

О.А. ПАРАСКА, С.А. КАРВАН, Т.С. РАК

Хмельницький національний університет

О.Р. МОКРОУСОВА

Київський національний торговельно-економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛОЇДНО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМІШЕЙ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Метою проведених експериментів є оцінка поведінки бінарних сумішей поверхнево-активних речовин вітчизняного та закордонного виробництва LAS 80 / омеро 16, LAS 80 / твін 80 у водному розчині, виявлення синергетичних та антагоністичних ефектів у цих сумішах. Запропоновано оптимальні співвідношення компонентів для текстильно-допоміжних речовин і підвищення ефективності технологічних процесів.

В роботі проведено дослідження міцелоутворення у сумішах аніонактивної і неіоногенних поверхнево-активних речовин, дано оцінку та аналіз міжмолекулярної взаємодії в розчинах поверхнево-активних речовин із застосуванням теорії регулярних розчинів і моделі псевдофазового розділення.

В результаті аналізу отриманих експериментальних даних критичної концентрації міцелоутворення та її розрахункових значень доведено синергізм, тобто негативне відхилення від ідеальної поведінки, в розчинах суміші поверхнево-активних речовин при мольній концентрації аніонактивної речовини більше 20 % в суміші з неіоногенними речовинами.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, бінарна суміш, теорія регулярних розчинів, міцелоутворення, ККМ, синергетичний ефект.

O.A. PARASKA, S.A. KARVAN, T.S. RAK

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

O.R. MOKROUSOVA

Kyiv National Trade and Economic University

THE RESEARCH OF THE COLLOIDAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE MIXTURES OF SURFACTANTS

Abstract – The aim of the research is the assessment of behaviour of the binary mixtures of the surface-active substances which are produced in Ukraine and Taiwan LAS 80 / Omero 16, LAS 80 / Tween 80, the detection of the synergetic and antagonistic effects in these mixtures. The optimal relations of the components for the textile chemicals and effective technological processes have been proposed.

The process of the formation of micelles in a mixtures of anionic and nonionic surfactants has been studied, the assessment and the analysis of intermolecular interaction in solutions of surfactants with application of the theory of the regular solutions and model of the pseudophase division has been carried out.

A synergism in the solutions of surfactants at the molar concentration of anionic surfactant more than 20 % in the mixtures with nonionic surfactants has been proved on the basis of the analysis of the obtained experimental data of the critical concentration of micelleformation, which indicates a negative deviation from ideal behaviour of the solutions.

Keywords: surfactants, binary mixture, theory of the regular solutions, micelleformation, CMC, synergetic effect.

Вступ

Розробка нових ефективних синтетичних мийних засобів (СМЗ), текстильно-допоміжних речовин (ТДР) та формування їх асортименту сьогодні є одним з найважливіших напрямків наукових розробок в області технологічних процесів опорядження текстильних виробів. Найбільш поширеними на сьогоднішній день є суміші поверхнево-активних речовин (ПАР), які мають комплексну дію, оскільки їх застосування дозволяє поєднувати функції різних ПАР і, таким чином, використовувати їх в різних технологічних процесах.

Для регулювання процесів, які відбуваються на межі розділу двох фаз, зазвичай використовують суміші ПАР, які мають різну поверхневу активність. Вивчення поверхневих явищ і властивостей бінарних сумішей ПАР є актуальним з метою теоретичного обґрунтування їх подальшого використання, а також і в прикладному аспекті, оскільки дозволяє цілеспрямовано підбирати та комбінувати ПАР у сумішах, що знижують міжфазову поверхневу енергію, яка головним чином визначає ефективність практичного використання сумішей різнотипних ПАР у багатьох технологічних процесах (наприклад, опорядження та фарбування текстильних матеріалів, стабілізації дисперсних систем, водоочищення, тощо) [1]. Зміна властивостей суміші ПАР досить непередбачувана, змішані системи можуть характеризуватися суттєво нижчою або вищою поверхневою активністю порівняно з індивідуальними компонентами, при цьому антагонізм або синергізм у сумішах ПАР буде визначатися значенням параметра взаємодії для змішаних міцел [1–4].

Більшість рецептур композицій ТДР є складними сумішами, до складу яких входять дві та більше ПАР. Ефективність їх використання залежить від впливу багатьох факторів, враховуючи властивості композицій ТДР (наприклад, однорідність, в'язкість, прозорість). Компоненти суміші, а особливо ПАР, взаємодіють один з одним, впливаючи на її характеристики, що проявляється в підвищеній поверхневій активності, змочуванні, утворенні піни, мийній здатності та інших специфічних властивостей, тому в основному ПАР застосовуються не як індивідуальні продукти, а в композиціях. Це пояснюється також низькою причин економічного і технологічного характеру. Зокрема, дефіцитні, дорогі ПАР можна частково

замінити більш дешевими композиціями, а додавання до ПАР мінеральних і органічних продуктів посилює їх ефективність дії [5].

Постановка завдання дослідження

Здатність ПАР при адсорбції на поверхні поділу фаз радикально змінювати її властивості, впливати на важливі властивості дисперсних систем широко використовується в різних областях техніки і технологічних процесах. Залежно від хімічної природи, будови граничних фаз і молекул ПАР, від умов їх застосування, цей вплив різний.

Адсорбуючись на межі поділу фаз і утворюючи агрегати – міцели, ПАР відіграють важливу роль в диспергуванні і розчиненні забруднень, в піноутворенні і мийному процесі, при модифікації і функціоналізації текстильних матеріалів. Для того, щоб розуміти і передбачити їх дію, важливо знати основні залежності між структурою і властивостями розчинів ПАР, прогнозувати напрямок зміни властивостей в складних багатокомпонентних сумішах.

Молекули всіх ПАР є дифільними, тобто, складаються з двох частин, які різко розрізняються за характером взаємодії з водою – неполярного гідрофобного радикалу і полярної гідрофільної групи. Розчинення ПАР у воді відбувається головним чином за рахунок взаємодії молекул їх полярних груп з водою. Енергія взаємодії неполярних ділянок молекул ПАР з водою невелика, і значно менше енергії вандервальсового притягування вуглеводневих радикалів один до одного. Під впливом гідрофобної взаємодії ці радикали виключаються із структури рідкої води, тоді як гідрофільні групи, утворюючи з молекулами води систему іон-дипольних або водневих зв'язків, істотно впливають на структуру водного розчину. При достатній довжині неполярних радикалів або полярної і неполярної складових частин молекул ПАР обидва ефекти відбуваються в основному незалежно. Для застосування ПАР у певних технологічних процесах, наприклад, в якості ефективних емульгаторів, піноутворювальників, мийних агентів, необхідно існування в молекулі ПАР визначеного балансу між полярними і неполярними групами.

В звичайних умовах характерні властивості ПАР – мийна і емульгувальна дія – проявляються при довжині вуглеводневого радикалу не менше, ніж від 8 до 10 карбонових атомів. Технічні ПАР складаються, як правило, з гідрофобних радикалів, що містять від 14 до 20 карбонових атомів в основному вуглеводневою ланцюгові.

Синергізм в сумішах ПАР проявляється в покращенні властивостей суміші порівняно з властивостями індивідуальних ПАР. Наприклад, при одержанні емульсії суміш двох ПАР, які використовуються як емульгатори, утворює більш стабільну емульсію, ніж емульсії, отримані на індивідуальних ПАР. Інший приклад – мийні засоби, для виробництва яких застосовуються суміші ПАР різних класів, в основному, аніонних (АПАР) і неіоногенних (НПАР) ПАР. В даному випадку неіоногенна ПАР запобігає осадженню аніонного, чутливого до кальцію в жорсткій воді. Мийні властивості таких препаратів значно вищі, ніж у композиціях, що містять лише аніонні або тільки неіоногенні ПАР. Антагонізм сумішей ПАР знижує будь-які поверхнево-активні властивості суміші внаслідок взаємодії ПАР. Очевидно, що ККМ такої системи має вище значення, ніж розраховане для ідеальної суміші, а параметр взаємодії, розрахований за теорією регулярних розчинів, має позитивне значення [1, 6, 7].

Водні розчини міцел часто використовують для солюбілізації розчинних речовин. Вони можуть взаємодіяти з гідрофобними частинами молекули в ядрі міцел, електростатично з полярними частинами молекули, або одночасно за двома механізмами. Розчинність погано розчинних сполук може бути в значній мірі покращена за рахунок використання розчинів міцел, оскільки міцели ПАР в свою чергу є ефективними гідротропами. Агрегація ПАР виникає і в неполярних органічних розчинниках. В даному випадку утворюються зворотні міцели з вуглеводневими хвостами, орієнтованими в об'єм розчинника, і гідрофобними головами, орієнтованими всередину. Такі зворотні міцели також використовують для солюбілізації полярних речовин в неполярних розчинниках. Встановлено, що ефективність солюбілізації знижується при змішуванні аніонних і неіоногенних ПАР. Ступінь ефективності солюбілізації залежить від утвореної змішаної міцели і природи речовини, що розчиняється [8].

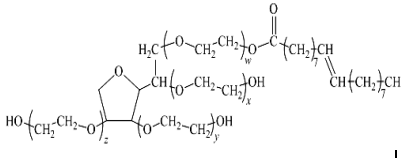
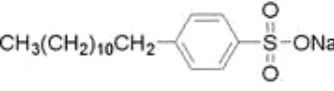
Тому дослідження, спрямоване на виявлення синергетичних та антагоністичних ефектів при визначенні колоїдно-хімічних характеристик в бінарних сумішах ПАР з метою практичного застосування суміші в технологічних процесах обробки текстильних виробів є доцільним та актуальним.

Об'єкти та методи дослідження

Для досліджень було обрано технічні ПАР та їх суміші вітчизняного і закордонного виробництва, які характеризуються високими колоїдно-хімічними властивостями та ефективністю дії: LAS 80, твін 80, омеро 16. Досліджувані ПАР є екологічно безпечними та мають високий ступінь біорозкладу. Характеристики досліджуваних ПАР наведено в таблиці 1:

Визначення розрахункових та експериментальних ККМ сумішей ПАР LAS 80 / омеро 16 та LAS 80 / твін 80 у водному розчині здійснювали на основі вимірювань поверхневого натягу на межі розчин – повітря (σ) за методом Ребіндера [9] при різних співвідношеннях компонентів у мольних частках (W, %) та при різних температурах 20, 25 і 30°C.

Характеристика досліджуваних ПАР

ПАР	Формула	Склад	Виробник
Омеро 16	$C_{17}H_{33}-CCO-(CH_2CH_2O)_{16}-H$, $C_{21}H_{41}-CCO-(CH_2CH_2O)_{16}-H$	Оксиетильовані метилові естери вищих жирних кислот ріпакової олії ($R=C_{17}-C_{21}$) із ступенем оксиетильовання $m=16$	ТОВ "Барва", м. Івано-Франківськ, Україна ТУ У24.6-33781676-016:2008
Твін 80		Водорозчинні неіоногенні ПАР (кількість оксиетиленових груп – 20, $M = 1310$ г/моль)	ТОВ "Барва", м. Івано-Франківськ, Україна ТУ У 6–14–938–79
LAS 80		Синтетична аніонна ПАР, суміш натрієвих солей алкілбензолсульфофосфатів з алкільними замісниками ($R = C_{10}-C_{14}$)	Тайвань

Для оцінки і аналізу процесу міжмолекулярної взаємодії в розчинах ПАР застосовували теорію регулярних розчинів і модель псевдофазного розділення, згідно якої визначали мольний склад міцел X_1^m (мольну частку 1 компоненту АПАР – LAS 80 в суміші з другим компонентом – НПАР (омеро 16, твін 80)), параметр взаємодії в змішаних міцелах β^m [10-12]. Для визначення ККМ при ідеальній поведінці суміші ПАР застосовували численний метод розрахунків за допомогою програми Maple 14.

Результати досліджень та їх обговорення

В водних розчинах колоїдних ПАР при дуже низьких концентраціях, які відповідають ККМ, утворюються сферичні міцели, які складаються від 20 до 100 молекул ПАР і характеризуються вузьким розподіленням частинок за розмірами. При збільшенні концентрації ПАР відбувається перехід міцел від однієї форми до іншої при відповідній критичній концентрації, що представлено на рис. 1 [13].

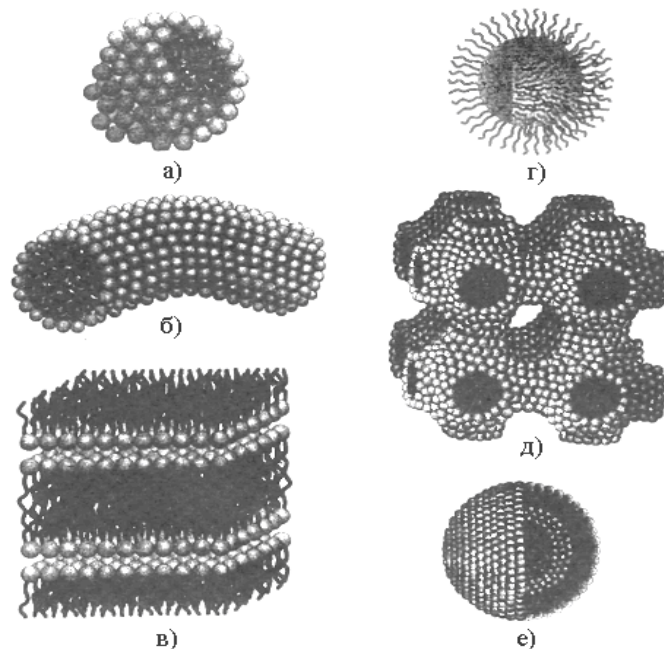


Рис.1. Структури міцел: а) сферичні міцели; б) циліндричні міцели; в) бішари ПАР; г) зворотні міцели; д) біконтинуальна структура; е) везикули

Дослідження процесу міцелоутворення в розчинах індивідуальних ПАР і їх сумішах свідчить про те, що ККМ аніонної ПАР (LAS 80) зростає з підвищенням температури, а ККМ неіоногенних ПАР (омеро 16, твін 80) – зменшується. При цьому значення ККМ сумішей АПАР з НПАР лежать в межах значень ККМ індивідуальних ПАР і зменшуються при підвищенні температури внаслідок утворення змішаних міцел, які будуть складатися з молекул ПАР. Результати дослідження представлено в таблиці 2.

Для бінарних сумішей іоногенних ПАР з неіоногенними характерні явно виражені ефекти міжмолекулярної взаємодії, які супроводжуються утворенням міжмолекулярних агрегатів, комплексів різної

природи. Механізм взаємодії і природа міжмолекулярних асоціатів залежить від природи ПАР і від їх співвідношення у розчині. В результаті взаємодії між молекулами ПАР утворюються змішані міцели, в яких вміст молекул ПАР різної природи залежить від їх взаємодії в розчині. В сумішах НПАР з іоногенними можливий прояв тільки гідрофобної взаємодії між гідрогенкарбонними ланцюгами і водневих зв'язків між оксигідрогенними групами.

Якщо порівняти ККМ суміші досліджених ПАР з ККМ ідеальної змішаної міцели, то можна зробити висновок, що експериментально визначені ККМ сумішей ПАР менші за розраховані значення ККМ, тобто спостерігається негативне відхилення від ідеальної поведінки в розчинах. На рис. 2 представлено залежності розрахункових та експериментальних ККМ від мольних часток компонентів сумішей LAS 80 / омеро 16, LAS 80 / твін 80 при температурі 20 °С.

Таблиця 2

ККМ індивідуальних ПАР та їх сумішей

Мольний вміст LAS 80 у суміші з омеро-16	Температура, °С		
	20	25	30
0	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
20	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
33,33	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
50	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
66,67	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
80	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
100	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Мольний вміст LAS 80 у суміші з твін 80	Температура, °С		
	20	25	30
0	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$
20	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$
33,33	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,65 \cdot 10^{-4}$
50	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$
66,67	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
80	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
100	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$

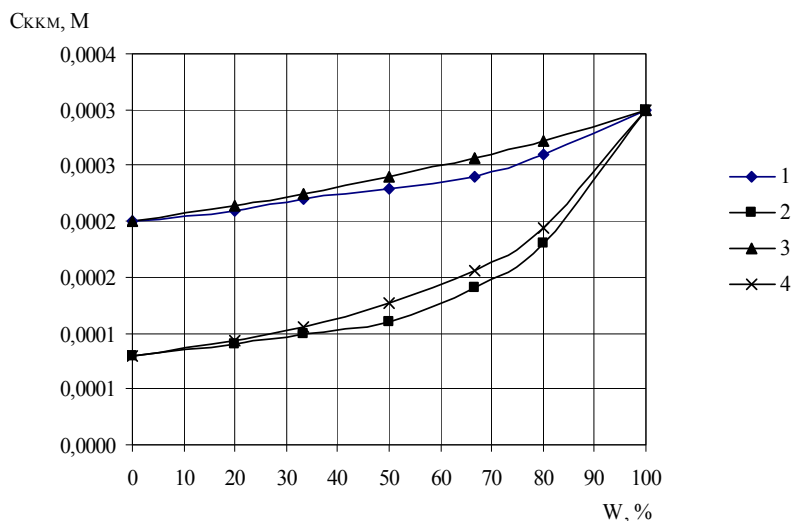


Рис. 2. Залежність експериментальних (1,2) і розрахункових (4,5) значень ККМ від мольної частки W LAS 80 в суміші з омеро 16 (1,3) і твін 80 (2,4)

Аналіз графіків на рис. 2 свідчить про те, що суміші НПАР з АПАР при міцелоутворенні і адсорбції на міжфазній поверхні розчин / повітря ведуть себе неідеально і їх значення відхиляються від адитивних. При цьому в розчинах сумішей ПАР спостерігаються синергетичні ефекти в діапазоні співвідношень вмісту АПАР з НПАР від 20 до 80 %.

При розрахунку параметрів взаємодії β^m і складу змішаних міцел X_1^m в сумішах LAS 80 / омеро 16, LAS 80 / твін 80 застосовували теорію регулярних розчинів і модель псевдофазного розділення. Одержані значення наведено в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Розрахунок параметрів взаємодії і складу змішаних міцел LAS 80 – омеро 16

$W_1, \%$	20	33,33	50	66,67	80
20 °C					
C_{12}, M	0,00021	0,00022	0,00023	0,00024	0,00026
X_1^m	0,157	0,261	0,408	0,563	0,707
β^m	-0,159	-0,118	-0,176	-0,281	-0,236
C^*, M	0,000214	0,000225	0,00024	0,000257	0,000273
25 °C					
C_{12}, M	0,00017	0,00018	0,00021	0,00024	0,00026
X_1^m	0,139	0,224	0,317	0,454	0,586
β^m	-0,664	-0,669	-0,402	-0,426	-0,701
C^*, M	0,000182	0,0002	0,000229	0,000267	0,000308
30 °C					
C_{12}, M	0,00013	0,00015	0,00018	0,00024	0,00029
X_1^m	0,118	0,151	0,224	0,312	0,457
β^m	-1,284	-0,823	-0,669	-0,329	-0,562
C^*, M	0,000143	0,000164	0,0002	0,000257	0,000333

Таблиця 4

Розрахунок параметрів взаємодії і складу змішаних міцел LAS 80 – твін 80

$W_1, \%$	20	33,33	50	66,67	80
20 °C					
C_{12}, M	0,00009	0,0001	0,00011	0,00014	0,00018
X_1^m	0,095	0,157	0,273	0,376	0,514
β^m	-0,566	-0,483	-0,752	-0,483	-0,291
C^*, M	0,0000938	0,000106	0,000126	0,000157	0,000194
25 °C					
C_{12}, M	0,00007	0,00008	0,0001	0,00012	0,00016
X_1^m	0,064	0,105	0,159	0,290	0,405
β^m	-0,689	-0,572	-0,343	-0,741	-0,666
C^*, M	0,000072	0,000083	0,000104	0,000138	0,000188
30 °C					
C_{12}, M	0,00006	0,000065	0,00008	0,0001	0,00016
X_1^m	0,039	0,116	0,169	0,260	0,310
β^m	-0,721	-1,491	-1,344	-1,551	-0,784
C^*, M	0,000061	0,000072	0,000092	0,000129	0,000188

В розчинах сумішей АПАР LAS 80 з НПАР при міцелоутворенні утворюються асоціати, які збагачені молекулами НПАР, а негативні значення параметра взаємодії вказує на прояв синергетичного ефекту в сумішах досліджуваних ПАР, хоча синергізм при цьому виражений не сильно, оскільки $\beta > -1$. При збільшенні мольного вмісту LAS 80 від 20% до 80% в змішаних міцелах спостерігається значна зміна їх складу.

Таким чином, на синергізм у сумішах ПАР впливає невелика різниця між ККМ індивідуальних ПАР, а також можливість утворення міцел оптимального складу.

Отже, проведені дослідження і розрахунки за моделлю псевдофазного розділення довели синергетичний ефект в сумішах ПАР різної природи, що виражається в зниженні ККМ і поверхневого натягу розчинів порівняно з відповідними значеннями індивідуальних ПАР. Поведінка сумішей ПАР визначається поведінкою більш сильної ПАР (НПАР), яка витісняє менш поверхнево-активний компонент суміші з міцел і адсорбційних шарів.

Висновки

Проведені дослідження показали, що ефективність дії суміші ПАР в даному випадку визначається поведінкою більш сильної НПАР, при цьому синергетичний ефект сумішей ПАР проявляється вже при мольній частці LAS 80 більше 20%, що виражається в зниженні значень ККМ і поверхневого натягу розчину порівняно з відповідними значеннями індивідуальних ПАР. Таким чином, одержані результати досліджень дозволяють обирати якісний та кількісний склад СМЗ, ТДР для конкретного технологічного процесу, зменшувати використання ПАР закордонного виробництва LAS 80, більш ефективно застосовувати доступні вітчизняні ПАР омеро 16, твін 80, що в свою чергу сприятиме розвитку вітчизняної сировинної бази СМЗ, ТДР та зменшенню собівартості технологічних процесів обробки текстильних виробів в цілому.

Література

1. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К.Р. Ланге ; [пер. с англ. под ред. Л. П. Зайченко]. – СПб. : Профессия, 2004. – 240 с.
2. Закордонський В. Міжмолекулярна взаємодія в бінарних розчинах поверхнево-активних речовин / В. Закордонський, А. Сачко // Вісник Львівського університету. Серія хімічна. – 2011. – Вип. 52. – С. 293–301.
3. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства : [учеб. пособие для вузов] / Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. – Л. : Химия, 1988. – 200 с.
4. Матвейцова Д.С. Дослідження міцелюутворення в розчинах бінарної суміші поверхнево-активних речовин / Д.С. Матвейцова, С.А. Карван, О.А. Параска // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 2. – С. 78–82.
5. Шевердяев О.Н. Поверхностно-активные вещества. Свойства, технология, применение, экологические проблемы / О.Н. Шевердяев, П.С. Белов, А.М. Шкитов ; [под ред. П. С. Белова]. – М. : Изд-во ВЗПИ, 1992. – 171 с.
6. Fuangswasdi A. Mixtures of Anionic and Cationic Surfactants with Single and Twin Head Groups: Adsorption and Precipitation Studies / A. Fuangswasdi, A. Charoensaeng, D. A. Sabatini et al. // Journal of Surfactants and Detergents. – 2006. – Vol. 9, QTR. 1. – P. 21–28.
7. Pisarcik M. Critical Micelle Concentration, Ionisation Degree and Micellisation Energy of Cationic Dimeric (Gemini) Surfactants in Aqueous Solution and in Mixed Micelles with Anionic Surfactant / M. Pisarcik, F. Devinsky, I. Lacko // Acta Facultatis Pharmaceuticae Universitatis Comenianae. – 2003. – T. L. – P. 119–131.
8. Параска О. Визначення закономірностей процесу солюбілізації водними і неводними розчинами ПАВ / О. Параска, С. Карван // Prace kol naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim. – 2008/2009. – P. 169–176.
9. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / [Под ред. Ю. Г. Фролова, А. С. Гродского]. – М. : Химия, 1986. – 216 с.
10. Mixed Surfactant Systems / Ed. P. M. Holland and D. N. Rubingh // ACS Symposium Series. – American Chemical Society: Washington : DC. – 1992. – Vol. 501. – 491 p.
11. Rosen M.J. Surface Concentrations and Molecular Interactions in Binary Mixtures of Surfactants / M.J. Rosen, X.Y. Hua // J. Colloid Interface Sci. – 1982. – Vol. 86. – P. 164–172.
12. Rosen M.J. Molecular Interaction and Synergism in Binary Mixtures of Surfactants / M.J. Rosen // Phenomena in Mixed Surfactant Systems, ACS Symposium Series, ed. J. F. Scamehorn. – American Chemical Society : Washington : DC. – 1986. – Vol. 311. – P. 144–162.
13. Холмберг К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман ; [пер. с англ. под ред. Б.Д. Сумма]. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.

References

1. Lange K. R. Surface-Active Substances: Synthesis, Properties, Application, transl. from English by ed. L. P. Zaychenko, SPb, Profession, 2004. [in Russian]
2. Zakordonskii V., and Sachko A., "Intermolecular Interaction in Binary Solutions of Surfactants", The Herald of Lviv University, Chemistry, Issue 52, 2011 pp. 293–301. [in Ukrainian]
3. Abramzon A. A., Zaychenko L. P., and Faynhold S. I., Surface active substances. The synthesis, analysis, properties, Leningrad, Chemistry, 1988. [in Russian]
4. Matveitsova D. S., Karvan S. A., and Paraska O. A., "The research of the micelleformation in solutions of binary mixtures of the surfactants", The Herald of Khmelnytskyi National University, № 2, 2013 pp. 78–82. [in Ukrainian]
5. Sheverdyayev O. N., Belov P. S., and Shkitov A. M., Surface active substances. The properties, technology, application, ecological problems, ed. P. S. Belov, Moscow, Publ. VZPI, 1992. [in Russian]
6. Fuangswasdi A., Charoensaeng A., Sabatini D. A. et al., "Mixtures of Anionic and Cationic Surfactants with Single and Twin Head Groups: Adsorption and Precipitation Studies", Journal of Surfactants and Detergents, Vol. 9, QTR. 1, 2006 pp. 21–28.
7. Pisarcik M., Devinsky F., and Lacko I., "Critical Micelle Concentration, Ionisation Degree and Micellisation Energy of Cationic Dimeric (Gemini) Surfactants in Aqueous Solution and in Mixed Micelles with Anionic Surfactant", Acta Facultatis Pharmaceuticae Universitatis Comenianae, T. L, 2003 pp. 119–131.
8. Paraska O., and Karvan S., "The determination of the dependences of the process of solubilization by aqueous and non-aqueous solutions of surfactants", Prace kol naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2008/2009, pp. 169–176. [in Ukrainian]
9. Laboratory Works and Tasks on Colloidal Chemistry, ed. U. G. Frolov, A. S. Grodskii, Moscow, Chemistry, 1986. [in Russian]
10. Mixed Surfactant Systems, ed. P. M. Holland and D. N. Rubingh, ACS Symposium Series 501, American Chemical Society: Washington: DC, 1992.
11. Rosen M. J. and Hua X. Y., "Surface Concentrations and Molecular Interactions in Binary Mixtures of Surfactants", J. Colloid Interface Sci., Vol. 86., 1982 pp. 164 – 172.
12. Rosen M. J., "Molecular Interaction and Synergism in Binary Mixtures of Surfactants", in Phenomena in Mixed Surfactant Systems, ACS Symposium Series 311, ed. J. F. Scamehorn, American Chemical Society: Washington: DC, 1986.
13. Holmberg K., Jonsson Bo, and Kromberg B., Surfactants and Polymers in Aqueous Solution, transl. from English by ed. B. D. Summ, Moscow, BINOM, Laboratory of Knowledge, 2007. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 2.1.2014 р. Надрукована/Printed : 6.2.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. зав. кафедрою хімічної технології,
Хмельницький національний університет, І. А. Мандзюк