

СМЕСИ НЕИОННЫХ ПАВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТЯЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Е.Ф. Буканова^{1,@}, В.М. Филиппенков², Ю.В. Ревина¹

¹Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий), Москва 119571, Россия

²Научно-исследовательский центр бытовой химии, Москва 115088, Россия

@Автор для переписки, e-mail: bukanova.e@mail.ru

Изучены поверхностные свойства и мицеллообразование бинарных и тройных композиций неионных ПАВ (НПАВ) в связи с их очищающей способностью по отношению к хлопчатобумажной ткани. Показано, что в смесях алкилглюкозида и оксиэтилированного спирта наблюдается антагонизм взаимодействия между компонентами. При введении оксида третичного амина (Оксипав), имеющего в молекуле семиполярную связь N→O, происходит образование смешанных мицелл. В растворах смесей НПАВ снижается критическая концентрация мицеллообразования, повышается поверхностная активность, увеличиваются значения максимальной адсорбции в поверхностных слоях и уменьшается площадь, занимаемая молекулами ПАВ в насыщенном адсорбционном слое (smol) по сравнению с индивидуальными ПАВ. Низкие значения межфазного натяжения (от 1.2 до 0.88 мДж/м²) в системе раствор ПАВ – толуол повышают степень очистки поверхности от масляных загрязнений. Использование в моющем растворе смесей трех НПАВ с различными функциональными группами обеспечивает синергизм смачивающей, стабилизирующей, пенообразующей, эмульгирующей способности жидких моющих средств. Композиции, разработанные на основе коллоидно-химических критериев, характеризуются высокой эффективностью удаления пигментно-масляных загрязнений с ткани при значениях pH в интервале от 8.8 до 10.5.

Ключевые слова: неионные ПАВ, адсорбция, критическая концентрация мицеллообразования, смачивание, эмульгирование, солюбилизация загрязнения, устойчивость пены, моющая способность.

MIXTURES OF NON-IONIC SURFACTANTS FOR CLEANING COMPOSITIONS

E.F. Bukanova^{1,@}, V.M. Filippenkov², Yu.V. Revina¹

¹Moscow Technological University (Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

²Scientific Research Center of Household Chemistry, Moscow 115088, Russia

@Corresponding author e-mail: bukanova.e@mail.ru

The surface behavior and micelle formation of binary and ternary compositions of nonionic surfactants are studied in relation to their cleaning ability with respect to cotton fabric. In mixtures of an alkyl glucoside and oxyethylated alcohol, antagonistic interaction of the components is observed. When a tertiary amine oxide (Oksipav) having a semipolar N→O bond in the molecule is introduced, the formation of mixed micelles occurs. In solutions of mixtures of nonionic surfactants, the critical concentration of micelle formation is reduced, surface activity is increased, the values of maximum adsorption in the surface layers become higher, and the area occupied by the surfactant molecules in a saturated adsorption layer (smol) is reduced as compared to the individual surfactants. Low values of interfacial tension (from 1.2 to 0.88 mJ/m²) in the surfactant solution – toluene system

increase the degree of surface cleaning from oil pollution. When cleaning solutions contain mixtures of three nonionic surfactants with different functional groups, synergism of the wetting, stabilizing, foaming and emulsifying abilities of liquid detergents is provided. Compositions developed on the basis of colloid-chemical criteria are characterized by high removal efficiency with respect to pigment-oil stains from the fabric at pH in the range from 8.8 to 10.5.

Keywords: nonionic surfactants, adsorption, critical concentration of micelle formation, wetting, emulsification, solubilization, pollution, foam stability, detergency.

Во многих технологических процессах используют смеси ПАВ различной природы, так как композиции ПАВ проявляют в водных растворах ряд необычных свойств, не характерных для индивидуальных веществ. Свойства растворов смесей ПАВ не аддитивны, и может наблюдаться как усиление, так и ослабление различных физико-химических свойств растворов смесей ПАВ по сравнению со свойствами растворов индивидуальных компонентов [1]. В литературе широко представлены сведения о синергизме различных коллоидно-химических характеристик смесей неионных и ионных ПАВ, которые используются в синтетических моющих средствах [2, с. 124–142]. В настоящее время в ассортименте синтетических моющих средств (СМС) возрастает доля жидких моющих средств (ЖМС), поскольку они обеспечивают бережный уход в отношении очищаемой поверхности, оказывают мягкое действие на кожу и слизистые оболочки. К составу ЖМС предъявляются особые требования: они должны быть достаточно концентрированными, иметь высокое содержание ПАВ, быть прозрачными и не расслаиваться [3]. Для эффективного удаления масляных загрязнений ЖМС в качестве основных компонентов применяют смеси ПАВ различной природы, обладающие высокой поверхностной активностью, низкими величинами критической концентрации мицеллообразования и межфазного натяжения.

Предсказать заранее лучший состав смеси ПАВ, обеспечивающий высокое моющее действие СМС, нельзя, и требуется проведение широкого экспериментального исследования, прежде чем будут выявлены оптимальные соотношения компонентов.

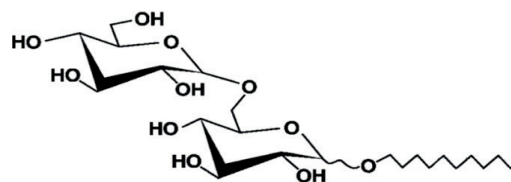
Целями работы являлись:

- изучение коллоидно-химических свойств бинарных и тройных смесей различных неионных ПАВ для создания эффективных чистящих композиций;
- исследование физико-химических и технических характеристик жидких моющих композиций на их основе.

Экспериментальная часть

В работе были использованы неионные ПАВ (НПАВ), характеристики которых даны ниже.

1. Алкил (C_8-C_{16}) глюкозид (торговое название – Plantacare 818 UP, BASF, Германия):



Молекулярная масса ~ 390 г/моль.

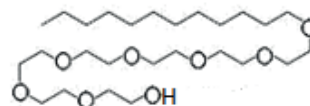
2. Кокаמידопропиламинооксид – Оксипав АПЗЗ (ОАО «НИИПАВ», Россия):



где RCO – остаток жирной кислоты кокосовой фракции (в основном, лауриновой).

Молекулярная масса – 316 г/моль. Содержание основного вещества – 33%.

3. Оксипропилированный жирный спирт со степенью оксипропилирования 7 – Синтанол АЛМ-7 (ООО «Завод Синтанолов» группы компаний Норкем, Россия):



$C_n H_{(2n+1)} (C_2 H_4 O)_m H$, где $n = 12$, $m = 7$. Молекулярная масса 602 г/моль.

В качестве объекта для очистки использовали хлопчатобумажную ткань ЕМРА 118, содержащую масляное загрязнение, имитирующее кожное сало – sebum.

Поверхностное и межфазное натяжение (σ) растворов ПАВ измеряли с помощью цифрового тензиометра К 9 (Kruss GmbH, Германия) по методу отрыва кольца. Погрешность измерения составляла менее 1%. Величины адсорбции и параметры адсорбционных слоев ПАВ рассчитывали с помощью уравнения Шишковского [4, с. 43–49]. Значения критической константы мицеллообразования (ККМ) мицеллярных растворов определяли по перегибу на изотермах $\sigma - f(c)$.

Размеры мицелл НПАВ определяли методом динамического светорассеяния на анализаторе частиц субмикронного размера и дзета-потенциала марки Delsa™ Nano (BeckmanCoulter, Inc.).

Внутримицеллярное растворение масляных загрязнений оценивали по солюбилизации маслорастворимого красителя Судан 3 мицеллярными растворами индивидуальных ПАВ и их смесей.

Краевой угол θ на границе раздела раствор ПАВ – воздух определяли путем проецирования на экран капли жидкости [4, с. 20–25].

Модельные эмульсии толуол – вода, стабилизированные исследуемыми НПАВ, получали путем перемешивания в течение 20 мин с помощью дисковой мешалки при 1000 об/мин.

Реологические свойства жидких моющих композиций изучали на ротационном вискозиметре «Полимер РПЭ-1М» [4, с. 249–252].

Пенообразующие характеристики моющих растворов НПАВ и их смесей в жесткой воде оценивали по методу Росса–Майлса в соответствии с ГОСТ 22567.1-77 «Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности».

Моющую способность рабочих растворов с различным составом ПАВ определяли в соответствии с ГОСТ 22567.15-9 «Средства моющие синтетические. Метод определения моющей способности».

Результаты и их обсуждение

Моющее действие представляет собой комплексный неравновесный процесс, в котором протекают процессы адсорбции, избирательного смачивания и диспергирования загрязнений, с участием очищаемой поверхности, загрязнителя и ПАВ. Нами была исследована адсорбция из водных растворов индивидуальных ПАВ и бинарных смесей неионных ПАВ: алкилглюкозида, оксиэтилированного спирта и аминоксида, взятых при различных весовых соотношениях, на границе с воздухом и межфазной границе с масляным загрязнением, моделью которого служил толуол.

Изотермы поверхностного и межфазного натяжения водных растворов индивидуальных ПАВ и их смесей на различных границах раздела фаз приведены на рис. 1 и 2.

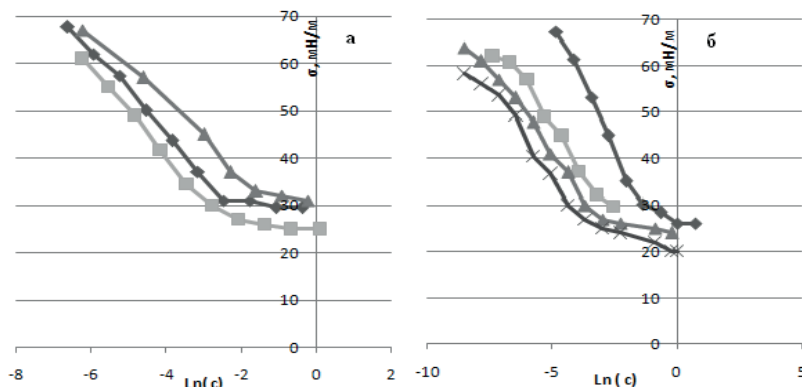


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения растворов на границе водный раствор – воздух:
а) индивидуальных НПАВ: алкилглюкозид (◆); оксиэтилированный спирт (■); оксид третичного амина (▲);
б) их смесей: алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт в масс. соотношении 67:33 (◆); алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт – оксид третичного амина в масс. соотношениях: 66:17:17(■); 75:8:17(▲); 41.5:41.5:17(×).

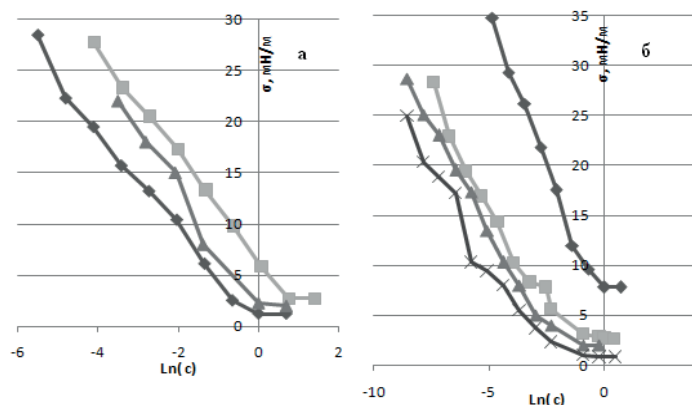


Рис. 2. Изотермы межфазного натяжения растворов на границе водный раствор – толуол:
а) индивидуальных НПАВ; б) их смесей.
Обозначения те же, что на рис. 1.

Из представленных в табл. 1 данных следует, что для индивидуальных ПАВ величина максимальной адсорбции ($\Gamma_{\max}$) на границе водный раствор – воздух, характеризующая концентрацию веществ в поверхностном слое, наибольшая у оксиэтилированного спирта, на границе с толуолом – у алкилглюкозида. Для бинарной смеси алкилглюкозида и оксиэтилированного спирта наблюдается антагонистический эффект, проявляющийся в уменьшении поверхностной активности и снижении величины максимальной адсорбции.

Введение в композиции оксида третичного амина позволяет создать композиции трех НПАВ, обладающих синергетическим эффектом. Наибольшей поверхностной активностью, максимальной адсорбцией, минимальной площадью, занимаемой молекулами ПАВ в насыщенном адсорбционном слое, и более низким значением ККМ по сравнению с композициями, содержащими ПАВ в других соотношениях, обладает смесь НПАВ, содержащая алкилглюкозид, оксиэтилированный спирт и оксид третичного амина, взятых в массовом соотношении 66:17:17 соответственно.

Таблица 1. Адсорбционные характеристики индивидуальных НПАВ и их смесей на различных границах раздела фаз*

№ смеси	Состав смеси (мол. %)			$\sigma_{\min}$, мДж/м ²	$\Gamma_{\max} \cdot 10^{-6}$, моль/м ²	G , Дж·м/моль	s_{mol}^{***} , 10 ⁻¹⁹ , м ² /моль	$\delta \cdot 10^{-9}$, м	$C_{\text{СМС}}$, моль/м ³
Алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт – Оксипав АПЗ3									
1	100	0	0	25.0 1.2*	3.67 4.43	2.21 1.8	4.53 8.1	1.22 0.68	0.032 0.02
2	0	100	0	26.2 2.7	4.68 1.26	2.62 0.52	3.55 7.9	2.82 0.2	0.027 0.07
3	0	0	100	30.3 0.88	4.16 1.38	0.48 0.56	3.86 7.63	1.30 0.51	0.09 0.13
4	67	33	0	25.5 7.8	4.74 2.77	1.01 0.4	3.5 5.99	2.04 1.2	0.07 0.09
5	66	17	17	29.7 0.8	5.94 8.3	2.8 3.9	2.8 0.6	2.3 3.4	0.025 0.003
6	75	8	17	25.1 1.5	8.7 7.6	4.1 3.7	2.1 1.3	3.4 3.0	0.005 0.007
7	41.5	41.5	17	27.7 0.5	7.8 5.9	3.7 2.8	1.9 2.8	3.1 22.4	0.01 0.015

* Данные в числителе относятся к границе водный раствор – воздух; данные в знаменателе – к границе водный раствор – толуол.

** s_{mol} для смесей ПАВ представляет собой эффективную величину, рассчитанную исходя из соотношения ПАВ.

Композиции для удаления масляных загрязнений должны иметь низкое межфазное натяжение на границе с неполярной фазой, так как поверхностное натяжение является главной силой, препятствующей удалению жидких загрязнений [2, с. 460–464]. Из изотерм межфазного натяжения на границе водный раствор – толуол (рис. 2) видно, что величины $\sigma_{\min}$ для смесей НПАВ имеют низкие значения и находятся в пределах 1.5–0.5 мДж/м², что должно способствовать эффективному удалению жировых загрязнений [5, с. 23–29].

Солубилизирующую способность мицеллярных растворов индивидуальных ПАВ и их смесей оценивали по солубилизации маслорастворимого красителя Судан 3, который можно использовать в качестве аналога масляной фазы, для сравнения с литературными данными [4, с. 162]. Размеры мицелл НПАВ и их смесей, определенные методом динами-

ческого светорассеяния, и рассчитанные числа агрегации мицелл представлены в табл. 2. Оказалось, что большей солубилизирующей способностью по сравнению со смесями ПАВ обладают мицеллы индивидуальных ПАВ. Вероятно, в данных композициях солубилизация не является решающим фактором при удалении масла с очищаемой поверхности, что согласуется с литературными данными [5, с. 102].

Смесь двух НПАВ: алкилглюкозида и оксиэтилированного спирта, взятых в масс. соотношении 67:33, имеет числа агрегации, близкие к таковым индивидуальных молекул ПАВ. В этом случае в растворах НПАВ с глюкозидными полярными группами и НПАВ с оксиэтилированными группами не образуются смешанные агрегаты (см. табл. 1). Большие числа агрегации для смеси алкилглюкозида, оксиэтилированного спирта и оксида третичного амина, различающихся строением гидрофильных частей

Таблица 2. Числа агрегации мицелл и значения молярной солюбилизации красителя Судана 3 мицеллярными растворами индивидуальных НПАВ и их смесей

НПАВ или их смесь	Радиус мицелл, нм	Числа агрегации	S_m , моль красителя/ моль ПАВ
Алкилглюкозид	6.5	117	0.248
Оксиэтилированный спирт	5.4	103	0.237
Оксилав АП33	—	—	0.317
Алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт, 67:33	5.5	108	0.119
Алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт – Оксилав АП33, 66:17:17	7.5	252	0.125

молекул ПАВ, по сравнению с индивидуальными компонентами, являются доказательством наличия в растворе смешанных агрегатов.

Одним из основных процессов, протекающих при удалении масляных загрязнений, распространяющихся по всей поверхности и формирующих плотные поверхностные слои, является смачивание загрязненной хлопчатобумажной ткани моющим раствором [5, с. 23–29]. Смачивание гидрофобной поверхности растворами

НПАВ оценивали по величине краевого угла θ на границе раздела раствор ПАВ – воздух путем проецирования на экран капли жидкости. Данные представлены на рис. 3а, из которых следует, что в водном растворе смеси алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт – оксид третичного амина, 66:17:17, достигается наименьший краевой угол смачивания гидрофобной поверхности, что согласуется с литературными сведениями о синергизме смачивающей способности смесей НПАВ [6].

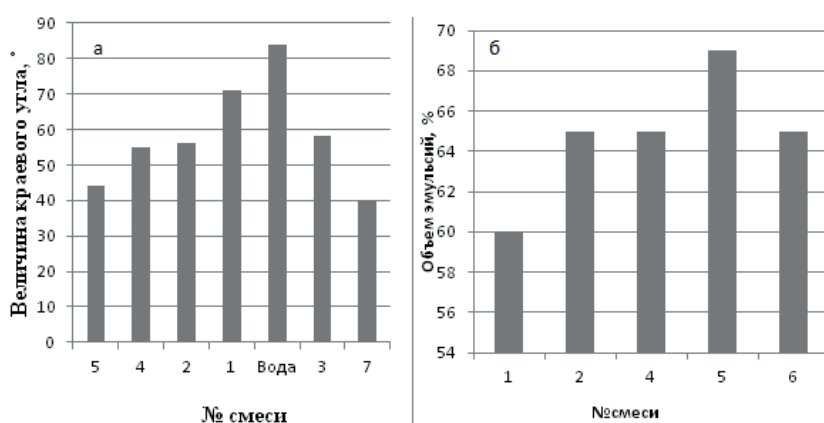


Рис. 3. Смачивающая способность индивидуальных ПАВ и их смесей (а) и устойчивость эмульсий, стабилизированных различными композициями НПАВ (б) (номер смесей – см. табл. 1).

Согласно литературным данным, масляные загрязнения, удаленные с твердой поверхности, находятся в моющем растворе либо в виде эмульсий типа масло – вода, либо солюбилизуются мицеллярными растворами ПАВ [2, с. 97–103; 5, с. 29–30]. Для оценки устойчивости масляного загрязнения в моющем процессе определена устойчивость модельных эмульсий толуол – вода, стабилизированных исследуемыми НПАВ (рис. 3б). Соотношение объемов «масляной» фазы и водного раствора ПАВ составляло 20:80. Показано, что более устойчивой является эмульсия, содержащая в качестве стабилизатора оксиэтилированный спирт, обладающий наибольшей поверхностной активностью на границе раствор –

воздух (см. табл. 1), что объясняет высокое моющее действие данного ПАВ (см. далее рис. 5).

Жидкие моющие композиции, содержащие смесь НПАВ, обладают высокой эмульгирующей способностью, что способствует удержанию жировых загрязнений в растворе. Эмульсии масляных загрязнений в водных растворах неионных ПАВ представляют собой лиофобные дисперсные системы, стабилизация которых происходит за счет стерического фактора устойчивости. При перекрывании полярных оболочек НПАВ в поверхностных слоях масляных капель в системе появляется область с повышенной концентрацией гидрофильных цепей и возникает градиент осмотического давления, ведущий

к осмотическому переносу в эту область молекул дисперсионной среды и разъединению частиц масляных загрязнений [7].

Были изучены физико-химические и технические характеристики жидких моющих композиций, содержащих смеси трех НПАВ в различных соотношениях, лимонную кислоту в качестве комплексователя солей жесткости и гидроксид калия для регулирования pH среды.

Жидкие СМС должны иметь достаточно высокую вязкость, которая для потребителя ассоциируется с более концентрированным составом и улучшенной моющей способностью по сравнению с традиционными порошкообразными средствами [5]. При изучении реологических свойств разработанных жидких моющих

композиций было установлено, что они являются жидкообразными системами, имеющими предел текучести 2.3–2.5 Па. Наибольшей вязкостью 0.251 Па·с при pH 10.5 обладает композиция трех НПАВ, взятых в массовом соотношении 66:17:17.

При разработке современных составов моющих средств, используемых в автоматических стиральных машинах барабанного типа, следует контролировать пенообразующую способность таких средств. Пенообразующие характеристики разработанных моющих растворов НПАВ и их смесей в жесткой воде оценивали по методу Росса–Майлса (рис. 4). Устойчивость и высота пенного столба оказалась наибольшей в системе ПАВ алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт, 75:25.

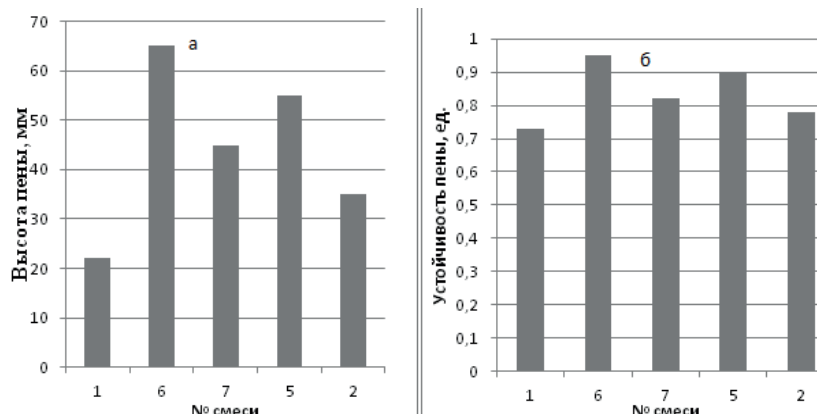


Рис. 4. Пенообразующая способность растворов бинарных смесей ПАВ: а) высота столба пены (H_s); б) устойчивость пены (H_s/H_0).

Рабочие растворы с различным составом ПАВ были протестированы на моющую способность. На рис. 5 приведены данные по влиянию различных количеств ПАВ на эффективность удаления масляных загрязнений со стандартно загрязненной ткани ЕМРА 118 (pH моющих композиций 10.5).

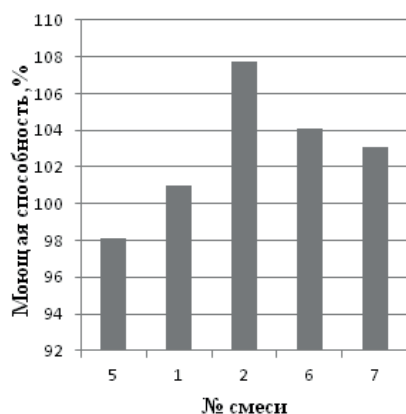


Рис. 5. Зависимость моющей способности композиций от соотношения НПАВ.

Более эффективно удаляет масляные загрязнения раствор оксиэтилированного спирта, что, вероятно,

связано с высокой смачивающей и эмульгирующей способностью растворов данного ПАВ. Ранее аналогичные данные получены при исследовании влияния состава смеси АПАВ и НПАВ на моющее действие стандартно-загрязненной ткани [8] и процесс очистки стальных поверхностей [9]. Однако приготовить жидкие моющие средства из индивидуального раствора оксиэтилированного спирта не представляется возможным, так как данная композиция расслаивается.

Изучение поверхностного поведения и мицеллообразования водных растворов индивидуальных НПАВ с различной природой гидрофильных групп и бинарных и тройных смесей НПАВ показало, что в композициях алкилглюкозида и оксиэтилированного спирта в присутствии оксида третичного амина происходит образование смешанных агрегатов, обеспечивающее синергетический эффект изменения коллоидно-химических свойств. Полученные данные позволили разработать оптимизированный состав жидкого СМС, содержащего смесь алкилглюкозид – оксиэтилированный спирт – оксид третичного амина в массовом соотношении 75:8:17, которое обладает высокой смачивающей, эмульгирующей, пенообразующей и моющей способностью.

Выводы

1. Введение в смесь алкилглюкозида и оксиэтилированного спирта оксида третичного амина приводит к снижению ККМ, повышению поверхностной активности, увеличению значений $\Gamma_{\max}$ в поверхностных слоях и уменьшению площади, занимаемой молекулами ПАВ в насыщенном адсорбционном слое (s_{mol}) масляных капель, по сравнению с индивидуальными ПАВ.

2. Образование смешанных агрегатов подтверждено методом динамического светорассеяния: в композициях, содержащих смеси трех НПАВ, увеличиваются размеры мицелл и возрастают числа агрегации.

3. Смеси НПАВ, имеющие различные гидрофильные группы, при всех взятых масс. соотношении

Список литературы:

1. Rosen M.J. Surfactants and interfacial phenomena, 3rd edition. New York: John Wiley, 2004. P. 397–405.
2. Холмберг К., Йенсон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / пер. с англ. Г.П. Ямпольской. М.: Бином. Лаб. знаний, 2007. 528 с.
3. Watson R.A. Laundry detergent formulations / In: Handbook of Detergents, Part D: Formulation / Ed. by M. Showell. Boca Raton: CRC Press / Taylor and Francis Group, 2006. P. 51–70.
4. Практикум по коллоидной химии / Под ред. В.Г. Куличихина. М.: Инфра-М, 2012. 283 с.
5. Smulders E. Laundry detergents. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Henkel, 2002. 395 p.
6. Garsia J.F., Herrera-Marques O., Vicaria J.M., Jurado E. Synergistic effect on wettability of mixtures of amine oxides, alkylpolyglucosides, and ethoxylated fatty alcohols // J. Surfact. Detergents. 2014. V. 17 (5). P. 1035–1042.
7. Babchin A.J., Schramm L.L. Osmotic repulsion force due to adsorbed surfactants // Colloids and Surfaces. 2012. № 91. P. 137–143.
8. Титорский И.А., Буканова Е.Ф., Филиппенков В.М., Симакова Г.А., Дулина О.А. Мицеллообразование и моющее действие смесей сульфэтоксилата и алкилбензолсульфоната натрия с оксиэтилированными спиртами и алкилфенолами // SOFW-Journal (Russian version). 2003. № 6. С. 44–48.
9. Буканова Е.Ф., Базаров Б.Д., Плетнев М.Ю. Влияние состава смесей ПАВ на удаление масляно-пигментных загрязнений // Хим. технология. 2013. Т. 14. № 7. С. 461–466.

Об авторах:

Буканова Евгения Федоровна, кандидат химических наук, доцент кафедры коллоидной химии Института тонких химических технологий ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

Филиппенков Вячеслав Михайлович, кандидат химических наук, генеральный директор Научно-исследовательского центра бытовой химии (115088, Россия, Москва, ул. Угрешская, 14).

Ревина Юлия Вячеславовна, магистр кафедры коллоидной химии Института тонких химических технологий ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

ях компонентов имеют низкие значения межфазного натяжения (от 1.2 до 0.88 мДж/м²) в системе раствор ПАВ – толуол, что способствует удалению масляного загрязнения с хлопчатобумажной ткани ЕМРА 118.

4. Сравнение эмульгирующей и солюбилизующей способности разработанных композиций показывает, что основным фактором стабилизации загрязнения является структурно-механический барьер, формирующийся на масляных каплях.

5. Синергизм смачивающей, стабилизирующей, пенообразующей и эмульгирующей способности смесей алкилглюкозида, оксиэтилированного спирта и оксида третичного амина, взятых в различных соотношениях компонентов, обеспечивает высокую степень удаления масляных загрязнений с поверхности ткани при значениях pH в интервале от 8.8 до 10.5.

References:

1. Rosen M.J. Surfactants and interfacial phenomena, 3rd edition. New York: John Wiley, 2004. P. 397–405.
2. Holmberg K., Jonsson B., Kronberg B., Lindman B. Surfactants and polymers in aqueous solutions / Transl. from the Engl. By G.P. Yampol'skaya. M.: Binom. by Laboratoriya znaniy, 2007. 528 p. (in Russ.).
3. Watson R.A. Laundry detergent formulations / In: Handbook of Detergents, Part D: Formulation / Ed. by M. Showell. Boca Raton: CRC Press / Taylor and Francis Group, 2006. P. 51–70.
4. Workshop on colloid chemistry / Ed. by V.G. Kulichihin. M.: Infra-M, 2012. 283 p. (in Russ.).
5. Smulders E. Laundry detergents. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Henkel, 2002. 395 p.
6. Garsia J.F., Herrera-Marques O., Vicaria J.M., Jurado E. Synergistic effect on wettability of mixtures of amine oxides, alkylpolyglucosides, and ethoxylated fatty alcohols // J. Surfact. Detergents. 2014. V. 17 (5). P. 1035–1042.
7. Babchin A.J., Schramm L.L. Osmotic repulsion force due to adsorbed surfactants // Colloids and Surfaces. 2012. № 91. P. 137–143.
8. Tutorskiy I.A., Bukanova E.F., Filippenkov V.M., Simakova G.A., Dulina O.A. Micelle formation and detergency of mixtures of sulphoethoxylates and alkyl benzene sulphonate sodium oxyethylated alcohols and alkyl // SOFW-Journal (Russian version). 2003. № 6. P. 44–48. (in Russ.).
9. Bukanova E.F., Bazarov B.D., Pletnev M.Yu. The effect of composition of mixtures of surfactants on the removal of oil-pigment pollution // Khimicheskaya tekhnologiya (Chemical Technology). 2013. V. 14. № 7. P. 461–466. (in Russ.).