

УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА МИЦЕЛЛ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫТЕСНЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ НЕФТИ

STUDY OF MICELLES SIZE INFLUENCE ON THE EFFECTIVENESS OF RESIDUAL
OIL DISPLACEMENT

К. И. Бабицкая, В. В. Коновалов, Т. В. Чихерева

K. I. Babitskaya, V. V. Kononov, T. V. Chikhereva

Самарский государственный технический университет, г. Самара

*Ключевые слова: мицеллярно-полимерное заводнение; мицеллы;
смесь анионных и неионогенных ПАВ; межфазное натяжение*

*Key words: Micellar-polymer flooding; micelles; mixture of anionic and nonionic surfactants;
interfacial tension*

Поверхностно-активные вещества нашли широкое применение в методах увеличения нефтеотдачи. Такие известные технологии, как ASP-заводнение, ПАВ-заводнение, мицеллярно-полимерное заводнение (МПЗ) [1] и др., базируются на применении ПАВ различных классов, а также их смесей. Интерес исследователей к физико-химическим свойствам смесевых ПАВ связан с наблюдаемыми синергетическими эффектами (увеличение поверхностной активности, понижение ККМ, рост мицелл, изменение реологии раствора, появление новых типов самоорганизации в растворах ПАВ) и их высокой технологической эффективностью: при комбинировании различных ПАВ существенно легче изменять свойства системы в требуемом направлении, не прибегая к синтезу новых соединений. Исследования растворов смесей ПАВ в последние годы ведутся весьма интенсивно, изучены многие комбинации неионных, анионных, катионных и амфолитных ПАВ [2, 3], в то же время доступных сведений явно недостаточно для понимания и прогнозирования поведения химических композиций в условиях реального пласта, особенно в изменяющихся геолого-физических условиях.

Настоящая работа направлена на исследование влияния размеров смешанных мицелл, образованных смесью АПАВ и НПАВ, на межфазное натяжение на границе «нефть — минерализованная вода» и эффективность в вытеснении нефти из высокообводненных пластов. В качестве источника АПАВ был использован нефтяной сульфонат — промежуточный продукт производства сульфонатных присадок (маслорастворимый ПАВ) [4], в качестве НПАВ — неололы марок АФ 9–8, 10, 12 по ТУ 2483-077-05766801-98.

Исследование размера образованных мицелл и распределения мицелл по размерам выполнено с использованием лазерного анализатора размеров частиц Microtrac Nanotracer Ultra.

Для определения межфазного натяжения, а также нефтевытесняющей эффективности приготовленных растворов была использована нефть с вязкостью 93,33 мПа*с и плотностью 902,0 кг/м³ и пластовая вода с общей минерализацией 212 г/л и плотностью 1148 кг/м³.

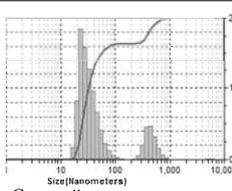
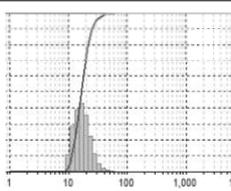
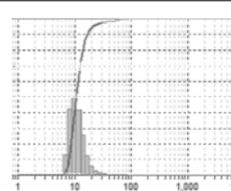
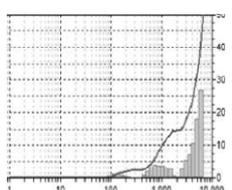
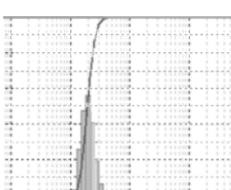
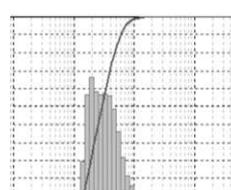
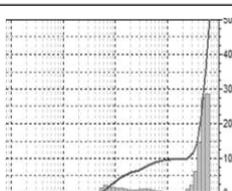
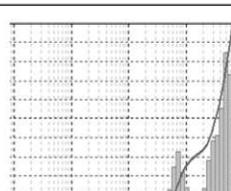
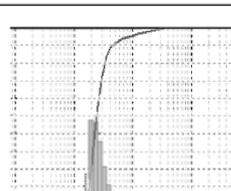
Межфазное натяжение (IFT) исследовано по методу вращающейся капли на приборе Spinning Drop Video Tensiometer (Data Physics, SVT 15N). Ввод капли размером 6,0–6,4 мкл проводился хромотографическим шприцом. Замер IFT каждого образца фиксировался при достижении равновесия системы при постоянной скорости вращения 7 000 1/min и температуре 23 °С. Температура опыта соответствовала пластовой температуре.

Нефтьвытесняющую эффективность приготовленных растворов определяли с помощью керна. В качестве кернодержателя использовались термостатируемые стеклянные колонки длиной 20 см и диаметром 1,6 см. Насыпную модель терригенной породы насыщали пластовой минерализованной водой и определяли объем пор. Далее керн насыщался нефтью и несколько раз прокачивался водой до полной обводненности выходящей жидкости (имитация процесса заводнения), и определялась остаточная нефтенасыщенность. В подготовленный керн закачивался мицеллярный раствор (МР) с суммарной концентрацией ПАВ 5 % масс. и буферная оторочка раствора полиакриламида с содержанием полимера 0,05 % масс. Объем оторочки МР составлял 20 % объема пор, буферного полимерного раствора — 50 % от объема пор. Эффективность действия МР оценивалась по вытеснению остаточной нефти после процесса заводнения.

Размеры образованных в растворе мицелл зависят от соотношения НПАВ/АПАВ и числа оксиэтилированных групп в молекуле неолола (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость размеров мицелл от соотношения НПАВ/АПАВ и степени оксиэтилированной группы

Соотношение НПАВ/ АПАВ	Количество оксиэтилированных групп		
	8	10	12
70/30	 <p>Средний диаметр частиц: 82 % — 62,53 нм, 18 % — 1589 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 33,1 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 37,6 нм</p>
50/50	 <p>Средний диаметр частиц: 70,8 % — 3 181,1 нм, 29,2 % — 182 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 28,18 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 85,0 нм</p>
30/70	 <p>Средний диаметр частиц: 70,8 % — 4 126 нм, 29,2 % — 1 265,5 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 1 563,4 нм</p>	 <p>Средний диаметр частиц: 130,2 нм</p>

Представлены изменения размеров мицелл в зависимости от типа неионогенного ПАВ (неонолы марок АФ 9-8, АФ 9-10 и АФ 9-12) и соотношения НПАВ/АПАВ (см. табл.1). Увеличение степени оксигенированных групп в молекуле неонола приводит к снижению размера образованных мицелл при всех исследованных соотношениях НПАВ/АПАВ. При равном содержании НПАВ (Неонол АФ 9-8) и АПАВ размеры частиц превышают 100 нм. Данным размером частиц характеризуется микроэмульсия (МЭ) [5]. Такими же характеристиками обладают растворы при соотношении НПАВ (Неонол АФ 9-8, 10)/АПАВ, равном 30/70. Стоит обратить внимание, что при различных соотношениях НПАВ (Неонола АФ9-8)/АПАВ присутствует бимодальное распределение мицелл различных размеров.

На следующем этапе работы была исследована зависимость межфазного натяжения от количества оксигенированных групп и соотношения НПАВ/АПАВ, представленная в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2

Зависимость межфазного натяжения от соотношения НПАВ/АПАВ и от количества оксигенированных групп

Количество оксигенированных групп, N	Соотношение НПАВ/АПАВ		
	70/30	50/50	30/70
8	0,16	0,21	0,34
10	0,23	0,34	0,49
12	0,52	0,56	0,65

Из представленных данных следует, что наибольшую межфазную активность проявляет Неонол АФ9-8 во всем диапазоне соотношений НПАВ/АПАВ, что позволяет нам сделать вывод о том, что широкое распределение размера частиц значительным образом влияет на межфазную активность раствора.

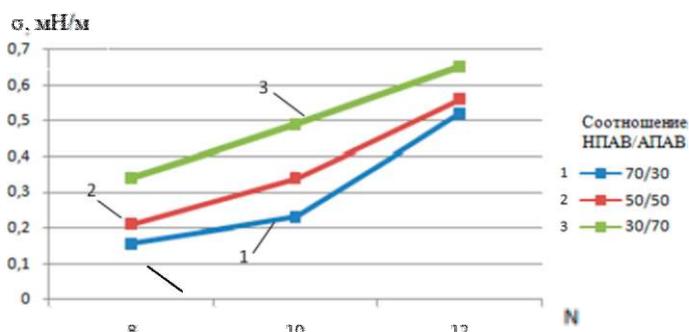


Рис. 1. Зависимость межфазного натяжения МР от количества оксигенированных групп в молекуле неонола

Наибольший интерес по величине межфазного натяжения (0,16 мН/м) представляет Неонол АФ9-8 при соотношении 70/30. Дальнейшие исследования направлены на изменения соотношений НПАВ (Неонол АФ9-8) /АПАВ в сторону увеличения концентрации НПАВ.

Зависимость межфазного натяжения от соотношения НПАВ (Неонол АФ9-8)/АПАВ представлена на рис. 2.

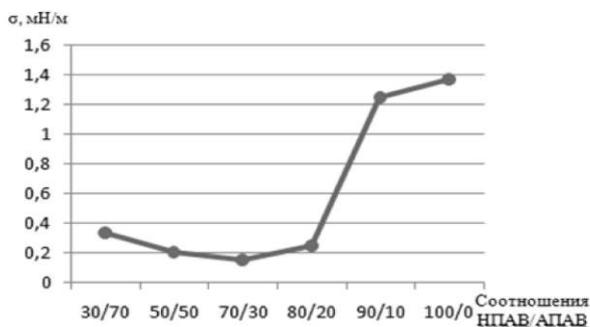


Рис. 2. Зависимость межфазного натяжения от соотношения НПАВ (Неонол АФ9-8)/АПАВ

Как видно (см. рис. 2), при смешении АПАВ и НПАВ наблюдается синергетический эффект и снижение межфазного натяжения. Увеличение концентрации АПАВ до 20 % приводит к резкому снижению межфазного натяжения с оптимумом в диапазоне от 50 до 80 % НПАВ.

Далее нами были проведены испытания по определению нефтевытесняющей способности данных растворов. Данные по коэффициенту вытеснения представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3

Зависимость коэффициента вытеснения от соотношения НПАВ/АПАВ

Соотношение НПАВ/АПАВ		Коэффициент вытеснения, %		
		70/30	50/50	30/70
Марка неонола	АФ 9-8	79,5	55,2	52,7
	АФ 9-10	58,8	52,3	50,4
	АФ 9-12	43	42,1	40

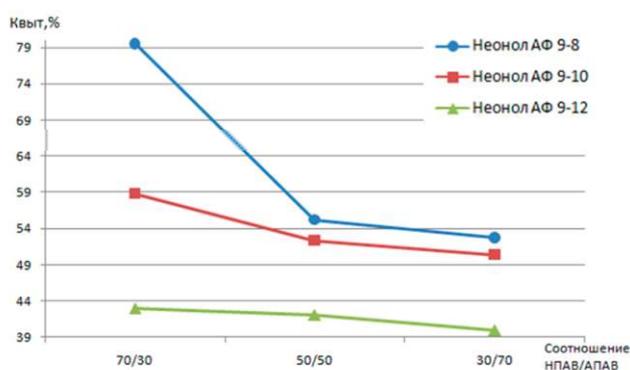


Рис. 3. Зависимость коэффициента вытеснения от соотношения НПАВ/АПАВ

Наибольший коэффициент вытеснения остаточной высоковязкой нефти был достигнут 79,5 % раствором при соотношении НПАВ (Неонол АФ9-8)/АПАВ — 70/30, что доказывает зависимость между межфазным натяжением, распределением размеров частиц и коэффициентом вытеснения.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что изменение соотношения НПАВ/АПАВ, число оксигетилированных групп позволяют регулировать размеры мицелл, влияют на межфазное натяжение и коэффициент вытеснения остаточной нефти.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», мероприятий 1.2 Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57414X0051.

Список литературы

1. W. R. Foster, A low-tension waterflooding process, J. Pet. Technol., 1973, Vol. 25, N. 2, p. 205–210.
2. W. B. Gogarty and J. A. Davis, «Field Experience With the Maraflood Process», SPE Paper No. 3806 presented at the SPE-AIME Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, April 16-19, 1972.
3. E. J. Manrique, M. E. Gurfinkland, V. Muci, 2004, Enhanced oil recovery field experiences in carbonate reservoirs in the United States, in 25th Annual Workshop & Symposium Collaborative Project on Enhanced Oil Recovery: International Energy Agency.
4. M. L. Surguchev, et al., Experimental field tests by micellar-polymer flooding for enhance oil recovery in the fields of the USA, Neftepromislovoe Delo, Moscow, 1983, p. 48.
5. B. D. Summ, Basic of colloid chemistry, Akademiya, Moscow, 2006, 240 p.
6. D. A. Kurashov Structure and viscoelastic properties of mixed micellar solutions oleylamidopropyl betaine and anionic surfactant: 02.00.11. – Kazan, 2009. – 146 p.
7. K. Shinoda et al., Colloidal Surfactants, Academic Press, New York. – 1963.
8. D. V. Aymetova, V. E. Dolinuk, V. P. Gorodnov, V. V. Kononov, K. I. Babitskaya Experimental evaluation of the efficiency of the application of oil-displacing compositions for enhanced oil recovery from high-viscosity oil fields. Rassochinskii chteniya: proceedings of the International Workshop (February 6-7, 2014). Ukhta: 2014. – 270 P.

9. W. Lake Larry, P. Walsh Mark Enhanced Oil Recovery(EOR)Field Data Literature Search. FrontCover. Department of Petroleum and Geosystems Engineering, University of Texas at Austin, 2008 - 116 p.

Сведения об авторах

Бабицкая Ксения Игоревна, аспирант, ассистент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Самарский государственный технический университет, г. Самара, тел. +79370622499, e-mail: babitskayaki@gmail.com

Коновалов Виктор Викторович, к. х. н., заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Самарский государственный технический университет, г. Самара, тел. +79277285507, e-mail: konovalov-samgtu@yandex.ru

Чихерева Татьяна Владимировна, студентка нефтетехнологического факультета, Самарский государственный технический университет, г. Самара

Information about the authors

Babitskaya K. I., postgraduate, assistant of the chair «Development and operation of oil and gas fields», Samara State Technical University, phone: +79370622499, e-mail: babitskayaki@gmail.com

Konovalov V. V., Candidate of Science in Chemistry, head of the chair «Development and operation of oil and gas fields», Samara State Technical University, phone: +79277285507, e-mail: konovalov-samgtu@yandex.ru

Chikhereva T. V., student of the Petroleum Technology Department of Samara State Technical University