УДК 622.24.06

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО НИЗКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ

♦♦♦♦♦

POSSIBLE WAYS TO SOLUTION THE PROBLEM OF DRILLING WELLS IN CONDITIONS OF ABNORMALLY LOW FORMATION PRESSURES

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonov@internet.ru

Аннотация. В статье приведено описание известковых буровых растворов и возможные пути решения проблемы бурения скважин в условиях аномально низких пластовых давлений. Описан практический опыт использования известковых буровых растворов для предотвращения катастрофических поглощений в процессе бурения глубоких скважин.

Ключевые слова: катастрофические поглощения бурового раствора; известковый буровой раствор; механизм закрепляющего и ингибирующего действия извести; предотвращение катастрофических поглощений; безглинистые буровые растворы на известковой основе.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director of the Drilling Fluids Department of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonov@internet.ru

Annotation. The article provides a description of lime drilling fluids and possible ways to solution the problem of drilling wells in conditions of abnormally low formation pressures. Practical experience of using lime drilling fluids to prevent catastrophic losses in the process of drilling deep wells is described.

Keywords: catastrophic losses of drilling fluid; lime drilling mud; mechanism of fixing and inhibiting action of lime; preventing catastrophic takeovers; clay-free lime-based drilling fluids.

Катастрофические поглощения бурового раствора истощают и подрывают жизнеспособность буровых предприятий и ставят под вопрос экономическую целесообразность бурения скважин в условиях АНПД. Бурение на репрессии, использование пенных систем, включая и афроникс[1], в отдельных случаях способны решить проблему, но для массового бурения не приемлемы из-за высокой дороговизны этих технологий.

В то же время существует способ не дорогой, но эффективный, который позволяет с минимальными потерями вскрывать пласты с репрессией более чем в 200 атм. Суть способа состоит в использовании известкового бурового раствора.

Известковые буровые растворы как класс практически полностью вытеснены полимерными мало- и безглинистыми системами. Следует отметить, что это произошло вследствие недооценки специалистами их свойств и технологических возможностей.

Первое упоминание об использовании известковых буровых растворов, как средстве укрепления стенок скважин и для борьбы с поглощениями, датируется 1904 годом. Первый американский патент на глинистый известковый буровой раствор появился в 1922 году (патент США № 1411164). Пик использования известковых буровых растворов приходится на сороковые годы прошлого столетия. Далее с увеличением глубины скважин стала проявлять себя несовместимость глины в активной коллоидной форме с известью: участились случаи схватывания бурового раствора в скважине. Отсюда берёт начало «слава» об известковых буровых растворах как термически нестойких и наметился переход от известковых буровых растворов к высоко кальциевым системам, в которых можно понизить pH и увеличить концентрацию ионов кальция. Решающую роль в этом сыграло неверное представление о механизме закрепляющего и ингибирующего действия извести в отношении стенок скважины.

[1] «Афроникс» (Aphronics™) – это инновационная микропузырьковая система, разработанная для бурения и заканчивания скважин, особенно в сложных условиях, например, при аномально низких пластовых давлениях (АНПД). Её суть – в использовании афронов: микроскопических пузырьков воздуха диаметром 20–100 мкм, окружённых многослойной защитной оболочкой из полимеров и поверхностно-активных веществ.

Специалисты считали, а зачастую и до сих пор уверены, что ингибирующее действие извести состоит в том, что ионы кальция, которые образуются в результате диссоциации гидроокиси кальция, замещают ионы натрия в обменном комплексе глин, что понижает их способность к набуханию. Такие представления противоречат положениям теории вяжущих веществ, согласно которым образование вяжущего происходит в результате растворения исходных компонентов (силикатов и алюминатов натрия с одной стороны и гидроокиси кальция с другой стороны), далее гидратации с последующим выделением из раствора труднорастворимых гидратов. Скорость процесса образования гидратов определяется кинетикой растворения исходных компонентов. Скорость гидратации вяжущих веществ можно ускорить путём повышения скорости растворения исходных веществ. Скорость растворения алюминатов и силикатов увеличивается при повышении pH и температуры, а растворимость гидроокиси кальция и степень её диссоциации при этом уменьшаются. Наиболее важным и заслуживающим внимания моментом механизма образования вяжущего вещества является участие в нём гидроокиси кальция не в ионной, а в молекулярной форме. Таким образом, увеличивая концентрацию ионов кальция и снижая pH известкового бурового раствора, невозможно усилить закрепляющее действие извести.

Возрождение известковых буровых растворов наметилось в конце 60-х годов прошлого века с разработки раствора БСК (безглинистый солестойкий раствор), в котором активная глина была заменена органической коллоидной фазой, и использовался заведомый избыток извести при pH > 12. Новая система заявила себя не просто как высоко ингибированная, а как по-настоящему укрепляющая стенки скважины, экологически чистая и полностью сохраняющая коллекторские свойства продуктивных пластов.

Специалисты из дальнего зарубежья также приблизились к верному пониманию механизма крепящего действия извести и исключительных качеств известковых буровых растворов. Главный недостаток систем, применяемых зарубежными фирмами, состоит в чрезвычайно высокой сложности регулирования тонкого баланса между коллоидной глиной и известью. Однако эти растворы оказались очень эффективными при бурении в поглощающих пластах.

В этой связи заслуживает внимания практический опыт использования известковых буровых растворов для предотвращения катастрофических поглощений в процессе бурения глубоких скважин.

При строительстве сверхглубокой скважины № 800 Шебелинской площади с проектной глубиной 7000 м необходимо было пробурить под 324 мм промежуточную колонну интервал от 1400 м до 4150 м несовместимых по условиям проводки отложений терригенного триаса, хемогенной перми и терригенного карбона. Пластовое давление в истощённых газовых залежах нижней перми составляло 3,8 МПа (коэффициент аномальности $K_{ан}$ = 0,25). Вследствие открытых хемогенных отложений плотность минерализованного бурового раствора была в пределах ρ = 1260–1320 кг/м^3, что обеспечивало уровень репрессии до 230 атм. Поглощений удалось избежать благодаря применению известкового бурового раствора.

Бурение последующей глубокой скважины № 704 на Шебелинской площади в интервале АНПД сопровождалось многочисленными катастрофическими поглощениями до тех пор, пока буровой раствор не приобрёл свойства известкового вследствие обогащения известью после установки и разбуривания многочисленных цементных мостов.

Этот результат можно сопоставить с опытом применения американской фирмой «Amoco Production Co»[1] известкового бурового раствора на шельфе Мексиканского залива. Скважину Mustang Island A-111, которую пробурили с помощью бурового раствора на нефтяной основе, были вынуждены обсадить колонной до достижения проектной глубины из-за поглощений, которые не могли ликвидировать. Скважину A-110, которую

[1] Amoco (аббревиатура от American Oil Company) – бывшая американская нефтяная компания, один из крупнейших производителей и продавцов нефтепродуктов в США. В конце 1998 года Amoco объединилась с британской компанией British Petroleum, после чего две компании приняли логотип «BP».

бурили на известковом буровом растворе, добурили до проектной глубины 5693 м благодаря тому, что гидроразрывы, которые время от времени возникали, самозалечивались в результате взаимодействия извести с горными породами. Операция по ликвидации поглощений была очень простой: бурильный инструмент поднимали в башмак, а в это время стенки скважины закреплялись (the hole was allowed to heal). Такая операция проводилась несколько раз и не сопровождалась применением наполнителей.

В настоящее время разработаны новые безглинистые буровые растворы на известковой основе, обладающие необходимыми структурно-реологическими свойствами, простые в регулировании технологических параметров, которые предназначены для вскрытия истощённых продуктивных пластов при массовом строительстве скважин в регионах с повышенными экологическими требованиями к буровым растворам.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что для бурения в интервалах продуктивных пластов с АНПД, породы которых представлены силикатами и алюминатами, технологически и экономически целесообразно использовать безглинистые буровые растворы на известковой основе для предотвращения катастрофических поглощений и сохранения коллекторских свойств продуктивных пластов.

Литература

1. Мариампольский Н.А. Результаты использования электрообработанных буровых растворов / Н.А. Мариампольский, Н.Б. Савенок, О.В. Савенок // Сборник научных трудов «Гипотезы, поиск, прогнозы». – Краснодар : СКО ИА РФ, 1997. – Вып. 4. – С. 213–221.
2. Бурение продуктивных горизонтов с пониженным пластовым давлением в Западной Сибири: прямая эмульсия «масло в воде» BARADRIL-N®/Mineral Oil / Е.В. Тихонов [и др.] // Бурение & Нефть. – 2013. – № 10. – С. 50–52.
3. Батыров М.И. Построение регрессионной модели для определения факторов, влияющих на свойства и технологические параметры бурового раствора / М.И. Батыров, С.И. Руденко, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 297–315.
4. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
5. Новая цифровая модель фильтрации бурового раствора при первичном вскрытии низкопроницаемых отложений / В.В. Минибаев [и др.] // Бурение и нефть. – 2023. – № S2. – С. 6–15.
6. Тихонов Е.В. Анализ применения газированных технологических жидкостей для бурения скважин на нефтяных месторождениях с аномально низким пластовым давлением // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 233–245.
7. Тихонов Е.В. Основные направления снижения стоимости буровых работ и капитального ремонта скважин / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2025 : материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции (27–28 марта 2025 года, г. Ухта) : в 2 частях. – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2025. – Ч. 2. – С. 151–156.
8. Тихонов Е.В. Анализ изменения плотности нагнетаемой в скважину аэрированной жидкости / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 50–52.
9. Тихонов Е.В. Анализ механизма формирования каналов цементируемого заколонного пространства скважины // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 383–389.
10. Тихонов Е.В. К вопросу о прогнозировании вязкости буровых растворов в скважинных условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 3. – С. 161–164.
11. Тихонов Е.В. К вопросу повышения качества вскрытия продуктивных пластов за счёт применения буровых растворов на основе полианионной целлюлозы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 3. – С. 165–170.
12. Тихонов Е.В. К вопросу о фильтрации вязкопластичной жидкости в трещиноватых пористых средах // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 4. – С. 161–166.

References

1. Mariampolsky N.A. Results of using electrically treated drilling fluids / N.A. Mariampolsky, N.B. Savenok, O.V. Savenok // Collection of scientific papers «Hypotheses, Search, Forecasts». – Krasnodar : SKO IA RF, 1997. – Iss. 4. – P. 213–221.
2. Drilling of productive horizons with reduced formation pressure in Western Siberia: direct oil-in-water emulsion BARADRIL-N®/Mineral Oil / E.V. Tikhonov [et al.] // Drilling & Oil. – 2013. – № 10. – P. 50–52.
3. Batyrov M.I. Construction of a regression model to determine the factors influencing the properties and technological parameters of a drilling fluid / M.I. Batyrov, S.I. Rudenko, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2019. – № 1. – P. 297–315.
4. Tikhonov E.V. Analysis of Well Drilling and Drilling-In Problems in Oil and Gas Reservoirs in Complicated Conditions // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206–222.
5. New Digital Model of Drilling Mud Filtration during Primary Drilling in Low-Permeability Deposits / V.V. Minibaev [et al.] // Drilling and Oil. – 2023. – № S2. – P. 6–15.
6. Tikhonov E.V. Analysis of the Use of Carbonated Process Fluids for Drilling Wells in Oil Fields with Abnormally Low Reservoir Pressure // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 233–245.
7. Tikhonov E.V. Key Directions for Reducing the Cost of Drilling Operations and Well Workovers / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // SEVERGEOECOTECH-2025: Proceedings of the XXVI International Youth Scientific Conference (March 27–28, 2025, Ukhta) : in 2 parts. – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2025. – Part 2. – P. 151–156.
8. Tikhonov E.V. Analysis of Changes in the Density of Aerated Fluid Injected into the Well / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // Petroleum Engineer. – 2025. – № 2. – P. 50–52.
9. Tikhonov E.V. Analysis of the Mechanism of Formation of Channels in the Cemented Well Annular Space // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 383–389.
10. Tikhonov E.V. On the Issue of Predicting the Viscosity of Drilling Fluids in Downhole Conditions // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 3. – P. 161–164.
11. Tikhonov E.V. On the Issue of Improving the Quality of Opening Producible Formations Through the Use of Drilling Fluids Based on Polyanionic Cellulose // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 3. – P. 165–170.
12. Tikhonov E.V. On the Issue of Viscoplastic Fluid Filtration in Fractured Porous Media // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 4. – P. 161–166.