УДК 622.24.06

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ, ОБРАБОТАННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО МАТЕРИАЛА

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE WASHING LIQUID TREATED WITH THE USE OF LOCAL MATERIAL

Рузманов Фарход Исмоилович
инженер-технолог по креплению скважин
ООО «Касанская нефтегазоразведочная экспедиция»

Мирсаатова Шахноза Хикматуллаевна
докторант,
Ташкентский государственный технический университет им. И.А. Каримова
sh.mirsaatova@gmail.com

Нуритдинов Жалолиддин Фазлиддин угли
младший научный сотрудник АО «ИГИРНИГМ»
jnuritdinov13@mail.ru

Санетуллаев Ерназар Есбосынович
соискатель,
Ташкентский государственный технический университет
ernazar.91@mail.ru

Ашуров Бобиржон Набижонович
соискатель,
Ташкентский государственный технический университет

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы о составах промывочных жидкостях, которые обрабатывался разными материалами и полученные результаты, также приведен анализ производственного опыта с положительном результатам.
Этот производственный опыт показал, что НПВР является не только стабилизатором, но и регулятором реологических свойств промывочной жидкости, а также реагент НПВР благодаря повышенному содержанию амидных групп и линейному характеру структуры молекул более устойчив к воздействиям ионов двух и поливалентных металлов, чем известные реагенты. Важнейшим показателем НПВР является возможность регулирования реологических свойств буровых растворов и улучшения их технологических характеристик и рекомендовано расширенное использование его при бурении нефтяных и газовых скважинах.

Ключевые слова: глины, плотность, полимер, кавернообразование, сальникообразования, дисперсные системы, буровой раствор, плотность, реологические свойства.

Ruzmanov Farkhod Ismoilovich
Engineer-Technologist for Fixing Wells of Kasanskaya Oil and Gas Exploration Expedition LLC

Mirsatova Shakhnoza Hikmatullayevna
Doctoral Student,
Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov
sh.mirsaatova@gmail.com

Nuritdinov Zhaloliddin Fazliddinugli
Junior Researcher of JSC IGIRNIGM
jnuritdinov13@mail.ru

Sanetullaev Ernazar Esbosynovich
Applicant,
Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov
ernazar.91@mail.ru

Ashurov Bobirjon Nabizhonovich
Applicant,
Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov

Annotation. The article discusses the questions about the compositions of washing liquids that were treated with different materials and the results obtained, and also provides an analysis of production experience with positive results.
This production experience has shown that NPWP is not only a stabilizer, but also a regulator of rheological properties of flushing fluid, and NPWP reagent is more stable to the influence of ions of two and polyvalent metals than known reagents due to the increased content of amide groups and linear nature of molecule structure. The most important feature of NPWP is the possibility to regulate rheological properties of drilling fluids and improve their technological characteristics and it is recommended to use it in oil and gas wells drilling.

Keywords: clay, density, polymer, cavern formation, oil seal formation, dispersed systems, drilling mud, density, rheological properties.

Состояние горных пород, особенно глины и глинистых пород, зависит от условий их формирования и воздействии внешних (тектонических) сил. Горные породы, сформировавшиеся в морских условиях более плотнее, чем породы, сформировавшиеся в континентальных, озерно-лагунных условиях и более, устойчивы к нагрузкам [1]. Следовательно, плотность глинистой породы характеризуется ее уплотненностью под нагрузкой. Снижение фактической объемной плотности глины ($\rho_ф$) относительно плотности нормально уплотненной глинистой породы ($\rho_н$) свидетельствует об их пористости, слабом сцеплении частицы, прочности, а следовательно, об их неустойчивости.

Одной из модификаций полимерных акриловых реагентов служит ПАНГП (полиакрилонитрил глубокой полимеризации) [2], авторами которого являются У.Д. Мамаджанов. Этот реагент является

солетермостойким благодаря глубокой полимеризации, способен стабилизировать промывочную жидкость при его насыщении NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$ и другими солями. Однако, для его приготовления требуется полиакрилонитрил (ПАН).

В работе У.Д. Мамаджанова [2] приведены данные о свойствах реагента КЩП, который устойчив против натриевой и кальциевой агрессии и выдерживает температуру более 200 °С. Оказывается, этот реагент универсален, может быть использован для обработки глинистых, меловых и известковых растворов. КЩП предотвращает закупорку пор коллекторов. С его помощью известковые растворы могут достичь плотности до 1700 кг/м3, если раствор насытить солью без применения утяжелителя.

Исследование влияния КЩП на стабилизацию раствора при воздействии электролитов показало, что при введении в раствор 2 % CaCl2 водоотдача сохранялась в пределах 6 см3, остальные показатели находились в соответствии с требованием технологии.

Таким образом, из приведенных выше сведений можно сделать вывод о том, что перечисленные полимерные реагенты также не лишены отдельных недостатков. Например, если они устойчивы к солевым воздействиям, то не устойчивы к высокой температуре, либо наоборот, не устойчивы в минерализованных средах.

Многие типы буровых растворов, имея высокую вязкость и высокое динамическое напряжение сдвига, плохо очищают забой. При обработке раствора биполимерным американским реагентом ХС [3] шлам выносился лучше, и в большем количестве. Каротажный прибор свободно доходил до забоя. Кпромывочным жидкостям добавлялось всего лишь 0,14 % реагента «ХС» от объёма бурового раствора.

Реагенты, подобные «ХС» были синтезированы в НПО «Бурение». Эти реагенты имеют шифровку ОЭЦ, обладают высокой псевдопластичностью и достаточной несущей и удерживающей способностью.

А.И. Пеньков [4] отмечает, что реологическое свойство промывочной жидкости, обеспечивающее низкое гидравлическое сопротивление в циркуляционной системе скважины, приобретает решающее значение при выборе рецептуры промывочной жидкости. Проведенные им исследования позволяют предложить в качестве химических реагентов полиалкиленгликоль (ПАГ) – разветвленные сополимеры окисей этилена (ОЭ) и пропилен (ОП), эффективно регулирующие свойства глинистых растворов. Реагент ПАГ является понизителем водоотдачи и регулятором реологических свойств глинистых растворов. С ростом концентрации ПАГ в глинистой суспензии наблюдается снижение прочности структуры (тиксотропии). При изучении свойства фильтратов глинистых суспензий, обработанных ПАГ, выяснилось, что такие фильтраты обладают низкими значениями поверхностного натяжения.

А.М. Мирзаев и др. в работе [5] для обеспечения устойчивости стенки скважины и борьбы с кавернообразованием предлагают буровой раствор на основе ионогенного ПАВ, включающего в свой состав кубовой остаток дистиллированных жирных кислот хлопковых соапстоков. Кроме ПАВ, в состав раствора входит водорастворимый полиэлектролит. Этот раствор назван ГПСР. Высокая стабильность данного раствора обеспечивается за счет стабилизирующего действия анион-активного ПАВ, содержащего щелочные соли предельных и непредельных жирных кислот. При бурении скважин с применением раствора Poly-Plus почти 90 % ствола скважины имел номинальный диаметр, сальникообразования не наблюдалось.

На основе своих исследований авторы [6] предполагают, что в растворах полимерных реагентов, имеющих достаточно большие размеры фибриля, уменьшение набухания глины происходит за счет образования на поверхности образцов защитного слоя из молекул и фибриляполиэктролитов. Они считают, что наиболее эффективными реагентами, предотвращающими набухание глины, являются карбоксиметилцеллюлоза, хлористый калий, ИГЕТАН, К-4, К-9, которые также улучшают реологические характеристики промывочной жидкости.

Для обеспечения устойчивости глинистых отложений при их вскрытии применяют хлоркальциевые, гипсовые, известковые, силикатные растворы. Однако М.К. Сеид-Рза [7] считает, что хорошим ингибирующим свойством обладает реагент-окзил. Его опыты показали, что хлоркальциевые растворы также предупреждают диспергирование и пептизацию глины, оказывают крепящее действие на стенки скважины вследствие коагуляции глинистых пород с последующим образованием прочных конденсационно-кристаллизационных структур.

При бурении, особенно глубоких скважин (3500–5000 м), наблюдается рост давления в насосе. Основная причина увеличения давления в циркуляционной системе – неудовлетворительная реологическая характеристика промывочной жидкости [8].

Жидкости классифицируют в зависимости от закономерности изменения касательного напряжения т с изменением градиента скорости сдвига du/dn.

Все применяемые промывочные жидкости можно условно разделить на две группы: ньютоновские жидкости и неньютоновские структурированные дисперсные системы. К ньютоновским жидкостям относят воду, истинные растворы (солевые), растворы полимеров, силикатно-гуминовые растворы и т.д. К структурированным дисперсным системам относят глинистые и меловые растворы и

некоторые естественные промывочные жидкости (карбонатные, аргиллитовые, а также большинство тампонажных растворов). При определенных условиях ньютоновские промывочные жидкости, обогащаясь в процессе бурения твердой фазой, переходят в структурированные дисперсные системы.

Течение жидкостей подчиняется закону Ньютона

$$\tau = \mu \, du / dn, \quad (1)$$

где μ – коэффициент внутреннего трения или динамической (абсолютной) вязкости, Па·с;
du / dn – градиентскорости сдвига, 1/с.

Чаще μ называют просто динамической или абсолютной вязкостью.

Изучением зависимости реологических свойств от различных факторов занимались многие исследователи, как отечественные, так и за рубежные, в частности, Ж.А. Акилов, У.Д. Мамаджанов, Ш.Х. Умедов, Б.И. Есьман, А.Х. Мирзаджанзаде, Б.И. Мительман, Б.С. Филатов, Р.И. Шищенко и др.

По резудьтатам исследований выяснена основная погрешность измерения, которая заключается в непостоянстве давления, при котором происходит истечение жидкости. Конкретную погрешность будут определять точностью измерения уровня и принятому объему вытекаемой жидкости. Чем меньше объем жидкости, тем меньше изменяется уровень и стабильнее процесс истечения, но при этом возрастает роль погрешности измерения уровня и расхода.

Такие исследования позволяют иметь исходные данные для раздельного контроля вязкостных и пластических свойств промывочной жидкости.

Дальнейший этап работы – выбор реагента для регулирования того или иного параметра. По данным П.А. Мариампольского известно, например, что гипан снижает η и увеличивает τ_0, КМЦ увеличивает η, не изменяя τ_0, КССБ постепенно снижает τ_0 при небольшом изменении η. После выбора реагентов их концентрацию определяют дополнительными исследованиями.

Исходя из вышеизложенного следует, что исследование реологических свойств промывочной жидкости в глинистых отложениях до конца еще не изучено.

Исследованиями установлено, что гидродинамическое давление, возникающее внутри бурильных труб и кольцевом пространстве скважины, является функцией многих переменных факторов.

$$P_{гд} = f(\lambda, D, d_H, d_B, L, \tau_0, \eta, V, \rho),$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений; D – диаметр скважины; d_H и d_B – наружный и внутренний диаметры бурильных труб; L – длина бурильной колонны; τ_0 – предельное динамическое напряжение сдвига раствора; η – структурная вязкость раствора; V – скорость потока; ρ – плотность раствора.

При неизменныхгеометрических параметрах трубопровода и расхода жидкости потери давления зависят от реологических свойств раствора η и τ_0.

В работах [9] указывается, что на реологические показатели раствора влияют также содержание твердой фазы, и обосновывается результатами проведенных экспериментов в ОМП ИГИРНИГМ.

Для регулирования реологических свойств буровых растворов на площади Ташбулак применяли реагент ФХЛС, выпускаемый в Финляндии. Однако с ростом глубины скважины, т.е. с повышением температуры, эффективность этого реагента снижалась, приходилось часто добавлять его в циркулирующий раствор. ФХЛС получен из растительных веществ и имеет низкомолекулярный вес, при высокой температуре подвергается термоокислительной деструкции, разлагается, теряет свою активность. В результате твердые частицы приближаются друг к другу и возрастает пластическая вязкость промывочного жидкости. Поэтому для снижения вязкости промывочной жидкостина скважинах площади Ташбулак начали применять реагент ХР-20, выпускаемый компанией M-IdrillingFluids. Реагент ХР-20 представляет собой модифицированный калием и хромом лигнин, предназначенный для снижения вязкости и СНС промывочного жидкости на водной основе с любой степенью насыщения солью. Испытание этого реагента в скважине № 6 показали его эффективность как понизителя реологических свойств промывочных жидкостей. При промывке скважины на глубине 5048 м давление на насосе было 16 МПа, а после обработки раствора реагентом ХР-20 оно снизилось до 12 МПа. Снижение давления при одинаковой производительности насосов составило 30 %. Ввиду энергетической связи молекул реагента ХР-20 при обработке глинистых растворов образовывается гидратационный слой вокруг твердой фазы с увеличенной толщиной, что предотвращает трение между частицами, как бы являясь «смазкой». В результате происходит снижение пластической вязкостии, следовательно, реологических свойств.

Нами были изучено влияние нового реагента НПВР на реологические свойства бурового раствора. Изучение этих свойств раствора осуществляли на приборе ВСН-3.

Опыты производились на буровом растворе со скважины № 43 на площади Гаджак (СурханПИ). Буровой раствор был приготовлен из Навбахорской бентонитовой глины на речной слабоминерализованной воде. Буровой раствор имел следующие показатели: ρ = 1850 кг/м^3; Т = 90 с; В = 8 см^3/30 мин; Ѳ1/10 = 45/87 дПа; τ_0 = 200 дПа; η = 45 сП.

Повышенное значение реологических показателей объясняется образованием толстых сольватных оболочек вокруг частиц утяжелителя и лиофильным характером коагуляции рассматриваемой дисперсной системы. Изучались изменения реологических свойств бурового раствора от добавки реагентов К-4 и НПВР. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Как установлено, НПВР положительно влияет на снижение τ_0 и η наряду с реагентом К-4. Добавка его в количестве 1 % от объема раствора наполовину снижает структурную вязкость.

Таблица 1 – Зависимость реологических свойств от типа и содержания реагентов

Содержание реагента, %	К-4				НПВР			
	Т, с	Θ1/10 дПа	τ_0, дПа	η, сП	Т, с	Θ1/10 дПа	τ_0, дПа	η, сП
Исходный раствор	63	82/171	222	40	63	82/171	222	40
0,3	58	75/138	193	28	60	75/138	208	36
0,5	53	68/144	166	24	56	68/144	181	32
0,7	41	47/116	121	16	47	47/116	155	28
1,0	33	36/79	70	8	38	36/79	120	24

Исходя из результатов лабораторных исследований, было решено проверить действия НПВР в реальной скважине № 43 площади Гаджак. Она была обсажена 219 мм промежуточной колонной до 3000 м. После спуска и цементирования промежуточной колонны бурение продолжалось раствором, приготовленным из навбахорскойбентонитовой глины. Раствор обрабатывался реагентами КМЦ-600, К-9, каустической и кальцинированной содами. Параметры бурового раствора приведены выше. Бурильная колонна состояла из бурильных труб диаметром 127 мм и УБТ диаметром 146 мм длиной 63 м. При циркуляции давление насоса составляло 12–13 МПа.

С глубины 3120 м в раствор стали вводить жидкий 10 %-ный водный раствор нового реагента НПВР, приготовленного в г. Кумкургане. Через 1,5 цикла циркуляции давление на стояке (т.е. насосе) начало снижаться и снизилось до 10–11 МПа при тех же расходах жидкости, какие были до введения нового реагента (14 л/с). Параметры бурового раствора изменились в лучшую сторону: ρ = 1850 г/см^3; Т = 45 – 55 с; В = 7 см^3; Θ 1/10 = 30/70 дПа; τ_0 = 110 дПа; η = 20 – 25 сП. Скважина благополучно пробурена до проектной глубины – 3600 м.

Этот производственный опыт показал, что НПВР является не только стабилизатором, но и регулятором реологических свойств промывочной жидкости, а также реагент НПВР благодаря повышенному содержанию амидных групп и линейному характеру структуры молекул более устойчив к воздействиям ионов двух и поливалентных металлов, чем известные реагенты. Важнейшим показателем НПВР является возможность регулирования реологических свойств буровых растворов и улучшения их технологических характеристик и рекомендовано расширенное использование его при бурении нефтяных и газовых скважинах.

Литература:

1. Умедов Ш.Х. Исследование реологических свойств бурового раствора, обработанного новым полимерным водорастворимым реагентом // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Новые композиционные материалы на основе органических и неорганических ингредиентов». – Ташкент, 27–28 сентября 2012. – С. 175–177.

2. Мамаджанов У.Д. Электрохимическая активация буровых растворов // Узбекский журнал нефти и газа. – Ташкент, 1999. – № 3. – С. 21–22.

3. Санетуллаев Е.Е., Умедов Ш.Х., КомиловТ.О. Исследование особенностей структуры и компонентов промывочных жидкостей // Булатовские чтения II международная научно-практическая конференция. – 2018. – С. 315–317.

4. Промывочные растворы для бурения скважин с использованием глубоких труб / А.И. Пеньков [и др.] // Бурение и ремонт скважин малого диаметра с применением гибких труб: Сб. научных трудов. – Краснодар : НПО «Бурение», 1999. – С. 25–28.

5. Мирзаев А.М., Ходжаев М.Г., Кадыров А.А. Технологические исследования высококонцентрированного полимерного реагента из отходов волокна «нитрон» // Сб. научных трудов ВНИИГаз. – М., 1990. – С. 112–116.

6. Вскрытие продуктивного пласта с применением пен / Б.Ш. Акрамов [и др.] // Технологии нефти и газа. Научно-технический журнал. – М., 2017. – № 4. – С. 35–39.

7. Сеид-Рза М.К., Рзаев А.А., Хачатуров А.А. Экспериментальные исследования факторов, влияющих на эффективность ванн // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1977. – № 12. – С. 20–24.

8. Umedov Sherali Xalloqovich. Effective composition of washing fluid on base the waste products when opening the productive horizon // Journal European Applied Sciences. – 2019. – P. 52.

9. The suppression of the production well by controlling the movement of formation waters with the use of surfactants / Bakhshillo Shafievich Akramov [et al.] // Journal International Scientific and Practical Conference World science. – 2016. – Vol. 1. – № 9. – P. 71–75.

References:

1. Umedov Sh.H. Investigation of rheological properties of drilling mud treated with a new polymer water-soluble reagent // Proceedings of the Republican Scientific and Technical Conference «New composite materials based on organic and inorganic ingredients». – Tashkent, 27–28 September 2012. – P. 175–177.

2. Mamajanov U.D. Electrochemical activation of drilling fluids // Uzbek Journal of Oil and Gas. – Tashkent, 1999. – № 3. – P. 21–22.

3. Sanetullaev E.E., Umedov Sh.H., Komilov T.O. Research of features of structure and components of flushing liquids // Bulatov readings II international scientific and practical conference. – 2018. – P. 315–317.

4. Flushing solutions for drilling wells using deep pipes / A.I. Penkov [et al.] // Drilling and repair of small diameter wells using coiled tubing: Collection of scientific works. – Krasnodar : Burenie NPO, 1999. – P. 25–28.

5. Mirzaev A.M., Khojaev M.G., Kadyrov A.A. Technological investigations of highly concentrated polymeric reagent from waste fiber «Nitron» // Collection of scientific works of All-Union Scientific Research Institute. – M., 1990. – P. 112–116.

6. Stripping of productive formation with the use of foam / B.Sh. Akramov [et al.] //Technology of oil and gas. Scientific and technical journal. – M., 2017. – № 4. – P. 35–39.

7. Seid-Rza M.K., Rzaev A.A., Khachaturov A.A. Experimental studies of factors affecting the efficiency of baths // Azerbaijan Oil Industry. – 1977. – № 12. – P. 20–24.

8. Umedov Sherali Xalloqovich. Effective composition of washing fluid on base the waste products when opening the productive horizon // Journal of European Applied Sciences. – 2019. – P. 52.

9. The suppression of the production well by controlling the movement of formation waters with the use of surfactants / Bakhshillo Shafievich Akramov [et al.] // Journal International Scientific and Practical Conference World Science. – 2016. – Vol. 1. – № 9. – P. 71–75.