

Волювач О. В.

## АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ТВІНУ-40 І ГЕКСАДЕЦИЛСУЛЬФАТУ НАТРІЮ В ОБ'ЄМІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ І НА МЕЖІ З ПОВІТРЯМ

*Проаналізовано в рамках теорії регулярних розчинів міжмолекулярну взаємодію Твіну-40 і гексадецилсульфату натрію (ГДСН) в об'ємі водних розчинів і на межі поділу фаз розчин — повітря. Розраховано склад змішаних міцел і адсорбційних шарів, величини стандартних вільних енергій Гіббса міцелотворення й адсорбції поверхнево-активних речовин (ПАР) залежно від складу змішаного водного розчину ПАР. Проведений кількісний і термодинамічний аналіз дозволив підібрати оптимальне мольне співвідношення Твіну-40 і ГДСН у водному розчині — 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН), при якому суміш ПАР виявляє синергетичний ефект у процесах змішаного міцелотворення й адсорбції на межі поділу фаз розчин — повітря.*

**Ключові слова:** Твін-40, гексадецилсульфат натрію, бінарні суміші, міцелотворення, адсорбція, кількісний і термодинамічний аналіз.

### Вступ

Актуальність проведення кількісного і термодинамічного аналізу сумішей поверхнево-активних речовин (ПАР) у змішаних водних розчинах і на різних межах поділу фаз не викликає сумніву та продиктована необхідністю поглиблення теоретичних знань в галузі колоїдної хімії з одержання сумішей ПАР із контрольованими колоїдно-хімічними властивостями. Науково обґрунтовані експериментальні та розрахункові дані є важливими і в прикладному аспекті, оскільки дозволяють розширити асортимент синергетичних сумішей ПАР, які можуть бути використані при складанні нових рецептур синтетичних мийних засобів, косметичних препаратів, і у тих технологічних процесах, де значну роль відіграють їхні поліпшені колоїдно-хімічні властивості [1, 2].

Поведінка бінарних сумішей неіоногенних або іоногенних ПАР одного гомологічного ряду на різних межах поділу фаз є прогнозованою і при ідеальному змішуванні компонентів добре описується рівнянням Ланге [3]. Негативні відхилення від ідеальності, тобто синергізм (посилення дії компонентів суміші при проявленні певної колоїдно-хімічної властивості), характерні для катіонних і аніонних сумішей ПАР із сильною електростатичною взаємодією між компонентами [4-6]. В бінарних сумішах неіоногенних та іоногенних ПАР можуть спостерігатися як антагоністичні, так і

синергетичні ефекти у процесах змішаного міцелотворення й адсорбції на різних межах поділу фаз залежно від температури, присутності фонового електроліту, складу змішаного водного розчину, довжини вуглеводневого радикалу ПАР тощо. Аналізу взаємодії неіоногенних і катіонних ПАР у об'ємі змішаних водних розчинів і на межі поділу фаз розчин — повітря присвячена низка наукових робіт [4, 6-9].

На сьогоднішній день менш вивченими залишаються бінарні суміші довголанцюгових неіоногенних і аніонних ПАР із досить близькими значеннями критичної концентрації міцелотворення (ККМ).

Мета роботи — проведення в рамках теорії регулярних розчинів кількісного і термодинамічного аналізу міжмолекулярної взаємодії неіоногенної (Твін-40) і аніонної (гексадецилсульфат натрію — ГДСН) ПАР у об'ємі змішаних водних розчинів і на межі поділу фаз розчин – повітря для можливого встановлення оптимального мольного співвідношення компонентів у змішаному водному розчині (за відсутності у ньому фонового неорганічного електроліту), при якому ця суміш виявлятиме максимальний синергетичний ефект у процесах змішаного міцелотворення й адсорбції на межі поділу фаз розчин — повітря. Це відкриття межі технологічного застосування довголанцюгових ПАР у різних процесах при необхідній, але досить ефективній малій витраті

реагентів.

Важливою особливістю сумішей Твіну-40 з ГДСН є мала різниця в значеннях ККМ індивідуальних ПАР:  $KKM_2$  (ГДСН)/ $KKM_1$  (Твін-40) = 1,67.

### Матеріали і методи

Вибір в якості неіоногенної ПАР Твіну-40 (оксиетильований монопальмітат сорбітану,  $R = C_{15}H_{31}$ ) із середнім числом оксиетильних груп 20 обумовлений його доступністю, нетоксичністю (широко використовується у фармацевтичній та харчовій промисловостях [10, 11]). Вибір в якості аніонної ПАР гексадецилсульфату натрію (ГДСН,  $R = C_{16}H_{33}$ ) обумовлений, на відміну від додецилсульфату натрію, недостатньою вивченістю його колоїдно-хімічних властивостей [12, 13].

Розчини сумішей Твіну-40 з ГДСН різного складу з концентрацією  $2,5 \cdot 10^{-4}$  М були одержані змішуванням індивідуальних розчинів ПАР, приготовлених із препаратів фірми "Acros Organic" марки "ч.д.а." без додаткової очистки на дистильованій воді, і наступним їх розбавленням до концентрації  $5,0 \cdot 10^{-7}$  М. Для проведення кількісного та термодинамічного аналізів взаємодії ПАР вибірково обрано суміші Твіну-40 і ГДСН з мольним співвідношенням компонентів 0,1 (Твін-40) : 0,9 (ГДСН); 0,50 (Твін-40) : 0,5 (ГДСН) і 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН). В усіх подальших розрахунках за змінну мольну частку (n) ПАР у змішаному водному розчині було взято ПАР із більшою молекулярною масою, а саме: Твіну-40 ( $M_{\text{Твіну-40}} = 1275,6$  г/моль,  $M_{\text{ГДСН}} = 344,4$  г/моль). Так, наприклад, для одержання  $2,5 \cdot 10^{-4}$  М змішаного розчину Твіну-40 і ГДСН з мольною часткою у ньому n (Твін-40) = 0,1 було змішано при температурі  $t = 25$  °С 50 мл  $2,5 \cdot 10^{-4}$  М розчину Твіну-40, приготовленого шляхом розчинення відповідної наважки реагенту у вигляді маслянистої рідини у воді кімнатної температури, з 450 мл  $2,5 \cdot 10^{-4}$  М розчину ГДСН, приготовленого шляхом розчинення відповідної наважки реагенту у вигляді порошку у воді при температурі  $t = 70$  °С.

Попередні кінетичні дослідження показали, що рівноважні значення поверхневого натягу  $(0,005 - 2,5) \cdot 10^{-4}$  М водних розчинів бінарних сумішей Твіну-40 і ГДСН різного складу, визначені за методом Вільгельмі з точністю  $\pm 0,5$  мДж/м<sup>2</sup> при температурі  $T = 298$  К, встановлюються протягом трьох годин.

### Результати та їх обговорення

Проведені тензіометричні дослідження показали (рис. 1), що ізотерми поверхневого натягу водних розчинів індивідуальних Твіну-40 (крива 2 на рис. 1), ГДСН (крива 1, рис. 1) і бінарних сумішей Твін-40 — ГДСН є типовими для розчинів міцелотвірних ПАР, тобто зі зростанням концентрації ПАР поверхневий натяг спочатку знижується, а при досягненні ККМ практично залишається постійним.

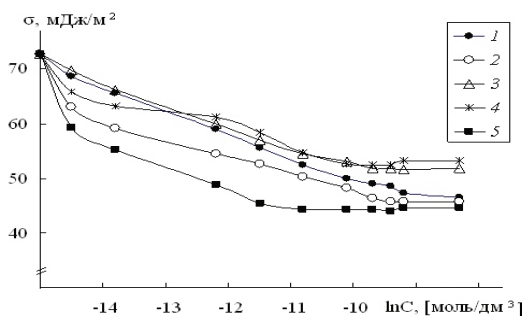


Рис. 1. Ізотерми поверхневого натягу водних розчинів індивідуальних (1 — ГДСН, 2 — Твіну-40) і бінарних сумішей Твін-40 — ГДСН з різною мольною часткою Твіну-40 (n) в змішаному розчині: 3 — 0,1; 4 — 0,5; 5 — 0,9

Значення ККМ індивідуальних ПАР і їхніх бінарних сумішей знайдено графічним шляхом за ізломом ізотерм поверхневого натягу розчинів ПАР у напівлогарифмічних координатах  $\sigma = f(\ln C)$  і представлено у табл. 1.

Установлено, що значення ККМ бінарних сумішей ПАР з мольною часткою Твіну-40  $n \geq 0,5$  виявляються нижчими за значення ККМ індивідуальних Твіну-40 і ГДСН. Бінарна суміш ПАР при мольному співвідношенні 0,1 (Твін-40) : 0,9 (ГДСН) теж виявляє синергізм за ККМ, але лише щодо індивідуального ГДСН.

Синергізм полягає в тому, що експериментальні значення ККМ зазначених сумішей ПАР досягаються при значеннях ККМ в 1,56—4,17 разів менших (табл. 1, рис. 2) за значення ККМ, розрахованих за рівнянням Ланге [3]:

$$\frac{1}{KKM_{\text{сум.}}} = \frac{n}{KKM_1} + \frac{(1-n)}{KKM_2}, \quad (1)$$

де  $KKM_1$ ,  $KKM_2$  і  $KKM_{\text{сум.}}$  — критичні концентрації міцелотворення індивідуальних Твіну-40, ГДСН і їхніх бінарних сумішей відповідно; n — мольна частка Твіну-40 у змішаному водному розчині.

Негативне відхилення експериментальної кривої 2: значень ККМ від розрахункової кривої 1: значень ККМ бінарних сумішей Твін-40

Таблиця 1. Параметри міцелоутворення Твіну-40 і ГДСН при фіксованій мольній частці (n) Твіну-40 у змішаному водному розчині

n, (Твін-40)	ККМ(експ.), моль/дм <sup>3</sup>	ККМ(рознр.) / ККМ(експ.)	x <sup>m</sup>	-β <sup>m</sup>	-ΔG <sup>0</sup> <sub>міц.</sub> , кДж / моль
0,0	10,0·10 <sup>-5</sup>	—	—	—	45,6
0,1	6,0·10 <sup>-5</sup>	1,56	0,32	2,46	48,1
0,5	4,0·10 <sup>-5</sup>	1,88	0,55	2,46	50,2
0,9	1,5·10 <sup>-5</sup>	4,17	0,63	7,52	55,0
1,0	6,0·10 <sup>-5</sup>	—	—	—	24,0

— ГДСН різного складу свідчить про наявність специфічних взаємодій між компонентами суміші, що призводить до неідеальної поведінки ПАР при утворенні в об'ємі водних розчинів змішаних міцел (рис. 2).

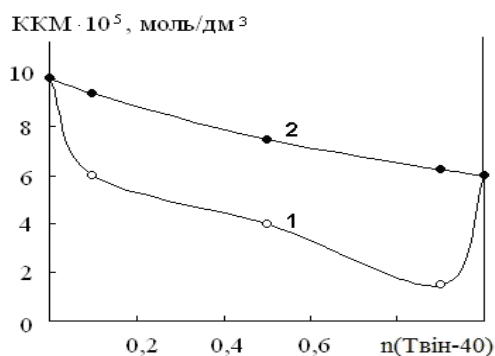


Рис. 2. Залежність значень ККМ бінарних сумішей Твін-40 — ГДСН від мольної частки Твіну-40 (n) у змішаному розчині: 1 — розрахункові, 2 — експериментальні значення ККМ

Розв'язання рівняння Рубіна [14]

$$\frac{(x^m)^2 \ln(nKKM_{\text{сум.}} / x^m KK M_1)}{(1-x^m)^2 \ln[(1-n)KKM_{\text{сум.}} / (1-x^m)KK M_2]} = 1 \quad (2)$$

дозволило розрахувати мольну частку Твіну-40 у змішаних міцелах (x<sup>m</sup>) і показати (табл. 1), що склад змішаних міцел суттєво залежить від мольного співвідношення компонентів у змішаному водному розчині. Зі збільшенням мольної частки Твіну-40 від 0,1 до 0,9 у змішаному розчині з ГДСН його мольна частка в змішаних міцелах зростає від 0,32 до 0,63.

Утворення в досліджуваних водних розчинах сумішей ПАР складу 0,5 (Твін-40) : 0,5 (ГДСН) і 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН) змішаних міцел із переважним вмістом у них неіоногенної ПАР може бути пояснено зміною в щільності упакування молекул (іонів) ПАР у міцелах з викривленою поверхнею. Цим фактором частково пояснюються відмінності залежності енер-

гетичних характеристик процесу змішаного міцелоутворення: параметра міжмолекулярної взаємодії ПАР у змішаних міцелах і стандартної вільної енергії Гіббса змішаного міцелоутворення ПАР від складу змішаного розчину ПАР (табл. 1).

Показано (табл. 1), що параметр міжмолекулярної взаємодії ПАР у змішаних міцелах (β<sup>m</sup>), розрахований за рівнянням [14]:

$$\beta^m = \frac{\ln(nKKM_{\text{сум.}} / x^m KK M_1)}{(1-x^m)^2} \quad (3)$$

є для усіх досліджуваних сумішей ПАР різного складу негативною величиною, тобто між Твіном-40 і ГДСН існує надлишкове притягання в змішаних міцелах.

На реалізацію електростатичного механізму взаємодії неіоногенної та аніонної ПАР у процесі їх змішаного міцелоутворення вказують відносно високі значення (за абсолютною величиною) параметра β<sup>m</sup>: від -2,46 до -7,52 (табл. 1). Механізм, близький до електростатичного, посилюється гідрофобними взаємодіями і утворенням водневих зв'язків.

Стандартну вільну енергію Гіббса міцелоутворення (ΔG<sup>0</sup><sub>міц.</sub>) бінарних сумішей Твін-40 і ГДСН оцінено за рівнянням:

$$\Delta G_{\text{міц.}}^0 = 2 \cdot RT \ln KK M_{\text{сум.}} \quad (4)$$

Розрахунок ΔG<sup>0</sup><sub>міц.</sub> для індивідуального Твіну-40 проведено без коефіцієнта 2, що враховує дисоціацію ПАР на іони [15].

Установлено, що процес змішаного міцелоутворення у водних розчинах бінарних сумішей Твін-40 - ГДСН різного складу є термодинамічно вигіднішим, ніж у випадку процесу міцелоутворення індивідуальних ПАР. Крім того, знайдено оптимальне мольне співвідношення компонентів 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН), при якому ця суміш виявляє максимальний синергетичний ефект у процесі змішаного міце-

лоутворення ( $-\beta^m = 7,52$ ;  $-\Delta G^0_{\text{міц.}} = 55,0$  кДж/моль).

Необхідно зазначити, що в міцелярній ділянці, а також в ділянці концентрацій ПАР, близькій до міцелярної, при еквімолярному співвідношенні компонентів у змішаному розчині, а також при великому вмісті у ньому аніонної ПАР, мабуть, утворюються міцели з дещо меншою здатністю до адсорбції, а тому бінарні суміші Твіну-40 і ГДСН з  $n(\text{Твін-40}) \leq 0,5$  виявляють антагонізм за поверхневим натягом. Інакше поводить себе бінарна суміш ПАР з мольною часткою Твіну-40, що дорівнює 0,9: в усьому досліджуваному діапазоні концентрацій ПАР ізотерма поверхневого натягу її водного розчину розташовується нижче ізотерм поверхневого натягу водних розчинів індивідуальних Твін-40, ГДСН (див. рис. 1). Тому кількісний аналіз взаємодії Твіну-40 і ГДСН на межі поділу фаз розчин - повітря з урахуванням додаткових умов синергізму [16] (хоча в ділянці розбавлених розчинів еквімолярна суміш Твін-40 — ГДСН і виявляє синергізм за поверхневим натягом, але додаткові умови синергізму не виконуються) доцільно було проводити лише для суміші ПАР з мольним співвідношенням компонентів 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН) (див. табл. 2).

В обраній ділянці поверхневого натягу (50,0 – 65,0 мДж/м<sup>2</sup>) знайдено, що молярні концентрації розчину суміші Твін-40 – ГДСН з  $n(\text{Твін-40}) = 0,9$ , необхідні для досягнення певної величини поверхневого натягу ( $\sigma$ ), є нижчими за молярну концентрацію ПАР, розраховану за рівнянням Ланге (для ідеального змішування компонентів) [3, 6]:

$$\frac{1}{C_{1,2}^\sigma} = \frac{n}{C_1^\sigma} + \frac{(1-n)}{C_2^\sigma}, \quad (5)$$

де  $n$  — мольна частка Твіну-40 в змішаному водному розчині;  $C_1^\sigma$  і  $C_2^\sigma$  — молярні концентрації індивідуальних Твіну-40 і ГДСН відповідно, необхідних для досягнення певної величини поверхневого натягу. Це свідчить про утворення на межі поділу фаз розчин — повітря змішаних адсорбційних шарів.

Розрахунок складу змішаних адсорбційних шарів ( $x^\sigma$ ) і параметра міжмолекулярної взаємодії ( $\beta^\sigma$ ) в них ПАР здійснено за формулами [16]:

$$\frac{(x^\sigma)^2 \ln(nC_{1,2}^\sigma / x^\sigma C^\sigma)}{(1-x^\sigma)^2 \ln[(1-n)C_{1,2}^\sigma / (1-x^\sigma)C_2^\sigma]} = 1 \quad (6)$$

$$\beta^\sigma = \frac{\ln(nC_{1,2}^\sigma / x^\sigma C^\sigma)}{(1-x^\sigma)^2}, \quad (7)$$

де  $x^\sigma$  — мольна частка Твіну-40 в змішаному адсорбційному шарі на межі поділу фаз розчин – повітря.

Із даних, представлених у табл. 2, видно, що при фіксованому мольному співвідношенні компонентів у змішаному розчині зі збільшенням поверхневого натягу від 50,0 до 65,0 мДж/м<sup>2</sup> поступово підвищується вміст більш поверхнево-активного Твіну-40 ( $x^\sigma$  зростає від 0,62 до 0,81) у змішаних адсорбційних шарах із ГДСН та зменшується за абсолютною величиною значення параметра міжмолекулярної взаємодії ПАР у змішаних адсорбційних шарах з 9,24 до 2,37. І це не дивно, бо загальна концентрація ПАР у досліджуваному діапазоні коливається у межах від  $\sim 4,0 \cdot 10^{-6}$  до  $4,0 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>. Беручи до уваги концентраційну ділянку, де відбувається максимальне накопи-

Таблиця 2. Значення мольної частки ( $x^\sigma$ ) Твіну-40 і параметра міжмолекулярної взаємодії компонентів ( $\beta^\sigma$ ) у змішаних адсорбційних шарах при вибраних значеннях поверхневого натягу ( $\sigma$ ) і мольному співвідношенні компонентів 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН)

$\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>	$C_1^\sigma$ (Твін-40)	$C_2^\sigma$ (ГДСН)	$C_{1,2}^\sigma$ (експ)	$C_{1,2}^\sigma$ (рознр.), рівняння (5)	$x^\sigma$	$-\beta^\sigma$
	моль/дм <sup>3</sup>					
65,0	$5,04 \cdot 10^{-7}$	$1,12 \cdot 10^{-6}$	$4,12 \cdot 10^{-7}$	$5,33 \cdot 10^{-7}$	0,81	2,37
62,5	$6,81 \cdot 10^{-7}$	$2,26 \cdot 10^{-6}$	$4,56 \cdot 10^{-7}$	$7,32 \cdot 10^{-7}$	0,77	4,35
60,0	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$3,73 \cdot 10^{-6}$	$5,57 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-6}$	0,72	5,05
57,5	$1,85 \cdot 10^{-6}$	$6,79 \cdot 10^{-6}$	$6,81 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-6}$	0,68	7,06
55,0	$3,73 \cdot 10^{-6}$	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$4,01 \cdot 10^{-6}$	0,65	7,98
52,5	$8,72 \cdot 10^{-6}$	$2,04 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-6}$	$9,25 \cdot 10^{-6}$	0,63	9,03
50,0	$2,04 \cdot 10^{-5}$	$4,54 \cdot 10^{-5}$	$3,73 \cdot 10^{-6}$	$2,16 \cdot 10^{-5}$	0,62	9,24

чення ПАР на межі поділу фаз розчин — повітря, слід зауважити, що значення параметра  $\beta^0$  (за абсолютною величиною) більше (9,03÷9,24) за значення параметра  $|\beta^m| = 7,52$  (див. табл. 1-2).

Механізм утворення як змішаних міцел, так і змішаних адсорбційних шарів на межі поділу фаз розчин — повітря складний і пов'язаний насамперед із дією електростатичних і гідрофобних сил. Відомо [17], що оксиетильні ланцюги неіоногенних ПАР є аналогами макроциклічних полієфірів (краунефірів), але, на відміну від них, мають незамкнуту лінійну структуру. Проте, маючи значну гнучкість, вони здатні зв'язувати в розчинах різні катіони. Так, обгортаючи катіони натрію, що з'являються у водному розчині в результаті дисоціації ГДСН, неіоногенна поверхнево-активна речовина Твін-40 перетворюється наче б то на асоційовану катіонну ПАР, яка здатна до електростатичної взаємодії з аніонною ПАР, а в даному випадку з гексадецилсульфат-аніоном — донором катіонів. Хоча позитивний заряд на колоїдних частинках неіоногенних ПАР не було зафіксовано [17] навіть дуже чутливими електрофоретичними і спектральними методами. Все ж таки аналогія в поведінці з катіонними ПАР полягає в тому, що в присутності електролітів, до складу яких входять катіони сильних основ, неіоногенні ПАР ідентифікувалися у водних розчинах іон-селективним електродом як катіонні ПАР. Мінімальна довжина оксиетильного ланцюга, необхідна для обгортання, наприклад, іона  $\text{Na}^+$ , дорівнює 5-6 ланкам [4]. А наявність у Твін-40 двох оксиетильних ланцюгів, підсумована довжина яких дорівнює 20, сприяє більшій його взаємодії з ГДСН, і відповідно, кожна молекула Твін-40 може взаємодіяти не з однією, а з двома молекулами (іонами) ГДСН. Така взаємодія зводиться як до утворення водного зв'язку між полярними групами, гідрофобної взаємодії між неполярними фрагментами ПАР, так і до утворення “комплексоподібних сполук” (іон металу – поліоксietiленовий ланцюг). Їхня стійкість невелика, але зростає у випадку утворення змішаних міцел і змішаних адсорбційних шарів за рахунок кооперативної асоціації гідрофобної і електростатичної взаємодії між полярними групами ПАР. На користь цього факту і свідчать розрахункові

дані їхніх енергетичних характеристик – параметрів міжмолекулярної взаємодії Твін-40 з ГДСН у змішаних міцелах і адсорбційних шарах на межі поділу фаз розчин – повітря.

Для розрахунку зміни стандартної вільної енергії Гіббса адсорбції індивідуальних ПАР і бінарних сумішей Твін-40 – ГДСН на межі поділу фаз розчин – повітря ( $\Delta G_{\text{адс.}}^0$ ) використано рівняння [18]:

$$\Delta G_{\text{адс.}}^0 = RT \ln \left( \frac{C}{\pi} \right), \quad (8)$$

де  $\pi = \Delta \sigma$  – поверхневий тиск адсорбційного шару, утвореного індивідуальною ПАР або сумішшю ПАР;  $C$  – концентрація індивідуального або змішаного водного розчину ПАР (стандартний стан:  $C_{\text{ПАР}} = 1 \text{ М}$ ,  $\pi = 1 \text{ мДж/м}^2$ ).

Встановлено, що тільки адсорбція суміші Твін-40 – ГДСН з  $n(\text{Твін-40}) = 0,9$  є термодинамічно вигіднішим процесом порівняно з процесом адсорбції ПАР із індивідуальних водних розчинів на межі поділу фаз розчин – повітря:

$\Delta G_{\text{адс.}}^0$ (Твін-40)	=	48,2	кДж/моль;
$\Delta G_{\text{адс.}}^0$ (ГДСН)	=	41,6	кДж/моль;
$\Delta G_{\text{адс.}}^0$ (Твін-40 — ГДСН)	=	55,7	кДж/моль.

## Висновки

Таким чином, проведений кількісний (розрахунок складу змішаних міцел і параметра міжмолекулярної взаємодії у них ПАР; розрахунок складу змішаних адсорбційних шарів і параметра міжмолекулярної взаємодії у них ПАР) і термодинамічний (розрахунок величин стандартних вільних енергій Гіббса змішаного міцелоутворення й адсорбції ПАР) аналіз взаємодії Твін-40 і ГДСН у об'ємі водних розчинів і на межі поділу фаз розчин — повітря залежно від складу змішаного розчину ПАР дозволив визначити мольне співвідношення компонентів 0,9 (Твін-40) : 0,1 (ГДСН), при якому вони діють синергетично у процесах змішаного міцелоутворення й адсорбції на межі з повітрям. Виявлені поліпшені колоїдно-хімічні властивості такої суміші ПАР відкривають перспективні можливості їхнього практичного застосування у різних технологічних процесах і можуть бути успішно використані при їх сумісному флотаційному вилученні із водних розчинів.

## Список літератури

1. Шварц А. Поверхностно-активные вещества (их химия и техническое применение) / А. Шварц А., Дж. Перри; [пер. с англ. И. А. Левина, Н. А. Плетневой, О. С. Соловьевой]. — М.: Инлитиздат, 1953. — 544 с.
2. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: Синтез, анализ, свойства, применение: учеб. пособие для вузов по спец. «Хим. технология орган. веществ» / А. А. Абрамзон, Л. П. Зайченко, С. И. Файнгольд; под ред. А. А. Абрамзона. — Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1988. — 199, [1] с.
3. Lange H. Zur Mizellbildung in Mischlösungen homologer und nichthomologer Tenside / H. Lange, K.-H Beck // Kolloid-Z. u. Z. Polymere. — 1973. — Bd. 251, № 5. — S. 424—431.
4. Плетнев М. Ю. Мицеллообразование и специфические взаимодействия в водных растворах смесей ПАВ / М. Ю. Плетнев // Успехи коллоидной химии. — Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1991. — С. 60—82.
5. Воловач О. В. Колоїдно-хімічні закономірності вилучення солей гексадецилпіридинію із водних розчинів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук: спец. 02.00.11 «Колоїдна хімія» / Воловач О. В. — К., 2006. — 135 с.
6. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах: [учебное изд.] / К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 528 с.
7. Иванова Н. И. О проявлении синергизма в бинарной смеси неионогенного и катионного поверхностно-активных веществ / Н. И. Иванова, И. Л. Волчкова, Е. Д. Щукин // Коллоидн. журн. — 1998. — Т. 58, № 2. — С. 188—192.
8. Харитоновна Т. В. Межмолекулярные взаимодействия в бинарных смесях катионного и неионогенного ПАВ / Т. В. Харитоновна, Н. И. Иванова, Б. Д. Сумм // Коллоидн. журн. — 2002. — Т. 64, № 5. — С. 685—696.
9. Воловач О. В. Адсорбція хлориду додецилпіридинію із розчинів, що містять Твіні (Твін-40, Твін-60) / О. В. Воловач, О. О. Стрельцова // Укр. хім. журн. — 2011. — Т. 77, № 3. — С. 21—25.
10. Шенфельд Н. Поверхностно-активные вещества на основе окиси этилена / [Под ред. Н. Н. Лебедева]. — М.: Химия, 1982. — 749 с.
11. Саввин С. Б. Поверхностно-активные вещества / С.Б. Саввин. — М.: Наука, 1991. — 250 с.
12. Гермашева И. И. Параметры точки Крафта: методы определения, влияние структуры ПАВ и растворителя, практическое применение // Успехи коллоидной химии / И.И. Гермашева. — Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1991. — С. 82—106.
13. Поверхностно-активные вещества: Справочник / Под ред. А. А. Абрамзона, Г. М. Гаевого. — Л.: Химия, 1979. — 376 с.
14. Rubingh D. N. Solution Chemistry of Surfactants / D. N. Rubingh [ed. by K. L. Mittal]. — N. Y. — L.: Plenum Press, 1979. — Vol. 1. — P. 337.
15. Русанов А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ / А.И. Русанов. — СПб.: Химия, 1992. — 280 с.
16. Rosen M. J. Phenomena in Mixed Surfactant Systems / M. J. Rosen [ed. by J. F. Scamehorn]. — Washington: Am. Chem. Soc., 1986. — 349 p.
17. Плетнев М. Ю. О природе взаимодействия в растворе смесей неионогенных и анионных поверхностно-активных веществ / М. Ю. Плетнев // Журн. коллоидн. химии. — 1987. — Т. 49. — С. 184—187.
18. Бабак Г. Поверхностные свойства и мицеллообразование в водных растворах гомологического ряда катионных поверхностно-активных мономеров / В. Г. Бабак, А. Н. Павлов, Т. Ф. Свитова и др. // Коллоидн. журн. — 1996. — Т. 58, № 1. — С. 5—12.

*O. Voliuvach*

## ANALYSIS OF INTERACTION OF TWEEN-40 AND SODIUM HEXADECYLSULFATE IN VOLUME OF THE AQUEOUS SOLUTIONS AND ON INTERFACE WITH AIR

*It is analysed within the framework of the theory of regular solutions intermolecular interaction of Tween-40 and sodium hexadecylsulfates (SHDS) in volume aqueous solutions and at the phase interface solution — air. The composition of mixed micelles and adsorption layers, values of standard of free energy Gibbs micellization and of standard of free energy Gibbs of adsorption of the surfactants from composition of the mixed solution of surfactants are calculated. The carried out quantitative and thermodynamic analysis has allowed to pick up optimum molar ratio of Tween-40 and SHDS in a aqueous solution — 0,9 (Tween-40) : 0,1 (SHDS) at which the mix of surfactant finds out synergetic effect in processes of mixed micellization and adsorption at the phase interface solution — air.*

**Key words:** Tween-40, sodium hexadecylsulfate (SHDS), binary mixed, micellization, adsorption, the quantitative and thermodynamic analysis.

*Матеріал надійшов 21.01.2013*