

ХИМИЯ
CHEMISTRY

УДК 541.183, 544.576; 543.54

Поступило в редакцию 19.09.2016
Received 19.09.2016

О. Н. Опанасенко, академик Н. П. Крутько, О. Л. Жигалова, О. В. Лукша, Т. А. Козинец

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

**СТАБИЛИЗАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСИЙ КОМПОЗИЦИЯМИ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Изучены коллоидно-химические свойства водных растворов композиций поверхностно-активных веществ (ПАВ) различной природы: катионные ПАВ (КПАВ), анионные ПАВ (АПАВ), неионогенные ПАВ (НПАВ). Обнаружены синергетические эффекты для композиций КПАВ/АПАВ и КПАВ/НПАВ при мицеллообразовании и адсорбции. Установлено, что максимальным синергизмом действия, проявляющимся в снижении поверхностного натяжения, обладает композиция КПАВ/АПАВ при соотношении компонентов 4 : 1. Этот факт обуславливает эффективность ее диспергирующего действия и способность к формированию на поверхности частиц дисперсной фазы нефтешлама структурированного слоя, обладающего максимальной упругостью и механической прочностью по сравнению с молекулами КПАВ/НПАВ. Водные дисперсии нефтешлама, полученные с использованием композиции КПАВ/АПАВ, являются агрегативными и кинетически устойчивыми дисперсиями прямого типа.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, водные дисперсии нефтешлама, повышение нефтеотдачи.

O. N. Opanasenko, Academician N. P. Krut'ko, O. L. Zhigalova, O. V. Luksha, T. A. Kozinets

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

STABILIZATION OF PETROLEUM DISPERSIONS BY THE COMPOSITIONS OF SURFACTANTS

Colloid-chemical properties of water solutions of compositions of surfactants of different nature are studied. The synergistic effects for the compositions of cationic/anionic surfactants and cationic/non-ionized surfactants at micellization and adsorption are found. It has been found that the maximal synergism of action, showing up in a decrease of surface tension, is offered by the composition of cationic/anionic surfactants in the component 4 : 1. This fact stipulates the efficiency of its dispersive action and its capacity of forming on the surface of particles the dispersible phase of oil slime of the structured layer, possessing maximum elasticity and mechanical strength, as compared to the molecules of cationic and non-ionized surfactants. Water dispersions of oil slime obtained with the use of the composition of cationic and anionic surfactants are the aggregative and kinetically stabilized dispersions of direct type.

Keywords: surfactants, water dispersions of oil slime, enhanced oil recovery.

В настоящее время актуальным направлением в нефтедобывающей промышленности является создание технологий, обеспечивающих высокоэффективное освоение трудноизвлекаемых запасов нефти, совершенствование существующих и разработка новых методов воздействия на пласты и увеличения нефтеотдачи [1]. Одним из способов повышения коэффициента извлечения нефти является химическое воздействие на пласт – закачивание в нагнетательные скважины потокоотклоняющих композиций, образующих в высокообводненном пропластке гидроизолирующий экран, препятствующий проникновению воды [2]. К таким композициям можно отнести водную дисперсию нефтешлама (ВДНШ), которая, разрушаясь при нагревании до пластовой температуры и смешении с минерализованной водой, образует в обводненных зонах вязкопластичный материал, состоящий из коагулированных частиц нефтешлама и выполняющий водоизоляционную функцию.

Основными критериями, предъявляемыми к ВДНШ, являются степень дисперсности, вязкость, соответствующая ее движению в пласте, агрегативная и кинетическая устойчивость. Физико-

химические свойства ВДНШ определяются, прежде всего, природой и коллоидно-химическими свойствами поверхностно-активных веществ (ПАВ), используемых в качестве диспергаторов нефтешлама. Актуальным на сегодняшний день является применение композиций ПАВ различной природы, совмещающих достоинства индивидуальных ПАВ [3; 4]. Особое внимание следует уделить композициям, содержащим в составе катионные ПАВ (КПАВ), сложный характер и особенности поведения которых определяются, в первую очередь, природой гидрофильных и липофильных групп. Это обуславливает их высокую поверхностную и адсорбционную активность, и, как следствие, эффективное диспергирующее и стабилизирующее действие [5; 6].

Цель работы – установление взаимосвязи химической природы и состава композиционных ПАВ и эффективности их диспергирующего действия при получении ВДНШ.

Материалы и методы исследования. КПАВ, представляющее собой смесь аминокислот рапсового масла, неионогенное ПАВ (НПАВ) – оксиэтилированное ПАВ на основе Сорбитан С и анионное ПАВ (АПАВ) – смесь ненасыщенных жирных карбоновых кислот. Растворы композиций КПАВ/НПАВ и КПАВ/АПАВ получали смешением растворов индивидуальных ПАВ равных концентраций при разных соотношениях 1 : 1, 1 : 4 и 4 : 1; водные дисперсии нефтешлама (Речицанефть), полученные на основе разработанных композиций ПАВ.

Поверхностное натяжение растворов ПАВ и их смесей на границе раствор/воздух определяли методом отрыва кольца (метод Дю Нуи) с использованием прибора «Процессор-тензиометр К100 МК2» (фирма Ktuss, Германия) в автоматическом режиме с точностью $\pm 0,3$ мН/м. В качестве инструмента измерения применяли стандартное платиновое кольцо. По изотермам поверхностного натяжения σ ($\ln C$) определены основные коллоидно-химические характеристики ПАВ: предельная адсорбция (Γ_m), критическая концентрация мицеллообразования (C_k), поверхностное натяжение в области критической концентрации мицеллообразования (σ_k).

Структурно-реологические характеристики водных растворов композиций ПАВ и ВДНШ определяли на ротационном вискозиметре «Реотест-2» с использованием цилиндрического измерительного устройства. Измерения проводили при 20 °С.

Результаты и их обсуждение. Изотермы поверхностного натяжения растворов индивидуальных ПАВ и их композиций при $T = 20$ °С представлены на рис. 1, 2. Коллоидно-химические характеристики растворов ПАВ и их композиций приведены в табл. 1, 2.

Сравнительный анализ коллоидно-химических характеристик индивидуальных ПАВ показал, что наиболее эффективно поверхностное натяжение на границе раздела раствор/воздух сни-

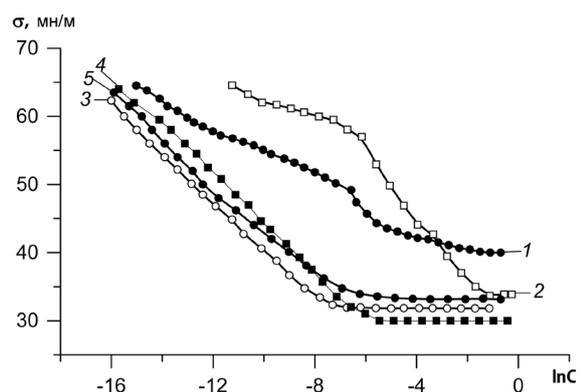


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов НПАВ (1), КПАВ (2) и их смесей при соотношении компонентов КПАВ/НПАВ (1 : 1) (3), КПАВ/НПАВ (4 : 1) (4), КПАВ/НПАВ (1 : 4) (5)

Fig. 1. Isotherms of surface tension of aqueous solutions of non-ionized surfactant (1), cationic surfactant (2) and their mixtures in the cationic surfactant/non-ionized surfactant component ratio (1 : 1) (3), in the cationic surfactant/non-ionized surfactant component ratio (4 : 1) (4), in the cationic surfactant/non-ionized surfactant ratio (1 : 4) (5)

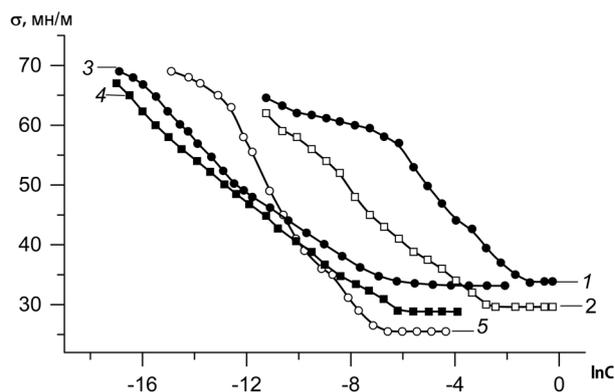


Рис. 2. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов КПАВ (1), АПАВ (2) и их смесей при соотношении компонентов КПАВ/АПАВ (1 : 4) (3), КПАВ/АПАВ (1 : 1) (4), КПАВ/АПАВ (4 : 1) (5)

Fig. 2. Isotherms of surface tension of aqueous solutions of cationic surfactant (1), anionic surfactant (2) and their mixtures in the cationic surfactant/anionic surfactant component ratio (1 : 4) (3), in the cationic surfactant/anionic surfactant component ratio (1 : 1) (4), in the cationic surfactant/anionic surfactant component ratio (4 : 1) (5)

Т а б л и ц а 1. Коллоидно-химические характеристики растворов ПАВ на границе раздела раствор/воздух

T a b l e 1. Colloid-chemical characteristics of solutions of surfactants at the solution/air interface

Характеристика Characteristic	Вещество Surfactant		
	КПАВ cationic surfactant	НПАВ non-ionised surfactant	АПАВ anionic surfactant
Γ_m , моль/м ²	$2,0 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$
C_k , г/л	$16 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^2$
σ_k , мН/м	33,8	40,6	30,0

Т а б л и ц а 2. Коллоидно-химические характеристики растворов композиций ПАВ на границе раздела раствор/воздух

T a b l e 2. Colloid-chemical characteristics of solutions of surfactant compositions at the solution/air interface

Характеристика Characteristic	Соотношение ПАВ в композиции Surfactant ratio in the composition					
	КПАВ/НПАВ cationic surfactant/non-ionised surfactant			КПАВ/АПАВ cationic surfactant/anionic surfactant		
	1 : 1	1 : 4	4 : 1	1 : 1	1 : 4	4 : 1
Γ_m , моль/м ²	$1,5 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$
C_k , г/л	$6,3 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$
σ_k , мН/м	32,0	33,1	29,5	28,8	33,5	25,5

жает раствор АПАВ ($\sigma_k = 30$ мН/м). Адсорбционная способность АПАВ и КПАВ на границе раздела фаз практически одинакова, о чем свидетельствуют значения максимальной адсорбции Γ_m $2,1 \cdot 10^6$ и $2,0 \cdot 10^6$ моль/м². Следует отметить, что адсорбция НПАВ составляет $4,9 \cdot 10^6$ моль/м², что в $\sim 2,5$ раза выше по сравнению с адсорбционной способностью АПАВ и КПАВ. Кроме того, склонность к агрегации в растворах НПАВ наблюдается в области более низких концентраций, чем для КПАВ и АПАВ и, как следствие, НПАВ проявляет высокую поверхностную активность благодаря большей гидрофобности его молекулы, в то же время раствор НПАВ снижает поверхностное натяжение только до 40,6 мН/м.

Сопоставление изотерм поверхностного натяжения растворов композиций КПАВ/НПАВ и КПАВ/АПАВ показало, что максимальным синергизмом действия, проявляющимся в снижении поверхностного натяжения, обладают композиции, обогащенные КПАВ (4 : 1). Так, поверхностное натяжение растворов КПАВ/АПАВ при соотношении 4 : 1 снижается с 33,8 до 25,5 мН/м, а КПАВ/НПАВ – с 33,1 до 29,5 мН/м.

Для исследуемых композиций ПАВ наблюдается синергизм и при мицеллообразовании – значения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) на несколько порядков ниже по сравнению со значениями ККМ индивидуальных ПАВ. Так, $KKM_{\text{КПАВ}}$ составляет $16 \cdot 10^{-2}$ г/л, $KKM_{\text{АПАВ}} = 9,1 \cdot 10^{-2}$ г/л, а значения ККМ композиций находятся в пределах $(0,21-8,3) \cdot 10^{-4}$ г/л. Учитывая тот факт, что исследуемые ПАВ являются промышленными образцами и их молекулярные массы не определены, рассчитать параметры взаимодействия и составы смешанных мицелл и адсорбционных слоев с использованием общепринятого подхода Рубина и Розена [7; 8] не представлялось возможным. Однако анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что в растворах исследуемых композиций ПАВ образуются сложные смешанные мицеллы, что и обуславливает проявление синергетических эффектов.

Следует отметить, что синергетические эффекты в растворах композиций КПАВ/АПАВ проявляются ярче, чем в растворах композиций КПАВ/НПАВ при одинаковом соотношении компонентов. Максимальным синергизмом действия, проявляющимся в снижении поверхностного натяжения, обладает композиция КПАВ/АПАВ при соотношении компонентов 4 : 1, что будет обуславливать эффективность ее диспергирующего действия по отношению к нефтяным дисперсиям.

Образование сложных смешанных мицелл в растворах композиций ПАВ приводит к изменению размеров структурных единиц течения, что будет оказывать влияние на эффективную вязкость водных растворов ПАВ (гидродинамический фактор стабилизации) и стабильность ВДНШ, полученных на их основе.

Структурно-реологические параметры водных растворов композиций КПАВ/НПАВ и КПАВ/АПАВ при соотношении компонентов 4 : 1 в зависимости от концентрации приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Структурно-реологические характеристики водных растворов композиций КПАВ/АПАВ и КПАВ/НПАВ при соотношении КПАВ/НПАВ и КПАВ/АПАВ 4 : 1 при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Table 3. Structure-rheological characteristics of aqueous solutions of compositions of cationic surfactant/anionic surfactant and cationic surfactant/non-ionized surfactant in the component ratio of cationic surfactant/non-ionized surfactant and cationic surfactant/anionic surfactant 4 : 1 at $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Характеристика Characteristic	Концентрация композиции Composition concentration					
	КПАВ/АПАВ cationic surfactant/anionic surfactant			КПАВ/НПАВ cationic surfactant/non-ionised surfactant		
	5 %	7 %	9 %	5 %	7 %	9 %
P_{k1} , Па	1,8	2,4	2,4	0,6	1,2	1,2
P_{k2} , Па	5,2	10,0	10,6	2,7	5,0	5,0
P_m , Па	12,9	17,6	22,3	10,5	27,0	28,2
η_0^* , Па · с	$1176 \cdot 10^3$	$1568 \cdot 10^3$	$1568 \cdot 10^3$	$392,11 \cdot 10^3$	$784,50 \cdot 10^3$	$784,50 \cdot 10^3$

Анализ полученных результатов исследования позволил выявить наличие как общих тенденций, так и оценить различие во влиянии химической природы ПАВ на изменение коллоидной структуры их водных растворов. Показано, что повышение концентрации водных растворов композиций ПАВ с 5 до 7 % приводит к увеличению прочности межмолекулярных связей (P_{k1}), упруго-пластичных свойств, характеризуемых показателем P_{k2} , и механической прочности, на что указывает рост значений P_m [9]. Дальнейшее увеличение концентрации композиций ПАВ до 9 % не оказывает существенного влияния на реологию их растворов. Установлено, что при одинаковых концентрациях в растворе композиции КПАВ/АПАВ формируется более прочная сетка зацеплений ассоциированными цилиндрическими молекулами, в результате чего раствор характеризуется более высокими (в ~2 раза) значениями структурно-реологических характеристик и эффективной вязкости, что позволит усилить гидродинамический эффект стабилизации нефтяных дисперсий, полученных с использованием композиции КПАВ/АПАВ. Образование прочной пространственной структуры в растворе КПАВ/АПАВ обусловлено различием в механизме взаимодействия между молекулами ПАВ. Основной вклад при образовании смешанных ассоциатов в объеме раствора КПАВ/АПАВ вносит электростатический фактор, в то время как смешение КПАВ и НПАВ происходит за счет более слабых гидрофобных взаимодействий [1; 2].

Проявление у молекул композиции КПАВ/АПАВ способности к образованию прочных пространственных структур в объеме раствора и на поверхности раздела фаз будет оказывать существенное влияние при получении стабильных нефтяных дисперсий. С целью подтверждения полученных результатов изучены структурно-реологические свойства ВДНШ, полученных с использованием композиций КПАВ/АПАВ и КПАВ/НПАВ при концентрации 7 % (табл. 4). Приготовление ВДНШ осуществляли путем механического перемешивания нефтешлама, воды и ПАВ при температуре 90 °С.

Сравнительный анализ результатов, представленных в табл. 4, позволил оценить существенное влияние природы ПАВ на процессы структурообразования, протекающие в дисперсной системе ВДНШ. Установлено, что использование АПАВ в композиции с КПАВ приводит к формированию структуры в ВДНШ, которая по своим реологическим характеристикам соответствует структуре жидкообразного тела ($P_{k1} \approx 0$), в то время как при сочетании КПАВ с НПАВ – структуре твердообразного тела ($P_{k1} > 0$). Жидкообразные и твердообразные тела отличаются не только отсутствием или наличием предела текучести P_{k1} , но и определенным поведением при развитии деформации. Если для структурированных жидкостей с ростом нагрузки характерен переход к ньютоновскому течению, отвечающему предельно разрушенной структуре, то для твердообразных тел увеличение нагрузки приводит к разрыву сплошности тела и его разрушению [9]. С использованием параметра χ [10], рассчитанного как отношение пределов прочности

Таблица 4. Структурно-реологические параметры ВДНШ, приготовленных с использованием композиций КПАВ/АПАВ и КПАВ/НПАВ

Table 4. Structure-rheological parameters of water dispersions of oil slime prepared using the compositions of cationic surfactant/anionic surfactant and cationic surfactant/non-ionized surfactant

Характеристика Characteristic	Раствор Solution	
	КПАВ/АПАВ = 4 : 1 cationic surfactant/anionic surfactant = 4 : 1	КПАВ/НПАВ = 4 : 1 cationic surfactant/non-ionised surfactant = 4 : 1
P_{k1} , Па	0	$2178 \cdot 10^{-1}$
P_{k2} , Па	57	$14850 \cdot 10^{-1}$
P_m , Па	$160 \cdot 10^{-1}$	$21780 \cdot 10^{-1}$
η_0^* , Па · с	$268 \cdot 10^3$	$39150 \cdot 10^3$
η_m^* , Па · с	$110 \cdot 10^3$	$2420 \cdot 10^3$
$\chi = P_m / P_{k1}$	2,4	10

P_m / P_{k1} , установлено, что размер структурных единиц течения дисперсных систем для ВДНШ на основе КПАВ/АПАВ в 5 раз ниже значения χ для ВДНШ на основе КПАВ/НПАВ, что свидетельствует о более высоком диспергирующем действии композиции КПАВ/АПАВ. Важно отметить, что использование АПАВ в смеси с КПАВ способствует значительному снижению значений эффективной вязкости ВДНШ и, как следствие, повышению ее технологических характеристик. В неоднородных средах это будет способствовать тому, что часть пор меньше определенного размера не будет отключена из фильтрации при одних и тех же давлениях нагнетания, и, как следствие, повысится охват пласта заводнением.

Полученные данные коррелируют с результатами исследования коллоидно-химических и структурно-реологических свойств водных растворов композиций ПАВ, свидетельствующими о максимальном диспергирующем действии композиции КПАВ/АПАВ (4 : 1) по отношению к нефтяным дисперсиям и способности к формированию структурно-вязких адсорбционных слоев на частицах дисперсной фазы. Для развитого адсорбционного слоя КПАВ/АПАВ (4 : 1)

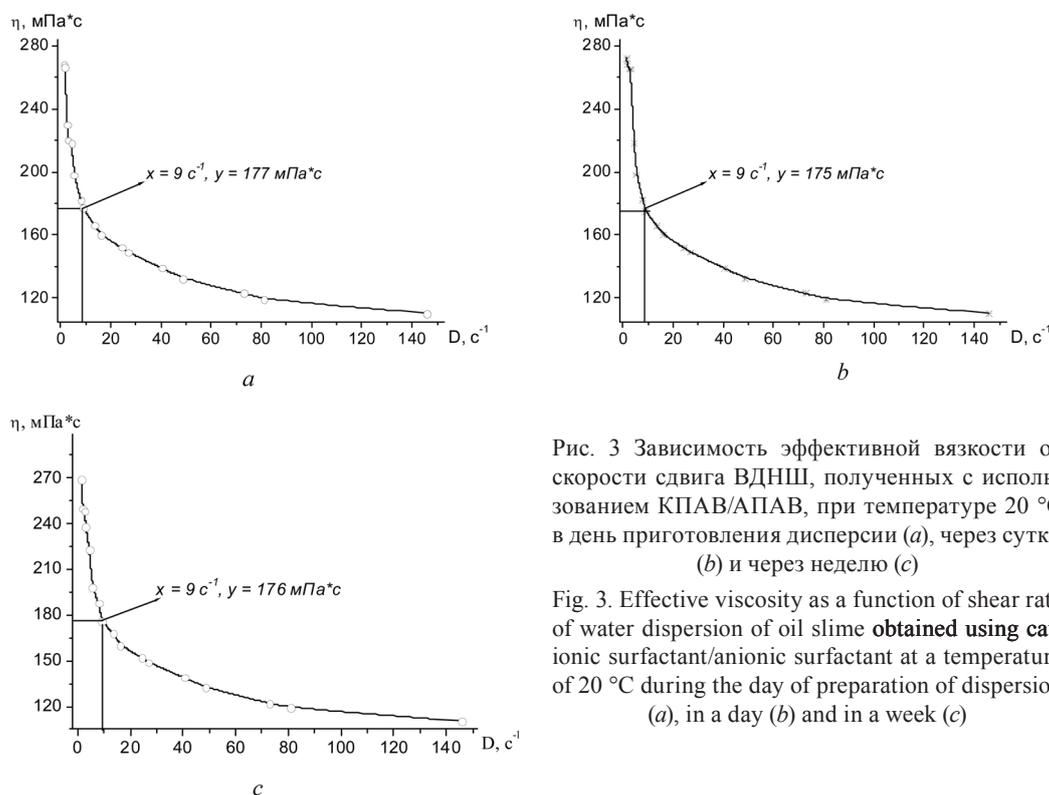


Рис. 3 Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига ВДНШ, полученных с использованием КПАВ/АПАВ, при температуре 20 °С в день приготовления дисперсии (а), через сутки (b) и через неделю (c)

Fig. 3. Effective viscosity as a function of shear rate of water dispersion of oil slime obtained using cationic surfactant/anionic surfactant at a temperature of 20 °С during the day of preparation of dispersion (a), in a day (b) and in a week (c)

характерна высокая лиофильность и сольватированность на границе с дисперсионной средой, что будет препятствовать сцеплению частиц дисперсной фазы, тем самым стабилизируя нефтяные дисперсии, подобные ВДНШ, во времени. На рис. 3 приведены зависимости эффективной вязкости от скорости сдвига ВДНШ, полученных с использованием КПАВ/АПАВ, при температуре 20 °С в день приготовления дисперсии (а), через сутки (b) и через неделю (с).

Как видно из полученных данных, вязкость ВДНШ в день приготовления при скорости сдвига 9 с^{-1} , отвечающей движению ВДНШ в пласте, составляет в среднем $177 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, вязкость ВДНШ через одни сутки и через неделю – 175 и $176 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ соответственно, что свидетельствует об агрегативной и кинетической устойчивости ВДНШ.

Заключение. На основании анализа результатов проведенного комплекса исследований установлено, что максимальным синергизмом действия, проявляющимся в снижении поверхностного натяжения, обладает композиция КПАВ/АПАВ при соотношении компонентов 4 : 1. Этот факт обуславливает эффективность ее диспергирующего действия и способность к формированию на поверхности частиц дисперсной фазы нефтешлама структурированного слоя, обладающего максимальной упругостью и механической прочностью по сравнению с молекулами КПАВ/НПАВ. ВДНШ, полученные с использованием КПАВ/АПАВ, являются агрегативными и кинетически устойчивыми дисперсиями прямого типа и могут быть использованы в качестве потокоотклоняющих композиций в нефтедобывающей промышленности.

Список использованных источников

1. Алтунина, Л. К. Перспективы применения комплексного физико-химического и микробиологического метода повышения нефтеотдачи на месторождении Белый Тигр (Вьетнам) / Л. К. Алтунина, В. С. Овсянникова, Л. И. Сваровская // Нефтехимия. – 2008. – Т. 48, № 6. – С. 474–478.
2. Композиции на основе полиакриламида, пентагидроксохлорида алюминия и карбамида в качестве реагентов для водоизоляции в нефтяном пласте / И. А. Новаков [и др.] // Журн. приклад. химии. – 2008. – Т. 81, вып. 8. – С. 1389–1393.
3. Харитоновна, Т. В. Межмолекулярные взаимодействия в бинарных смесях катионного и неионогенного ПАВ / Т. В. Харитоновна, Н. И. Иванова, Б. Д. Сумм // Коллоид. журн. – 2002. – Т. 64, № 5. – С. 685–696.
4. Смирнова, Н. А. Макроскопические свойства и формы самоорганизации смешанных растворов поверхностно-активных веществ / Н. А. Смирнова // Журн. физ. химии. – 2006. – Т. 80, № 10. – С. 1809–1818.
5. Термодинамические свойства нефтяных дисперсных систем, модифицированных катионными поверхностно-активными веществами / О. Н. Опанасенко [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2013. – № 1. – С. 46–49.
6. Влияние природы функциональных групп химических модификаторов на термическую стабильность нефтяного битума / О. Н. Опанасенко [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2015. – № 1. – С. 101–106.
7. Holland, P. M. Nonideal multicomponent mixed micelle model / P. M. Holland, D. N. Rubingh // J. Phys. Chem. – 1983. – Vol. 87. – P. 1984. doi.org/10.1021/j100234a030.
8. Phenomena in mixed surfactant systems / ed. J. F. Scamehorn. – Washington: Amer. Chem. Soc., 1986. – Vol. 31. – P. 144–149. doi.org/10.1021/bk-1986-0311.
9. Овчинников, П. Ф. Реология тиксотропных систем / П. Ф. Овчинников, Н. Н. Круглицкий, Н. В. Михайлов. – Киев: Наукова думка, 1972. – 120 с.
10. Лиштван, И. И. Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. – Минск: Наука и техника, 1976. – 264 с.

References

1. Altunina L. K., Ovsyannikova V. S., Svarovskaya L. I. Prospects for the use of the combined physicochemical and microbiological enhanced oil recovery technique in the White Tiger oil field (Vietnam). *Petroleum Chemistry*, 2008, vol. 48, no. 6, pp. 479–483. doi.org/10.1134/S0965544108060133.
2. Novakov I. A., Radchenko S. S., Radchenko F. S., Ozerin A. S., Karaulov A. V. Polyacrylamide-aluminum pentahydroxochloride-urea formulations as waterproofing agents for oil pool. *Zhurnal prikladnoi khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2008, vol. 81, no. 8, pp. 1465–1468. doi.org/10.1134/S1070427208080272.
3. Kharitonova T. V., Ivanova N. I., Summ B. D. Intermolecular interactions in the binary mixtures of cationic and non-ionized surfactants. *Kolloidnyi zhurnal* [Colloid Journal], 2002, vol. 64, no. 5, pp. 620–630. doi.org/10.1023/A:1020674329184.
4. Smirnova N. A. Macroscopic properties and self-organization in mixed solutions of surfactants. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2006, vol. 80, no. 10, pp. 1608–1616. doi.org/10.1134/S0036024406100104.
5. Opasenko O. M., Krutko N. P., Zhigalova O. L., Luksha O. V. Thermodynamic properties of the oil dispersed systems modified by cationic surfactants. *Izvestiia Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical Sciences], 2013, no. 1, pp. 46–49. (in Russian)

6. Opanasenko O. N., Luksha O. V., Zhigalova O. L., Krutko N. P., Chernetskaya V. M., Kozinets T. A. The effect of chemical modifiers' functional groups on the oil bitumen thermal stability. *Izvestiia Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical Sciences], 2015, no. 1, pp. 101–106. (in Russian)
7. Holland P. M., Rubingh D. N. Nonideal multicomponent mixed micelle model. *The Journal of Physical Chemistry*, 1983, vol. 87, pp. 1984. doi.org/10.1021/j100234a030.
8. Scamehorn J. F. (ed.). *Phenomena in mixed surfactant systems*. Washington, American Chemical Society, 1986, vol. 31, pp. 144–149. doi.org/10.1021/bk-1986-0311.
9. Ovchinnikov P. F., Kruglitskii N. N., Mikhailov N. V. *Rheology of thixotropic systems*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1972. 120 p. (in Russian)
10. Lishtvan I. I., Kruglitskii N. N., Tretinnik V. Yu. *Physical-chemical mechanics of humic substances*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 264 p. (in Russian)

Информация об авторах

Опанасенко Ольга Николаевна – канд. хим. наук, заведующая лабораторией, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ionch@igic.bas-net.by.

Крут'ко Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, профессор, заведующий отделом, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Жигалова Оксана Леонидовна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: zhigalova.o@mail.ru.

Лукша Ольга Валерьевна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: olga.l-75@mail.ru.

Козинец Татьяна Анатольевна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tta-85@mail.ru.

Для цитирования

Стабилизация нефтяных дисперсий композициями поверхностно-активных веществ / О. Н. Опанасенко [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 1. – С. 47–53.

Information about the authors

Opanasenko Olga Nikolaevna – Ph. D. (Chemistry), Head of the Laboratory, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9, Bld. 1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ionch@igic.bas-net.by.

Krut'ko Nikolai Pavlovich – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Department, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9, Bld. 1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Zhigalova Oksana Leonidovna – Ph. D. (Chemistry), Senior researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9, Bld. 1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhigalova.o@mail.ru.

Luksha Olga Valerievna – Ph. D. (Chemistry), Senior researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9, Bld. 1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga.l-75@mail.ru.

Kozinets Tatiana Anatolievna – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9, Bld. 1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tta-85@mail.ru.

For citation

Opanasenko O. N., Krut'ko N. P., Zhigalova O. L., Luksha O. V., Kozinets T. A. Stabilization of petroleum dispersions by the compositions of surfactants. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 1, pp. 47–53. (in Russian)