифуги с блоком химического усиления (блок коагуляции и флокуляции – БКФ) [6]. Обнаруженный эффект разделения катионной системы бурового раствора в течение короткого времени на дисперсионную среду и дисперсную фазу позволяет исключить использование БКФ, применение специальных химических реагентов – не-

органических коагулянтов (хлорное или серноокисное железо, серноокислый алюминий и др.), не приводит к изменению существующего класса опасности ОБР.

Выводы:

1. Лабораторными исследованиями установлены преимущества катионного бурового раствора перед базовым ингибированным буровым раствором на водной основе, подтверждена возможность его использования при бурении и вскрытии продуктивного пласта в боковых стволах с горизонтальным окончанием.
2. Результаты промысловых испытаний и последующего промышленного внедрения на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» подтвердили эффективность применения КБР при восстановлении работоспособности скважин методом зарезки боковых стволов.
3. Определен «срок жизни» катионного бурового раствора и установлена возможность его повторного использования при зарезке боковых стволов на месторождениях Западной Сибири с целью сокращения объемов отходов бурения.

Список литературы

1. Буянова, М.Г. Разработка технологии применения и совершенствование составов модифицированного бурового раствора для повышения эффективности строительства скважин : специальность 2.8.2. «Технология бурения и освоения скважин» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Буянова Марина Германовна ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2021. – 189 с. – Текст : непосредственный.
2. Гайдаров, М.М-Р. Поликатионные буровые растворы «КАТБУРР» и перспективы его использования / М.М. Гайдаров, А.А. Хуббатов [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительство на суше и на море. – 2019. – № 7. – С. 19-25.
3. Ульянова, З.В. О необходимости и возможностях контроля содержания катионных полимеров в промывочной жидкости во время бурения / З.В. Ульянова, Ю.А. Кулышев. – Текст непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2020. – № 4 (616) – С. 60-63.

4. Шокин, Е.А. Опыты применения новой катионной системы бурового раствора CATFORCE в условиях строительства скважин методом ЗБС / Е.А. Шокин, С.В. Кожухов [и др.]. – Текст : непосредственный // Бурение и нефть. – 2021. – № 9. – С. 27-32.
5. Сулейменов И.Э. Динамическая теория физико-химических структур в системах полиэлектролитный гидрогель-раствор: автореферат диссертации доктора химических наук: 02.00.04. – Республика Казахстан, Алматы, 2000. – 50 с. – Текст : непосредственный.
6. Туктаров, Д.Х. О работе систем очистки буровых растворов / Д.Х. Туктаров, Д.Н. Корчагин [и др.]. – Текст : непосредственный // электронный журнал «Нефтегазовое дело». - 2011. - № 1. – С. 47-52.

References

1. Buyanova, M.G. Development of application technology and improvement of modified drilling fluid compositions to improve the efficiency of well construction: specialty 2.8.2. "Technology of drilling and development of wells": thesis for the degree of candidate of technical sciences / Buyanova Marina Germanovna; Ufa State Oil Technical University. - Ufa, 2021. - 189 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Gaidarov, M. M-R. Polycationic drilling fluids "KATBURR" and prospects for its use / M. M. Gaidarov, A. A. Khubbatov [and others]. – Text : direct // Construction on land and at sea. - 2019. - No. 7. - P. 19-25. (in Russian)
3. Ulyanova, Z. V. About the necessity and possibilities of controlling the content of cationic polymers in the drilling fluid during drilling / Z. V. Ulyanova, Yu. A. Kulyshev. – Text : direct // Oilfield business. - 2020. - No. 4 (616) - P. 60-63. (in Russian)
4. Shokin, E. A. Experience of using a new cationic drilling fluid system CATFORCE in the conditions of well construction using the sidetracking method / E. A. Shokin, S. V. Kozhukhov [et al.]. – Text : direct // Drilling and oil. - 2021. - No. 9. - P. 27-32. (in Russian)
5. Suleymanov, I.E. Dynamic theory of physico-chemical structures in polyelectrolyte hydrogel-solution systems: thesis for the degree of doctor of chemical sciences / 02.00.04. – Republic of Kazakhstan, Almaty, 2000. – 50 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Tuktarov, D. Kh. About the operation of drilling mud treatment systems / Tukhtarov D. Kh, Korchagin, D. N. [et al.]. – Text: direct // electronic journal "Oil and Gas Business". - 2011. - No. 1. - P 47-52. (in Russian)

Сведения об авторах

Бабушкин Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, начальник Управления, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, Тюменский индустриальный университет
Россия, 625000, Тюмень, ул. Республики, 41
E-mail: BabushkinEV@tmn.lukoil.com

Буянова Марина Германовна, ведущий инженер, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени
Россия, 628483, Когалым, ул. Центральная, 19/17
E-mail: BuyanovaMG@tmn.lukoil.com

Низамутдинова Рина Махматовна, ведущий инженер, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени
Россия, 625000, Тюмень, ул. Республики, 41
E-mail: NizamutdinovaRM@tmn.lukoil.com

Гущина Анастасия Александровна, инженер 2 категории, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, Тюменский индустриальный университет
Россия, 625000, Тюмень, ул. Республики, 41
E-mail: GuschinaAA@tmn.lukoil.com

Authors

E.V. Babushkin, PhD, Associate Professor, Head of Department, KogalymNIPIneft (Tyumen) – LUKOIL Engineering LLC Branch, Industrial University of Tyumen
41, Republic st., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: BabushkinEV@tmn.lukoil.com

M.G. Buyanova, Lead Engineer, KogalymNIPIneft (Tyumen) – LUKOIL Engineering LLC Branch
19/17, Tsentralnaya st., Kogalym, 628483, Russian Federation
E-mail: BuyanovaMG@tmn.lukoil.com

R.M. Nizamutdinova, Lead Engineer, KogalymNIPIneft (Tyumen) – LUKOIL Engineering LLC Branch
41, Republic st., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: NizamutdinovaRM@tmn.lukoil.com

A.A. Guschina, Engineer, KogalymNIPIneft (Tyumen) – LUKOIL Engineering LLC Branch, Industrial University of Tyumen
41, Republic st., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: GuschinaAA@tmn.lukoil.com

*Статья поступила в редакцию 25.05.2022
Принята к публикации 18.06.2022
Опубликована 30.06.2022*