DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-1-61-68

УДК 622.24.063

Ф.Н. Янгиров., А.Р. Яхин (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **Т.Д. Дихтярь** (Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация), **М.Е. Логинова, А.В. Чудновская, М.А. Шмагель** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-AКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

F.N. Yangirov, A.R. Yakhin (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **T.D. Dikhtyar** (Oktyabrskiy Affiliate of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation), **M.E. Loginova, A.V. Chudnovskaya, M.A. Shmagel** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INVESTIGATION OF SURFACTANTS APPLICABLE IN WELL DRILLING

Введение

Актуальность исследования обусловлена необходимостью улучшения эксплуатационных свойств поверхностно-активных веществ, применяемых в буровой технологии с целью снижения межфазного натяжения и отрицательного воздействия на естественные коллекторные свойства пласта.

Цели и задачи:

- исследование поверхностно-активных веществ, применяемых при строительстве скважин;
- обоснование выбора метода определения поверхностного натяжения на границах «жидкость - жидкость», «жидкость - воздух»;
- исследование поверхностной активности различных веществ в водных растворах на границе с воздухом и очищенным керосином;
- оценка эффективности добавления фосфатов в водные растворы поверхностно-активных веществ.

Background

The relevance of the study is due to the need to improve the performance properties of surfactants used in drilling technology to reduce interfacial tension and negative effects on the natural reservoir properties of the formation.

Aims and Objectives:

- investigation of surfactants used in the construction of wells;
- substantiation of the choice of the method of determining the surface tension at the boundaries «liquid - liquid», «liquid - air»;
- investigation of surface activity of various substances in aqueous solutions at the border with air and purified kerosene;
- estimation of efficiency of addition of phosphates in water solutions of surfactants.

Результаты

Анализ поверхностно-активных веществ показал, что анионактивные поверхностно-активные вещества эффективно снижают поверхностное натяжение на границе сред (за счет высокой поверхностной активности), обладают флокулирующей способностью, однако неионогенные поверхностно-активные вещества при контакте с нефтью являются деэмульгирующими и обессоливающими, обладают малой адсорбируемостью на глинах, карбонатных породах, песчаниках.

Results

Analysis of surfactants showed that anionic surfactants effectively reduce the surface tension on the boundary of the media (due to high surface activity), have a flocculating ability, however, non-ionic surfactants in contact with oil are demulsifying and desalting, have a low adsorbability on clays, carbonate rocks, sandstones.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, концентрация, поверхностное натяжение, адсорбция, смачиваемость, продуктивные пласты, проницаемость

Key words: surfactants, concentration, surface tension, adsorption, wettability, productive formations, permeability

Введение

Современные способы вскрытия продуктивных пластов при бурении скважин подразумевают применение качественных промывочных и технологических жидкостей на стадиях первичного и вторичного вскрытия, освоения и глушения скважин. Расширяется область возможного применения технологии вскрытия продуктивных пластов горизонтальными и многозабойными горизонтальными скважинами. Эти скважины имеют сложный профиль зачастую с большими и сверхдальними отходами [1].

При первичном вскрытии продуктивных пластов фильтрат и твердая фаза промывочной жидкости проникают в поры пластов-коллекторов, что неизбежно ведет к загрязнению. Основная причина блокировки пор - вскрытие пластов растворами на водной основе (инфильтрат растворов представлен полярными молекулами), что ведет к набуханию глин и снижению проницаемости в продуктивном пласте. Блокировка пор происходит и при взаимодействии воды и пластовых флюидов с образованием эмульсий, нерастворимых осадков, развитием капиллярных давлений. Чем больше водонасыщенность

пористой среды в нефтяном коллекторе, тем меньше фазовая проницаемость его по нефти [2].

Обеспечить сохранность продуктивных пластов позволяет использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве реагентов для снижения проницаемости нефтенасыщенных коллекторов.

Влияние ПАВ на процессы адсорбции и смачиваемости горных пород описано в литературе [2-4].

ПАВ, применяемые в качестве добавок к промывочным жидкостям, должны соответствовать следующим требованиям:

- обладать гидрофобизирующими способностями;
- при малых концентрациях снижать межфазное натяжение на границе жидкость глушения / нефть;
- быть устойчивыми к минеральной агрессии;
- сохранять свои свойства в широком диапазоне температур;
- не оказывать негативного влияния на свойства промывочной жидкости;
- быть экономичными и безопасными в обращении.

Способность поверхностно-активных веществ уменьшать межфазное натяжение приводит к снижению отрицательного воздействия на естественные коллекторные свойства нефтеносного пласта, что сокращает сроки освоения скважин, способствует сохранению их первичной нефтеотдачи, устраняет необходимость в мероприятиях по интенсификации добычи [5-7].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния ПАВ на качество первичного вскрытия продуктивных пластов.

Анализ исследования поверхностного натяжения водных растворов ПАВ на границе с керосином

В ходе экспериментальных работ поверхностное натяжение водных растворов ПАВ различной концентрации определялось сталагмометрическим методом. Исследовались водные растворы ПАВ: неионогенных (ОП-10, Неонол АФ 9-6, Неонол АФ 9-12), анионоактивных (сульфонол) и комплексных (ПКД-515). На рисунках 1-3 приведены изотермы поверхностного натяжения водных растворов ПАВ различной концентрации на границе с очищенным керосином.

Рисунок 1. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов неионогенных ПАВ (ОП-10, Неонол АФ 9-6, Неонол АФ 9-12) на границе с очищенным керосином

Рисунок 2. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов анионоактивного ПАВ (Сульфонол) на границе с очищенным керосином

Рисунок 3. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов комплексного ПАВ (ПКД-515) на границе с очищенным керосином

Как видно из рисунка 1, межфазное натяжение водного раствора ПАВ ОП-10 при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется незначительно, уменьшаясь от 3,44 до 2,2 мН/м.

Межфазное натяжение водного раствора ПАВ Неонол АФ 9-6 с изменением концентрации понижается значительно, уменьшаясь от 6,49 до сверхнизкого значения $\sigma = 0,63$ мН/м. Межфазное натяжение водного раствора ПАВ Неонол АФ 9-12 уменьшается от 4,02 до 1,31 мН/м.

Необходимо отметить, что межфазное натяжение на границе дистиллированная вода / керосин $\sigma = 47,5$ мН/м.

По данным рисунка 2 видно, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ Сульфонол при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется существенно, уменьшаясь от 10,85 до 0,84 мН/м.

По данным рисунка 3 видно, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ ПКД-515 при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется существенно, снижаясь от 8,6 до 2,59 мН/м.

Таким образом, по результатам измерения поверхностного натяжения на границе водный раствор ПАВ / очищенный керосин наиболее перспективным с точки зрения использования в составе буровой промывочной жидкости являются неионогенный ПАВ Неонол АФ 9-6, анионоактивный ПАВ Сульфонол и комплексный ПАВ ПКД-515, которые значительно снизили поверхностное натяжение с увеличением концентрации.

Исследование поверхностного натяжения водных растворов ПАВ на границе с воздухом

Поверхностное натяжение водных растворов ПАВ определялось сталагмометрическим методом.

Исследовались водные растворы ПАВ: неионогенные (ОП-10, Неонол АФ 9-6, Неонол АФ 9-12), анионоактивные (сульфонол) и комплексные (ПКД-515).

На рисунках 4-6 приведены изотермы поверхностного натяжения водных растворов ПАВ различной концентрации на границе с воздухом.

Рисунок 4. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов неионогенных ПАВ (ОП-10, Неонол АФ 9-6, Неонол АФ 9-12) на границе с воздухом

Рисунок 5. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов анионоактивного ПАВ (Сульфонол) на границе с воздухом

Рисунок 6. Изотерма поверхностного натяжения водных растворов комплексного ПАВ (ПКД-515) на границе с воздухом

Из рисунка 4 видно, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ ОП-10 при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется слабо, уменьшаясь от 33,9 до 32,1 мН/м. Также можно отметить, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ Неонол АФ 9-6 при изменении концентрации меняется слабо, уменьшаясь от 29,6 до 28,2 мН/м, а у водного раствора ПАВ Неонол АФ 9-12 меняется незначительно, уменьшаясь от 34,5 до 32,9 мН/м.

Из рисунка 5 видно, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ Сульфонол при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется незначительно, уменьшаясь от 35,5 до 29,4 мН/м.

Из рисунка 6 видно, что межфазное натяжение водного раствора ПАВ ПКД-515 при изменении концентрации от 0,1 % до 5,0 % меняется существенно, уменьшаясь от 41,3 до 29,9 мН/м. Необходимо отметить, что на границе дистиллированная вода / воздух $\sigma = 72,8$ мН/м.

По результатам измерения поверхностного натяжения на границе водных растворов ПАВ с воздухом при различной концентрации можно сделать вывод, что *наиболее эффективными ПАВ, влияющими на снижение поверхностного натяжения, являются Неонол АФ 9-12, Сульфонол и ПКД-515.*

Исследование поверхностной активности ПАВ с добавлением дигидрофосфата калия

Известно, что фосфаты могут существенно улучшить поверхностно-активные свойства. Они широко применяются в качестве реагентов понизителей вязкости и реагентов, сшивающих катионы Са и Mg. Полифосфаты применяются при вскрытии пластов, содержащих небольшое количество солей. Эти типы реагентов представляют собой натриевые соли сложных фосфорных кислот. Для применения в бурении рекомендованы различные виды полифосфатов: дигидрофосфат калия (KH_2PO_4), гексаметафосфат натрия (NaPO_3)₆, пирофосфат натрия ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$), тетрафосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_4\text{O}_{13}$) и т.д. В качестве понизителя вязкости утяжеленных глинистых растворов в практике нефтяного бурения применяется гексаметафосфат натрия (ГМФН). В лаборатории УГНТУ сталагмометрическим методом исследовано влияние растворенного в воде фосфата на поверхностное натяжение (изменение концентрации от 0,1 % до 5,0 %). *Методика проведения эксперимента:* к 1,0 %-ному водному раствору дигидрофосфата калия добавили 1,0 %-ный водный раствор ПАВ, перемешали до полного растворения компонентов, провели сталагмометрическим методом эксперименты на границе с очищенным керосином.

Результаты исследования показаны в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований влияния водных растворов (ПАВ + дигидрофосфат калия) с концентрацией 2,0% на поверхностное натяжение на границе «водный раствор / очищенный керосин»

Показатели	Неонол АФ 9-6	Сульфонол	ПКД-515	ОП-10	Неонол АФ 9-12
Поверхностное натяжение σ водного раствора ПАВ, мН/м	1,06	1,93	2,71	2,49	1,67
Поверхностное натяжение σ водного раствора ПАВ с добавлением дигидрофосфата калия (KH_2PO_4), мН/м	3,56	1,12	5,94	4,75	2,89

По данным таблицы 1 можно сделать следующие выводы. Наиболее эффективным водным раствором, снижающим поверхностное натяжение, является раствор анионоактивного ПАВ Сульфенол с добавлением дигидрофосфата калия (снижает поверхностное натяжение почти в 2 раза лучше, чем сульфенол без добавки). Взаимодействие неионогенных ПАВ и комплексного ПАВ показали неудовлетворительные результаты, увеличивая поверхностное натяжение в 1,5-3,0 раза по сравнению с применением 2,0 %-ого водного раствора ПАВ.

Список литературы

1. Агзамов Ф.А., Акбулатов Т.О., Исмаков Р.А., Комлева С.Ф., Конесев Г.В., Левинсон Л.М., Попов А.Н., Сакаев Р.М., Санников Р.Х., Соловьев А.Я., Трушкин Б.Н., Чуктуров Г.К., Янгиров Ф.Н. Нефтегазовое дело: в 6 т. Санкт-Петербург, 2012. Т. 2 «Бурение нефтяных и газовых скважин». 428 с.
2. Амиан В.А., Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. М.: Недра, 1972. 336 с.
3. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. М.: Наука, 1978. 368 с.
4. Бабалян Г.А., Кравченко И.И., Мархасин И.А., Русаков Г.В. Физико-химические основы применения поверхностно-активных веществ при разработке нефтяных пластов. М.: Гостоптехиздат, 1962. 283 с.
5. Исмаков Р.А., Петров Н.А., Конесев Г.В. Управление свойствами технологических жидкостей для вскрытия продуктивных пластов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. 153 с.
6. Матюшин В.П., Конесев Г.В., Дихтьяр Т.Д., Конесев В.Г. Комплексное улучшение свойств технологических жидкостей для первичного вскрытия продуктивных пластов // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2011: сб. науч. тр.: в 2 т. (Октябрьский, 2 декабря 2011 г.) / Ред. кол. В.Ш. Мухаметшин и др. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. Т. 1. С. 217-222.
7. Пат. 2590254 Российская Федерация, МПК С 09 К 8/035. Буровой комплексный реагент для промывочных жидкостей на водной основе / В.Г. Конесев, Ф.Н. Янгиров, Т.Д. Дихтьяр, Д.Ф. Ибатуллин, И.Ф. Салихов, А.Р. Яхин (РФ). 2015110263/03; заявл. 23.03.2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. 19.

Выводы

Выполненные исследования показали, что при вскрытии продуктивных пластов наиболее целесообразно использование промывочных жидкостей с применением таких поверхностно-активных веществ, как Неонол АФ 9-6, Сульфенол и ПКД-515, обладающих высокой поверхностной активностью.

Показано, что поверхностная активность анионоактивного ПАВ Сульфенол существенно улучшается при использовании его совместно с дигидрофосфатом калия.

References

1. Agzamov F.A., Akbulatov T.O., Ismakov R.A., Komleva S.F., Konesev G.V., Levinson L.M., Popov A.N., Sakaev R.M., Sannikov R.Kh., Solov'ev A.Ya., Trushkin B.N., Chukturev G.K., Yangirov F.N. *Neftgazovoe delo: v 6 t.* [Petroleum Engineering: in 6 vol.]. Saint-Petersburg, 2012. T. 2 «Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin» [T. 2 «Drilling of Oil and Gas Wells»]. 428 p. (in Russ.).
2. Amiyani V.A., Vasil'eva N.P. *Vskrytie i osvoenie neftegazovykh plastov* [Stripping and Development of Oil and Gas Strata]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 336 p. (in Russ.).
3. Rebinder P.A. *Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Kolloidnaya khimiya* [Surface Phenomena in Disperse Systems. Colloid Chemistry]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 368 p. (in Russ.).
4. Babalyan G.A., Kravchenko I.I., Markhasin I.A., Rusakov G.V. *Fiziko-khimicheskie osnovy primeneniya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv pri razrabotke neftyanykh plastov* [Physical-Chemical Fundamentals of Surfactants Application in Oil Formation Development]. Moscow, Gostoptekhizdat, 1962. 283 p. (in Russ.).
5. Ismakov R.A., Petrov N.A., Konesev G.V. *Upravlenie svoistvami tekhnologicheskikh zhidkostei dlya vskrytiya produktivnykh plastov* [Controlling the Properties of Process Fluids for Opening Reservoirs]. Ufa, UGNTU Publ., 2014. 153 p. (in Russ.).
6. Matyushin V.P., Konesev G.V., Dikhtyar T.D., Konesev V.G. *Kompleksnoe uluchshenie svoistv tekhnologicheskikh zhidkostei dlya pervichnogo vskrytiya produktivnykh plastov* [Complex Improvement of Process Liquids Properties for Reservoirs Primary Opening]. *Sbornik nauchnykh trudov «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele - 2011»: v 2 t.* (Oktyabr'skii, 2 dekabrya 2011 g.). [Collection of Scientific Works «Modern technologies in oil and gas business - 2011»: in 2 vol. (Oktyabr'skiy, December 2, 2011)]. Ufa, UGNTU Publ., 2011, Vol. 1, pp. 217-222. (in Russ.).
7. Konesev V.G., Yangirov F.N., Dikhtyar T.D., Ibatullin D.F., Salikhov I.F., Yakhin A.R. *Burovoi kompleksnyi reagent dlya promyvочnykh zhidkostei na vodnoi osnove* [Drilling Complex Agent for Water Base Drilling Fluids]. Patent RF, No. 2590254, 2016. (in Russ.).

Авторы

• Янгиров Фарит Наилович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 260-98-84
e-mail: bngs-ufa@mail.ru

• Яхин Артур Рамилевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: 9406622@mail.ru

• Дихтярь Татьяна Дмитриевна, канд. техн. наук
Филиал Уфимского государственного нефтяного
технического университета в г. Октябрьском
Доцент кафедры «Разведка и разработка
нефтяных и газовых месторождений»
Российская Федерация, 452607, Республика
Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54 а
e-mail: dihttd@gmail.com

• Логинова Марианна Евгеньевна, канд. физ.-мат.
наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: ufamel@yandex.ru

• Чудновская Алена Вадимовна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: alena-box@mail.ru

• Шмагель Максим Алексеевич
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: edelwase55@gmail.com

The Authors

• Yangirov Farit N., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 260-98-84
e-mail: bngs-ufa@mail.ru

• Yakhin Artur R., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: 9406622@mail.ru

• Dikhtyar Tatiana D., Candidate of Technical
Sciences
Oktyabrskiy Affiliate of Ufa State Petroleum
Technological University
Assistant Professor of Exploration and Exploitation
of Oil and Gas Fields Department
54 a, Devonskaya str., Oktyabrskiy, Republic
of Bashkortostan, 452607, Russian Federation
e-mail: dihttd@gmail.com

• Loginova Marianna E., Candidate of Physical and
Mathematical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ufamel@yandex.ru

• Chudnovskaya Alena V.
Ufa State Petroleum Technological University
Post-graduate Student of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: alena-box@mail.ru

• Shmagel Maksim A.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas Well Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: edelwase55@gmail.com