



УДК 622.244.49

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.И.НИКОЛАЕВ, Е.Л.ЛЕУШЕВА

Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Представлены способы ослабления пород для повышения эффективности бурения твердых горных пород, а также сделана попытка разработки состава промывочной жидкости. Цель работы – создание композиций промывочных жидкостей, повышающих эффективность разрушения твердых горных пород.

Авторами статьи проведены экспериментальные исследования составов промывочных жидкостей и их основных структурно-реологических и фильтрационных характеристик. Также на созданном стенде оценено влияние различных растворов, в том числе и разработанного, на процесс разрушения твердой породы.

Результаты исследований показывают, что состав и характеристики разработанной промывочной жидкости положительно влияют на процесс разрушения твердых горных пород. Применение безглинистых буровых растворов с добавками композиций анионоактивных ПАВ позволяет увеличить производительность буровых работ за счет повышения механической скорости бурения и проходки на долото.

Ключевые слова: горная порода, ослабление пород, микротрещины, скважина, деформация, реагенты-детергенты, поверхностно-активные вещества, буровой раствор, адсорбция, разрушение породы, безглинистый раствор.

Как цитировать эту статью: Николаев Н.И. Разработка составов промывочных жидкостей для повышения эффективности бурения твердых горных пород / Н.И.Николаев, Е.Л.Леушева // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.412-420. DOI 10.18454/PMI.2016.3.412

Как известно, процесс бурения скважины сложный и преследующий много задач. Технические и экономические показатели бурения горных пород во многом зависят от совершенства технологии промывки скважин, состава и свойств промывочных жидкостей, их физико-химической обработки и соответствия буримым породам. Особенно остро вопрос выбора оптимального состава бурового раствора стоит при бурении в твердых горных породах, так как помимо основных функций, таких как создание гидростатического давления, очистка забоя, вынос шлама и т.д., необходимо регулировать поверхностные силы, которые позволяют применить эффект адсорбционного понижения твердости (предварительное ослабление породы).

Предварительное ослабление горных пород представляет собой процесс, при котором массив изменяет свои физико-механические свойства с понижением показателей прочности [7, 8]. В работах [1, 2] способы ослабления горных пород с жесткими связями разделены на пять классов: механические, термические, химические, биологические и технологические. Внутри каждого класса выделены подклассы по виду энергии с учетом способа ее подвода к забоям:

Класс	Подкласс
Механическое ослабление	Нарезание или бурение щелей. Нагнетание воды в пласт под высоким давлением. Гидровзрывание. Рыхление поверхности массива
Термическое ослабление	Односторонний нагрев с использованием пламени газовой горелки, горячей воды, перегретого воздушного пара. Использование знакопеременных температурных воздействий. Нагрев по всему объему с помощью электромагнитных полей. Облучение лазером, радиоволнами, ультразвуком
Химическое ослабление	Применение поверхностно-активных веществ в качестве понизителей твердости. Растворение цементирующего вещества кислотами
Биологическое ослабление	–
Технологическое ослабление ...	Использование отжима. Насыщение массива газом

Исследователями [13, 16] показано, что уменьшение поверхностной энергии твердого тела экспоненциально уменьшает его долговечность под нагрузкой, т.е. снижает прочность.

Для практического уменьшения поверхностного натяжения твердого тела можно использовать:

- внутренний адсорбционный эффект, т.е. адсорбцию поверхностно-активных веществ (ПАВ) на внутренних поверхностях раздела зародышевых микротрещин разрушения;
- эффект снижения поверхностного натяжения твердого тела при поляризации его в сильных электрических полях; возможность практического использования этого эффекта требует исследований по его влиянию на прочностные свойства горных пород.

Важным фактором интенсификации процесса бурения горных пород является воздействие на них поверхностно-активных веществ [5, 11, 14, 15]. Поверхностно-активная среда влияет на характер деформации и разрушения твердых тел, главным образом, в окрестностях острых (тупиковых) концов



развивающихся трещин. Таким образом, в областях деформации твердого тела адсорбционное влияние среды приводит к изменению эффективной поверхностной энергии, приходящейся на единицу поверхности, что и обуславливает изменение прочностных свойств твердого тела.

Наибольшие адсорбционные эффекты имеют место тогда, когда возникающие в процессе разрушения новые поверхности успевают покрыться адсорбционными слоями. С этой точки зрения эффективность действия ПАВ при ударно-вращательном бурении и при бурении шарошечными долотами выше, чем при вращательном – коронками и режущими долотами [10-12].

Основное положение о том, что влияние внешней среды и адсорбирующихся веществ на деформацию и разрушение твердого тела обусловлено их проникновением в микротрещины на довольно значительную глубину в зоне предразрушения, развивающейся в твердом теле в процессе его деформации, было подтверждено рядом работ лабораторий Коллоидо-электрохимического института Академии наук СССР [5]. Здесь необходимо отметить работы, в которых исследовались «элементарные акты» деформирования или разрушения отдельных кристаллов. Были исследованы: раскалывание кристалликов кальцита по спайности, изгиб и другие деформации листочков слюды.

Было показано, что добавки адсорбирующих веществ в малых концентрациях, достаточных для насыщения адсорбционного слоя, почти в 2 раза понижают усилие раскалывания кристалликов кальцита толщиной 1-2 мм (Н.Е.Маркова) по сравнению с усилием раскалывания в чистой воде. Такое действие понизителей твердости значительно увеличивается при длительном вылеживании кристаллика в данной жидкости, особенно в нагруженном состоянии, близкому к пределу прочности. Влияние времени пребывания в данной среде значительно возрастает при достижении наибольшей активности жидкости по отношению к твердому телу, т.е. при оптимальной концентрации понизителя твердости, что убедительно доказывает основную роль проникновения среды в зону предразрушения. В присутствии добавок понизителя твердости зона предразрушения развивается, а трещиноватость в ней возрастает – микротрещины становятся глубже и их число в единице объема увеличивается. Это и вызывает наибольшее (в зависимости от концентрации) облегчение раскалывания кристалла, причем наибольший эффект достигается через более продолжительное время [5].

Результаты исследований [10] показали, что наиболее эффективными понизителями прочности являются анионоактивные ПАВ в щелочной среде, что хорошо согласуется с данными, полученными при изучении влияния ПАВ на контактную прочность песчаников.

В связи с этим создание композиций промывочных жидкостей с добавками реагентов – понизителей твердости (детергентов) горных пород представляется весьма актуальной задачей, особенно при бурении скважин в твердых горных породах.

Следует отметить, что порода высокой твердости мало изменяет свои механические свойства под влиянием высоких значений давления и температуры, имеющих место на больших глубинах. Наоборот, осадочные породы невысокой твердости и плотности на больших глубинах под влиянием высоких давлений и температуры уплотняются и твердость их может увеличиться в 3-4 раза, в соответствии с чем изменится и показатель буримости.

Известно, что с уменьшением плотности промывочной жидкости повышается механическая скорость проходки. Если заменить глинистый раствор водой, скорость бурения увеличивается на 20-30 %. Еще большее увеличение (в 2-5 раз) скорости бурения дает замена промывочной жидкости газом [2, 3]. Это указывает на необходимость исследований в области применения буровых растворов пониженной плотности на основе различных полимеров.

Анализ проведенных ранее исследований позволяет сделать следующие выводы:

- при разрушении горных пород целесообразнее применять такие поверхностно-активные вещества, которые будут лучше растекаться по поверхности, т.е. иметь наименьший краевой угол смачивания и низкие значения поверхностного натяжения, это позволит буровому раствору с добавкой в него ПАВ глубже проникать в образовавшиеся микротрещины, создавая расклинивающее давление на их внутреннюю поверхность;
- для повышения эффективности разрушения породы на забое необходимо стремиться к понижению удельного электрического сопротивления буровых растворов;
- при выборе бурового раствора необходимо проводить исследования по замеру основных прочностных свойств горных пород (например, предела прочности, микротвердости, динамической прочности).

В процессе экспериментальных исследований краевого угла смачивания (при помощи системы анализа формы капли «Easy Drop») на поверхности образца твердой горной породы использовались водные растворы ПАВ концентрацией 0,05 и 0,1 %:

- анионоактивные – линейный алкилбензолсульфонат натрия (ЛАБС натрия);
- катионоактивный – катамин-АБ;
- неионогенный – ОП-7.

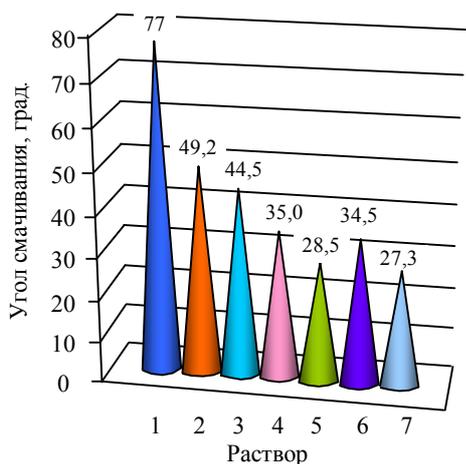


Рис.1. Значение краевого угла смачивания на поверхности образца для водных растворов ПАВ 1 – вода; 2 – 0,05 %-ный раствор катамина-АБ; 3 – 0,1 %-ный раствор катамина-АБ; 4 – 0,05 %-ный раствор ОП-7; 5 – 0,1 %-ный раствор ОП-7; 6 – 0,05 %-ный раствор ЛАБС натрия; 7 – 0,1 %-ный раствор ЛАБС натрия

упругости. Результаты соответствующих расчетов удельной работы представлены на рис.3, а. Из графиков видно, что при малых концентрациях (0,05 %) все виды ПАВ уменьшают работу деформации породы примерно на 40 %. С увеличением концентрации до 0,1 % анионоактивные ПАВ снижают работу упругих сил почти в 3 раза, а увеличение концентрации неионогенных и катионоактивных ПАВ на этот показатель практически не влияют.

Аналогичная зависимость наблюдается при анализе влияния ПАВ на твердость горных пород (рис.3, б). Так, для всех исследуемых ПАВ при их концентрации 0,05 % снижение твердости составляет в среднем 25 %, а с увеличением концентрации до 0,1 % понижение твердости наблюдается при воздействии на породу только анионоактивными ПАВ и этот показатель уменьшается более чем на 40 %.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования анионоактивных ПАВ в составах разрабатываемых буровых растворов в качестве детергентов.

Известно [4, 5], что буровые растворы оказывают наибольшее положительное влияние на эффективность разрушения пород на забое скважины через их способность препятствовать смыканию микротрещин, образовавшихся при ударе элементов вооружения долота. Это достигается уменьшением поверхностной энергии на поверхности трещины и снижением угнетающего гидравлического давления на забой скважины.

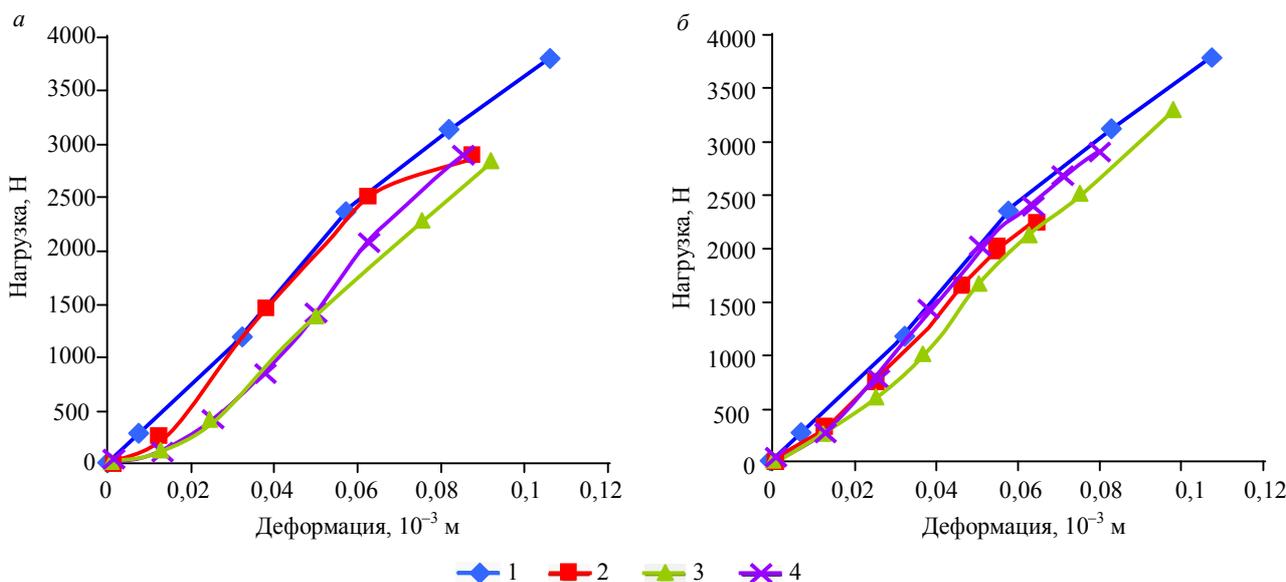


Рис.2. Диаграммы деформации образца горной породы в среде ПАВ с концентрацией 0,05 % (а) и 0,1 % (б) 1 – сухой образец; 2-4 – водные растворы (2 – ЛАБС натрия, 3 – катамина-АБ, 4 – ОП-7)

Одни исследователи считают, что на буримость твердых горных пород существенно влияет перепад между гидростатическим и пластовым давлениями на забое. При этом отмечается, что перепад давления зависит от физических свойств буримых пород, состава и свойств бурового раствора, его химической обработки, содержания твердой фазы и т.д. Другие утверждают, что основными факторами увеличения буримости горных пород являются водоотдача бурового раствора, состав фильтрата, его вязкость, а также структурно-механические свойства промывочной среды [2, 6].

Снижения угнетающего давления на забой можно добиться уменьшением плотности бурового раствора, а для уменьшения поверхностной энергии – добавкой в раствор поверхностно-активных веществ.

Для получения наглядных результатов эффективности ПАВ были проведены эксперименты по внедрению металлического индентора в стеклянный образец в водной среде и растворе ПАВ при различном количестве ударов.

Принцип действия пружинного механизма (рис.4) основан на сжатии и мгновенном освобождении пружины. Он имеет свинченный из трех частей (4, 5, 10) корпус, в который помещаются пружины 6, 11, стержень 2 с индентором 12, ударник 7 со смещающимся сухарем 9 и плоская пружина 3. При нажатии острием индентора внутренний конец стержня 2 упирается в сухарь, в результате чего ударник перемещается вверх и сжимает пружину 6. Упершись в ребро заплечника 8, сухарь сдвигается в сторону и кромка его сходит со стержня 2. В этот момент ударник под действием силы сжатой пружины 6 наносит по концу стержня с индентором удар. Сразу после этого пружиной 11 восстанавливается начальное положение индентора. Силу удара (10-15 Н) регулируют, ввинчивая или вывинчивая упорный колпачок 5. В зону контакта с образцом 1 подается исследуемый раствор.

Стекло выбрано в качестве объекта исследований, поскольку является изотропным материалом. Были проведены экспериментальные исследования при различном количестве ударов индентора. Полученные результаты показывают, что при единичном ударе индентора увеличение зоны разрушения в среде 0,1 % водного раствора анионоактивного ПАВ достигает 50 % в сравнении с водой. При большем количестве ударов эта разница увеличивается более чем в 2 раза.

Следующий этап исследований направлен на разработку состава безглинистого бурового раствора, в качестве основных компонентов которого предлагается использовать ксантановый биополимер «КК-Робус», реагент на основе акриловых полимеров и композицию из анионоактивных ПАВ. Были измерены основные параметры растворов с различными концентрациями биополимера (табл.1). Установлено, что безглинистые буровые растворы обладают меньшей плотностью, чем глинистые, что благоприятно сказывается на повышении эффективности разрушения твердых горных пород [6, 9].

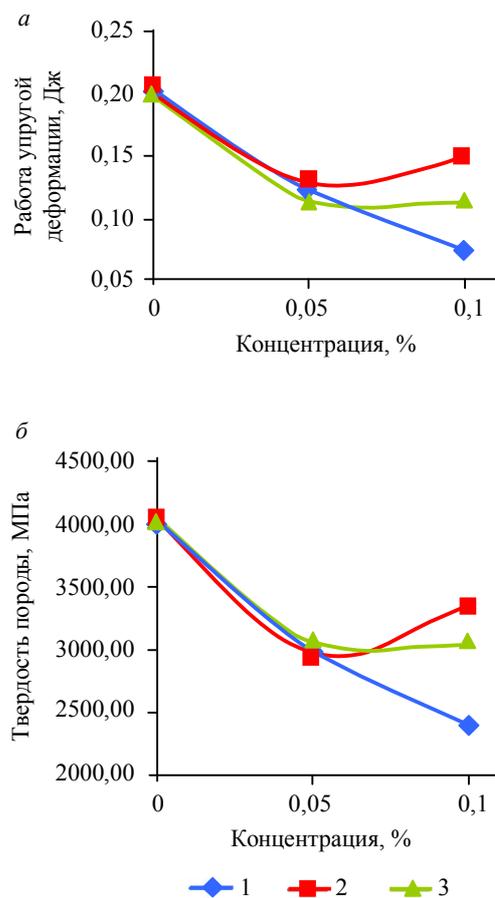


Рис.3. Зависимость работы упругой деформации (а) и твердости породы (б) от концентрации ПАВ
1 – ЛАБС натрия; 2 – катамин-АВ; 3 – ОП-7

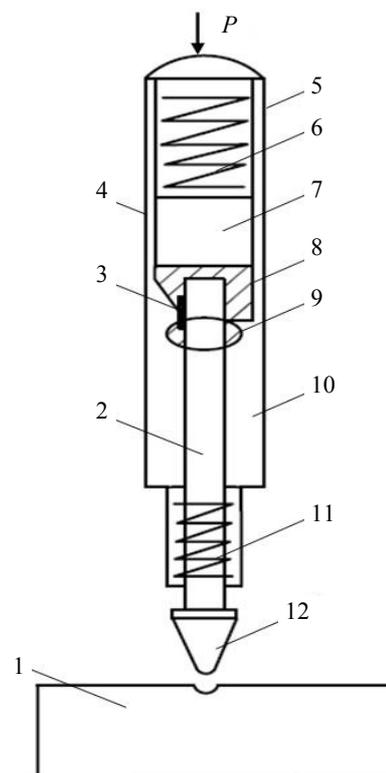


Рис.4. Схема пружинного механизма

Таблица 1

Технологические параметры растворов

Концентрация реагента «КК-Робус» по массе, %	Плотность, кг/м ³	Условная вязкость, с	Статистическое напряжение сдвига через 10 мин, дПа	Водоотдача за 30 мин, см ³	Пластическая вязкость, мПа·с	Динамическое напряжение сдвига, Па
0,1	1005	17	1	31	1,5	2
0,2	1005	18	1	27	2	2,5
0,3	1005	19	1,5	20	3	4,5
0,5	1010	43	10	9	5	5,6
0,7	1015	85	14	6	10	12,7

Для глинистых буровых растворов вязкость всегда стараются минимизировать, так как с ее снижением падают энергетические затраты на циркуляцию бурового раствора, улучшается очистка забоя, появляется возможность реализации большей гидравлической мощности на долоте, уменьшаются потери давления в кольцевом пространстве скважины. Для безглинистых буровых растворов требование снижения вязкости может быть не так категорично, так как они обладают свойством разжижения при высоких скоростях сдвига. Условная вязкость исследованных растворов (рис.5) колеблется от 17 до 85 с.

Следующим параметром, характеризующим качество раствора, является водоотдача. Водоотдача растворов с содержанием биополимера от 0,1 до 0,3 % много выше, чем у растворов с концентрациями 0,5 и 0,7 % (рис.5).

Статическое напряжение сдвига (СНС) должно быть минимальным, но достаточным для удержания во взвешенном состоянии в покоящемся буровом растворе частиц выбуренных пород и утяжелителя. Установлено, что показатель СНС безглинистых растворов меняется от 1 до 14 дПа (рис.6). Значение СНС растворов очень низкое. Как известно, динамическое напряжение сдвига (ДНС) – усилие, которое необходимо приложить к раствору, чтобы вызвать ламинарное течение последнего, поэтому нецелесообразно повышать его значение. Из рис.6 следует, что при увеличении концентрации биополимера до 0,7 % значение ДНС достигает 12,7 Па.

Исходя из полученных результатов, логично сделать вывод, что для дальнейших исследований необходимо использовать кантановый биополимер «КК-Робус», концентрация которого должна быть не менее 0,3 % и не более 0,6 %.

Если исходить из общих рассуждений, то для очистки ствола скважины и снижения возможных потерь давления лучше всего подходит буровой раствор с преимущественно структурной вязкостью, т.е. с высоким отношением предельного динамического напряжения сдвига к пластической вязкости или с низким показателем нелинейности [8, 10].

В связи с этим на ротационном вискозиметре «Rheotest» были проведены исследования по замеру показателя нелинейности буровых растворов различных составов (табл.2).

Как видно из табл.2 составы растворов 1, 2 и 3 имеют высокие показатели нелинейности, что приводит к повышению потерь давления в скважине и уменьшению эффективности очистки забоя, что, в свою очередь, понижает эффективность бурения в целом. Растворы 4 и 5 имеют приемлемые

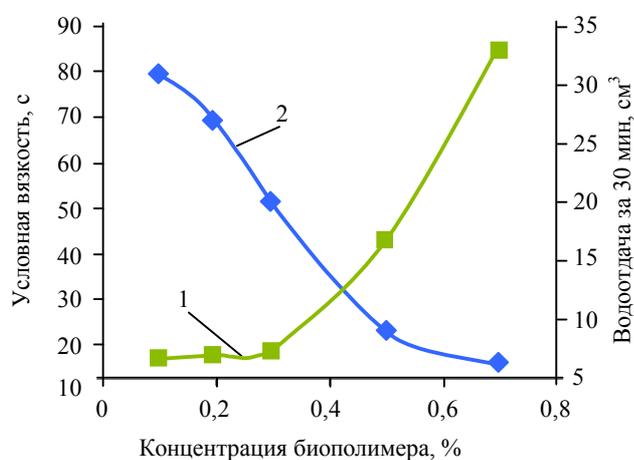


Рис.5. Зависимость условной вязкости (1) и водоотдачи (2) от концентрации биополимера «КК-Робус»

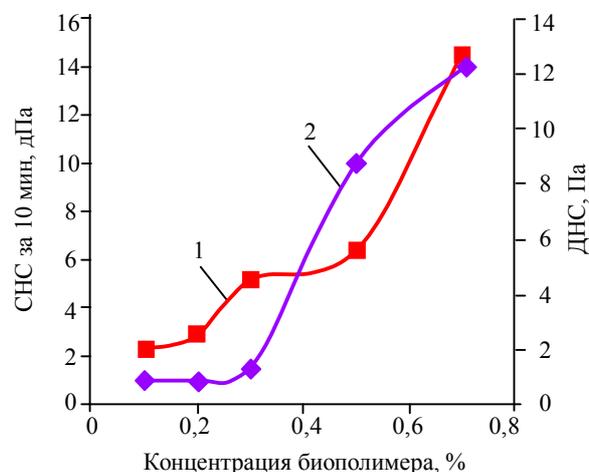


Рис.6. Зависимость СНС (1) и ДНС (2) от концентрации биополимера «КК-Робус»

значения показателя нелинейности, однако при добавке в раствор 4 полимера «Конкрепол-В» реологические параметры превысили допустимые значения (так, например, условная вязкость составила 90 с).

Таблица 2

Показатели нелинейности и составы исследуемых безглинистых буровых растворов

Номер раствора	Состав раствора	Показатель нелинейности
1	0,3 % «КК-Робус» + 2 % «КМ-017» + 0,1 % композиции ПАВ + 0,1 % NaOH	0,5318
2	0,3 % «КК-Робус» + 1,5 % «КМ-017» + 1,5 % полимера «Конкрепол-В» + 0,1 % композиции ПАВ + 0,1 % NaOH	0,5208
3	0,4 % «КК-Робус» + 3,5 % «КМ-017» + 0,1 % композиции ПАВ + 0,1 % NaOH	0,4492
4	0,3 % «КК-Робус» + 2 % «КМ-017» + 3 % полимера «Конкрепол-В» + 0,1 % композиции ПАВ + 0,1 % NaOH	0,3706
5	0,4 % «КК-Робус» + 5 % «КМ-017» + 0,1 % композиции ПАВ + 0,1 % NaOH	0,3984

Концентрация анионоактивных ПАВ в разрабатываемом растворе 0,1 % была выбрана по результатам ранее проведенных экспериментов. Для снижения жесткости воды в раствор добавляется 0,1 % гидроксида натрия (каустической соды).

Таким образом, оптимальный состав безглинистого бурового раствора может быть представлен следующими компонентами: 0,4 % биополимера «КК-Робус»; 5 % акрилового полимера «КМ-017»; 0,1 % анионоактивного ПАВ (0,05 % лаурилсульфата натрия и 0,05 % ацетата калия); 0,1 % гидроксида натрия.

Основные структурно-реологические параметры раствора: плотность 1010-1015 кг/м³, вязкость 19-21 с, показатель фильтрации 5,5-6,5 см³/30 мин, ДНС 5-6 Па, СНС через 1 мин составляет 2-3 Па, а через 10 мин 7-9 Па, pH 8-9.

Поток бурового раствора на протяжении своего движения получает тепло от восходящего потока бурового раствора и поэтому постепенно нагревается, при прочих равных условиях эта температура повышается по мере увеличения глубины скважины.

В этой связи определены структурно-реологические показатели разработанного безглинистого бурового раствора при различных значениях температуры окружающей среды. Были проведены исследования изменения пластической вязкости и динамического напряжения сдвига при температуре от 30 до 120 °С. Полученные зависимости пластической вязкости и динамического напряжения сдвига от скорости сдвига при различных значениях температуры показывают, что при повышении температуры происходит снижение как пластической вязкости, так и динамического напряжения сдвига. Так, при скорости сдвига 6700 с⁻¹ и увеличении температуры до 90 °С снижение пластической вязкости составляет порядка 20 % (8,2 мПа·с) от показаний при 30 °С (6,5 мПа·с), а при нагреве окружающей среды до 120 °С – 40 % (до 4,9 мПа·с). Подобные зависимости наблюдаются при анализе данных по динамическому напряжению сдвига: при 30 °С – 53 Па, снижение на 23 % (41 Па) при нагреве до 90 °С и на 43 % (30 Па) при дальнейшем увеличении температуры до 120 °С. Это можно объяснить тем, что при повышенных значениях температуры происходит термоокислительная деструкция полимеров, входящих в состав раствора, при этом высоковязкие марки переходят в средневязкие, а средневязкие – в низковязкие.

Результаты исследования показывают, что при повышенной температуре окружающей среды структурно-реологические показатели разработанного безглинистого бурового раствора остаются в пределах допустимых значений и, следовательно, растворы могут применяться для бурения глубоких скважин.

Для оценки эффективности бурения твердых горных пород разработан стенд (рис.7) и методика проведения стендовых

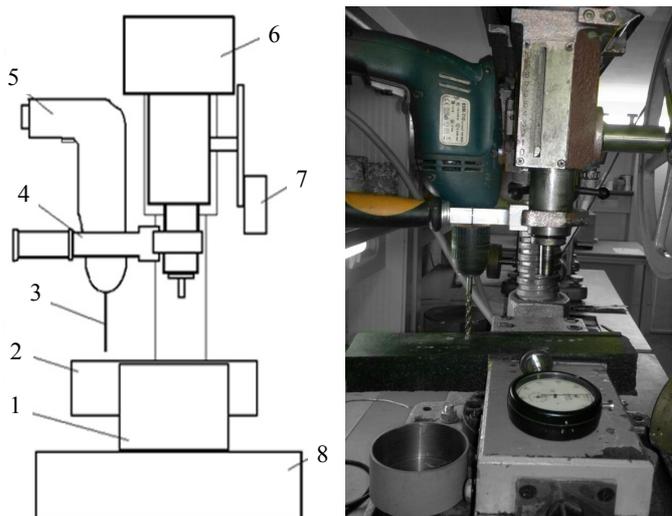


Рис.7. Схема и общий вид стенда

- 1 – винтовой зажим; 2 – образец породы; 3 – породоразрушающий инструмент ударно-вращательного действия; 4 – зажим; 5 – вращатель ударного действия; 6 – подвижное нагружающее устройство; 7 – груз; 8 – станина



исследований. При проведении экспериментальных исследований изучалось влияние анионоактивных ПАВ и разработанного состава безглинистого бурового раствора на эффективность бурения твердых горных пород.

Методика проведения стендовых исследований предусматривала:

- подготовку образца мелкозернистой горной породы, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда и шлифованные поверхности;
- горизонтирование и последующее закрепление образца в зажимном устройстве;
- установку и фиксацию осевой нагрузки, частоты ударов и частоты вращения породоразрушающего инструмента (ПРИ);
- подвод исследуемых жидкостей непосредственно к месту контакта ПРИ с образцом породы;
- разрушение образца ударно-вращательным способом;
- измерение глубины погружения ПРИ в образец за фиксированное время.

Условия исследований: размеры образца породы – 30 × 8 × 6 см; горная порода – диабаз; осевая нагрузка 180 Н; частота вращения 100 об/мин; частота ударов 200 мин⁻¹; вооружение ПРИ – твердый сплав ВК-8; диаметр ПРИ 8 мм; время воздействия 10 мин.

В качестве основного приводного узла стенда использовалась электродрель ударно-поворотного действия, обеспечивающая возможность имитировать дробяще-скалывающий режим работы ПРИ.

Нагрузка, действующая на ударное сверло 3, создается подвижным нагружающим устройством 6, вращателем ударного действия 5, находящимся в зажиме 4 и грузом 7. Масса подвижного нагружающего устройства 6 и вращателя ударного действия 5 постоянны, изменять нагрузку можно только путем увеличения или уменьшения массы груза 7.

На разработанном стенде были проведены опыты с использованием следующих растворов: 1) вода; 2) 0,1 %-ный водный раствор ЛАБС натрия; 3) 0,1 %-ный водный раствор лаурилсульфата натрия; 4) разработанный биополимерный буровой раствор. Получены следующие результаты:

Исследуемый раствор	Вода	ЛАБС натрия	Лаурилсульфат натрия	Безглинистый раствор
Глубина погружения ПРИ, мм	9,0	9,6	11,05	10,65

Из представленных данных видно, что применение ЛАБС натрия увеличивает эффективность разрушения на 7 %, а лаурилсульфат натрия на 23 %. Безглинистый раствор, содержащий композицию ПАВ, увеличивает исследуемый параметр на 18 %.

Результаты проведенных исследований (экспериментальных и стендовых) показывают, что состав и свойства разработанного бурового раствора положительно влияют на процесс разрушения твердых горных пород. Применение безглинистых буровых растворов с добавками композиций анионоактивных ПАВ позволяет увеличить производительность буровых работ за счет повышения механической скорости бурения и проходки на долото.

Благодарность. Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-4410.2015.5

ЛИТЕРАТУРА

1. Дихтяр А.А. Разрушение крепких горных пород с применением поверхностно-активных веществ / А.А.Дихтяр, А.М.Криворучко, Ю.М.Синоков // Механика и разрушение горных пород. Киев: Наукова думка, 1972. Вып.2. С.283-288.
2. Калинин А.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин: Курс лекций. М.: Изд-во ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 848 с.
3. Лебедев В.А. Комплексное энергоснабжение при бурении скважин в осложненных климатических условиях / В.А.Лебедев, Е.Л.Леушева, В.А.Моренов // Записки Горного института. 2015. Т.213. С.47-53.
4. Николаев Н.И. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности бурения твердых горных пород / Н.И.Николаев, Е.Л.Леушева // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. № 15. С.38-47. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.5
5. Ребиндер П.А. Понижители твердости в бурении (физико-химический метод облегчения механического разрушения твердых горных пород при бурении) / П.А.Ребиндер, Л.А.Шрейнер, К.Ф.Жигач. М.: Изд-во АН СССР, 1944. 199 с.
6. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. Оренбург: Летопись, 2005. 664 с.
7. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин: Учебник для вузов / А.И.Спивак, А.Н.Попов. М.: Недра, 1994. 264 с.
8. Теоретические предпосылки и возможные направления интенсификации процесса разрушения крепких горных пород / Ю.М.Синоков, А.А.Дихтяр, А.М.Криворучко, Л.Д.Шматовский // Механика и разрушение горных пород. Киев: Наукова думка, 1972. Вып.2. С.288-296.
9. Уляшева Н.М. Технология буровых жидкостей: Учебное пособие: В 2 ч. Ч.1. Ухта: Ухтинский гос. техн. ун-т, 2008. 164 с.
10. Шоболова Л.П. К оценке эффективности воздействия поверхностно-активных веществ на породу // Физико-технические проблемы добычи и обогащения полезных ископаемых. М.: АН СССР. 1980. С.137-141.



11. Шоболова Л.П. Методические указания по выбору поверхностно-активных веществ и исследованию их влияния на ослабление горных пород применительно к работе проходческих комбайнов. М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1983. 11 с.
12. Шрейнер Л.А. Бурение шпуров с промывкой и добавками понизителей твердости / Л.А.Шрейнер, К.Ф.Жигач. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1943. 64 с.
13. Gao H. Concept Design for Drilling Fluid Cooling System [J] / Gao H., Liu H. // Oil Field Equipment. 2007. № 36(6). P.31-32.
14. Kawale D. Influence of dynamic surface tension on foams: Application in gas well deliquification: MSc. Thesis / Delft University of Technology of Applied Sciences Department of Multi-Scale Physics, 2012. 97 p.
15. Lummus J.L. Low-solids mud scores four ways / J.L.Lummus, J.L.Ray // Oil and gas J. 1963. Vol.61. N 6. P.117-120.
16. Qayyum R.A. Effects of bit geometry in multiple bit-rock interaction. Morgantown: West Virginia University, 2003. 64 p.

Авторы: Н.И.Николаев, д-р техн. наук, профессор, nikinik@mail.ru, Е.Л.Леушева, канд. техн. наук, ассистент, leusheva.ekaterina@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Россия)
Статья принята к публикации 15.01.2016.

DEVELOPMENT OF DRILLING FLUIDS COMPOSITION FOR EFFICIENCY INCREASE OF HARD ROCKS DRILLING

N.I.NIKOLAEV, E.L.LEUSHEVA
Saint-Petersburg Mining University, Russia

The article deals with ways of rock weakening for efficiency increase of hard rocks drilling, also development of drilling fluid composition is considered. Aim of the project is to develop drilling fluid composition which increases efficiency of hard rocks destruction.

Authors conducted experimental investigation of drilling fluid composition development and their main structural rheological and filter characteristics. Influence of various solutions, including developed one, on hard rocks destruction process is evaluated on introduced testing bench.

Investigation results indicate that composition and characteristics of developed drilling fluid positively influence hard rocks destruction process. Implementation of clayless drilling fluid with anion-active surfactant composition additives allows boost of drilling operations performance by increase in mechanical velocity of drilling and drill meterage per bit.

Key words: rock, rock weakening, microcracks, well, deformation, reagents-detergents, surfactants, drilling fluid, adsorption, rock destruction, clayless solution.

How to cite this article: Nikolaev N.I., Leusheva E.L. Development of drilling fluids composition for efficiency increase of hard rocks drilling. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.219, p.412-420. DOI 10.18454/PMI.2016.3.412

REFERENCES

1. Dikhtyar A.A., Krivoruchko A.M., Sinykov Yu.M. Razrushenie krepkikh gornykh porod s primeneniem poverkhnostno-aktivnykh veshchestv (*The destruction of hard rocks using surfactants*). Kiev: Naukova dumka, 1972. Iss.2, p.283-288.
2. Kalinin A.G. Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin (*Oil and gas well drilling*). Moscow: Izd-vo TsentrLitNefteGaz, 2008, p.848.
3. Lebedev V.A., Leusheva E.L., Morenov V.A. Kompleksnoe energosnabzhenie pri burenii skvazhin v oslozhnennich klimaticeskikh usloviakh (*Complex power supply at well drilling in complicated climate conditions*). Zapiski Gornogo instituta. 2015. Vol.213, p.47-53.
4. Nikolaev N.I., Leusheva E.L. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya effektivnosti bureniya tverdykh gornykh porod (*Theoretical and experimental investigation of hard rock drilling efficiency*). Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2015. N 15, p.38-47. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.5
5. Rebinder P.A., Shreiner L.A., Zhigach K.F. Poniziteli tverdsti v burenii (fiziko-khimicheskii metod oblegcheniya mekhanicheskogo razrusheniya tverdykh gornykh porod pri burenii) (*Rock hardness reducers in drilling (physical-chemical method of facilitating mechanical breaking of hard rock in drilling)*). Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1944, p.199.
6. Riazanov Ia.A. Entsiklopediya po burovym rastvoram (*Encyclopedia of drilling fluid*). Orenburg: Letopis'. 2005, p.664.
7. Spivak A.I., Popov A.N. Razrushenie gornykh porod pri burenii skvazhin (*Rock breaking in well drilling*). Moscow: Nedra, 1994, p.264.
8. Siniukov Iu.M., Dikhtiar A.A., Krivoruchko A.M., Shmatovskii L.D. Teoreticheskie predposylki i vozmozhnye napravleniya intensivatsii protsessa razrusheniya krepkikh gornykh porod (*Theoretical background and possible avenues of intensification of hard rock breaking*). Mekhanika i razrushenie gornykh porod. Kiev: Naukova dumka, 1972. Iss.2, p.288-296.
9. Uliasheva N.M. Tekhnologiya burovnykh zhidkostei (*Technology of drilling fluid*). V 2 ch. Ch.1. Ukhta: UGTU, 2008, p.164.
10. Shobolova L.P. K otsenke effektivnosti vozdeistviya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na porodu (*On efficiency of rock stimulation by surfactants*). Fiziko-tekhnicheskie problemy dobychi i obogashcheniya poleznykh iskopaemykh. Moscow: Akademiia nauk SSSR, 1980, p.137-141.
11. Shobolova L.P. Metodicheskie ukazaniya po vyboru poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i issledovaniyu ikh vliyaniya na oslablenie gornykh porod primenitel'no k rabote prokhodcheskikh kombainov (*Guidelines for selection of surfactants and research of their effects on rock loosening for boring machine operations*). Moscow: Institut gornogo dela imeni A.A.Skochinskogo, 1983, p.11.



12. Shreiner L.A., Zhigach K.F. Burenie shpurov s promyvkoj i dobavkami ponizitelei tverdsti (*Bore hole drilling with flushing and hardness reducers*). Moscow, Leningrad: Izd-vo Akademiia nauk SSSR, 1943, p.64.
13. Gao H., Liu H. Concept Design for Drilling Fluid Cooling System [J]. Oil Field Equipment. 2007. N 36(6), p.31-32.
14. Kawale D. Influence of dynamic surface tension on foams: Application in gas well deliquification: MSc. Thesis. Delft University of Technology of Applied Sciences Department of Multi-Scale Physics, 2012, p.97.
15. Lummus J.L., Ray J.L. Low-solids mud scores four ways. Oil and gas J. 1963. Vol.61. N 6, p.117-120.
16. Qayyum R.A. Effects of bit geometry in multiple bit-rock interaction. Morgantown: West Virginia University, 2003, p.64.

Authors: **N.I.Nikolaev**, Dr. of Engineering Sciences, Professor, nikinik@mail.ru, **E.L.Leusheva**, PhD in Engineering Sciences, Assistant Lecturer, leusheva.ekaterina@mail.ru (Saint-Petersburg Mining University, Russia)
Manuscript Accepted 15.01.2016.