

Й. М. Шаповал<sup>1</sup>, І. П. Полюжин<sup>2</sup>, К. М. Бура<sup>1</sup>, Л. І. Полюжин<sup>2</sup>, Й. Й. Ятчишин<sup>2</sup>  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
<sup>1</sup>кафедра хімічної технології переробки пластмас,  
<sup>2</sup>кафедра аналітичної хімії

## МІЖМОЛЕКУЛЯРНІ ВЗАЄМОДІЇ ПОЛІАКРИЛАМІДУ ТА ЛАУРЕТСУЛЬФАТУ НАТРІЮ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

© Шаповал Й. М., Полюжин І. П., Бура К. М., Полюжин Л. І., Ятчишин Й. Й., 2016

Досліджено міжмолекулярні взаємодії у водних розчинах поліакриламід (ПАА) та лауретсульфату натрію (ЛСН), як аніонної поверхнево-активної речовини (ПАР). На основі вимірювання поверхневого натягу на межі "повітря-розчин", електропровідності та густини сумішей ПАА та ПАР підтверджено утворення асоціатів ПАР з макромолекулами ПАА. За ізотермою поверхневого натягу визначено величину критичної концентрації міцелотворення ПАР, яка знаходиться в межах цієї величини для аналогічних систем, які є відомими з літератури. Запропоновано узагальнюючу залежність електропровідності при температурі 290 К від концентрації ПАА при концентраціях ЛСН в межах від 0 до 4 мМ.

**Ключові слова:** міжмолекулярні взаємодії, поліакриламід, лауретсульфат натрію, поверхневий натяг, електропровідність, денситометрія.

Y. M. Shapoval, I. P. Polyuzhyn, K. M. Bura, L. I. Polyuzhyn, Y. Y. Yatchyshyn

## INTERMOLECULAR INTERACTIONS OF POLYACRYLAMIDE AND SODIUM LAURETH SULFATE IN WATER SOLUTIONS

© Shapoval Y. M., Polyuzhyn I. P., Bura K. M., Polyuzhyn L. I., Yatchyshyn Y. Y., 2016

Intermolecular interactions were studied in aqueous solutions of polyacrylamide (PAA) and sodium laureth sulfate (LSN) as anionic surfactant (SAC). Based on the measurement of surface tension at the interface "air-solution", of conductivity and density for mixtures of PAA and SAC formation of associates between PAA macromolecules and SAC was confirmed. From surface tension isotherm the value was determined for critical micelle concentration (CMC), which is within these values for similar systems that are known from the literature. A generalized dependence was obtained for the conductivity at 290 K on the concentration of PAA LSN at concentrations rang from 0 to 4 mM.

**Key words:** intermolecular interactions, polyacrylamide, sodium laureth sulfate, surface tension, electrical conductivity, densimetry.

**Постановка проблеми.** Дослідження міжмолекулярних взаємодій у водних розчинах полімерів в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР) є актуальними, оскільки їх результати використовуються для визначення технологічних параметрів у виробництві фарб, косметичних та фармацевтичних препаратів, водопідготовці [1], при створенні полімервмісних мастильно-охолоджувальних середовищ на водній основі [2, 3]. Вже в ранніх роботах були запропоновані структури, які утворюються внаслідок взаємодії між полімерними молекулами та ПАР, наприклад, для полівінілпіролідону та сульфовмісних барвників як ПАР [4], а також запропонована схема розрахунку кількості мономерних фрагментів полімерного ланцюга, на які припадає одна молекула аніонної ПАР. Результати досліджень та закономірності взаємодій у водних розчинах полімерів в присутності ПАР періодично були підсумовані в монографіях [1,5,6] та оглядах, наприклад, [7]. В узагальнюючій роботі [8] зосереджено увагу на особливостях дослідження поверхні розділу фаз та розглянуто приклади використання інструментальних методів, що ґрунтуються на явищах утворення піни, відбивавання нейтронів та рентгенівських променів, еліпсометрії, поверхневої

реології, радіоактивно мічених атомів, для дослідження поверхні розділу фаз разом з традиційним вимірюванням поверхневого натягу для дослідження взаємодій між полімером та ПАР. Оскільки виникає потреба у параметрах взаємодій для нових комбінацій “ПАР-полімер”, дослідження в цій галузі продовжуються, про що свідчать останні публікації. У роботі [3] на основі дослідження поверхневого натягу, змочувальної здатності та величин роботи адгезії на поверхнях металів для водних розчинів поліакриламід (ПАА), які містять лауретсульфат натрію (ЛСН) як ПАР, обгрунтовано склад технологічних мастильно-охолоджувальних рідин (МОТР). Результати дослідження міжмолекулярних взаємодій в системі водного розчину “ПАА-ЛСН” дозволять вибрати оптимальні співвідношення між полімером і ПАР з врахування їх взаємного впливу. Для вказаної системи “ПАА-ЛСН” дослідження міжмолекулярних взаємодій нами не знайдено серед опублікованих результатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідницька група (*Niranjan P.S.*) з Індії нещодавно опублікувала серію робіт стосовно взаємодії ПАА з ПАР різної природи та структури. В роботі [9] з метою порівняння поведінки двох різних ПАР відносно макромолекул ПАА методами вимірювання електропровідності та поверхневого натягу було вивчено взаємодію з такими аніоноактивними ПАР, як лаурилсульфат натрію та біс(1-додеценіл-сукцинамат) натрію (NaBDS) при температурі 308 К. На основі оцінювання поверхневих та термодинамічних параметрів показано, що ПАА краще взаємодіє з NaBDS.

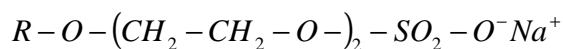
За допомогою вимірювань електропровідності та поверхневого натягу досліджено [10] в лужному середовищі утворення агрегатів двох катіонних ПАР: цетил триметиламоній бромід у водних розчинах ПАА з різними концентраціями. Визначено термодинамічні та поверхневі параметри системи і встановлено зниження критичної концентрації міцелоутворення (ККМ) для ПАР із зростанням вмісту полімеру. Вивчено [11] структурні ефекти двох катіонних ПАР на взаємодію ПАР-ПАА. Досліджено вплив структурних характеристик ПАР на міцелоутворення та на адсорбцію. Адсорбції полімеру в присутності ПАР сприяють такі фактори: 1) збільшення концентрації полімеру; 2) зростання кількості  $-\text{CH}_2-$  груп в органічних фрагментах катіонної ПАР; 3) зростання загальної гідрофобності катіона в ПАР.

Досліджено [12] молекулярні взаємодії в системі ПАР-ПАА-вода і встановлено, що ці взаємодії впливають на такі параметри системи, як вязкість, густина, поверхневий натяг, електропровідність та критична концентрація міцелоутворення. Показано, що в системі “ПАР-ПАА-вода” зростання концентрації поліакриламід до 0,02 % спричиняє конформаційні зміни в його макромолекулі. В роботі [13] вивчено вплив іонної сили на реологічну поведінку гідрофобно модифікованого ПАА у водних розчинах при додаванні додецилсульфату натрію та цетил-триметиламоній-пара-толуолсульфонату. Отже, аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно дослідження взаємодій між макромолекулами ПАА та різних ПАР у водних розчинах показує, що системи, до складу яких входить ПАА, вивчаються доволі інтенсивно внаслідок практичного застосування цього полімеру, для вивчення взаємодій застосовують здебільшого традиційні методи тензиметрії, кондуктометрії, віскозиметрії та денситометрії, а також нами не знайдено серед опублікованих результатів даних саме для системи “ПАА-ЛСН”.

**Мета роботи.** Дослідити взаємодії молекул аніонної ПАР лауретсульфату натрію з макромолекулами поліакриламід у водних розчинах на основі вимірювання поверхневого натягу, електропровідності та густини розчинів.

**Експериментальна частина. Об’єкти досліджень та обладнання.** Об’єктом дослідження були водні розчини ПАА та ПАР. У роботі використовували промисловий зразок ПАА молекулярної маси  $3 \cdot 10^5$  (ТУ 6 – 01 – 1049 – 92) у формі гелю з вмістом полімеру 8 % мас. У роботі [2] для оцінювання молекулярної маси даного промислового зразка ПАА були використані залежності характеристичної в’язкості  $[h]$  згідно з формулою Марка–Куна–Хувінка та визначено середньочислову  $\bar{M}_n = 1609863$  та середньомасову  $\bar{M}_z = 2577509$  молекулярні маси ПАА. Як аніоноактивну ПАР використовували промисловий продукт Сульфороканол L270/1A (виробник –

**PCC EXOL SA**, Польща, <http://www.pcc-exol.eu>). Цей продукт, деякі характеристики якого наведено в [3], містить як активну речовину лауретсульфат натрію (*Sodium laureth sulfate, Sodium lauryl ether sulfate*) близько 70 % мас. Лауретсульфат натрію (ЛСН) – це натрієва сіль сульфатованого оксиетильованого спирту  $C_{12}-C_{16}$ . Для продукту Сульфороканол L270/1A радикал спирту  $R = C_{12}H_{25}K C_{16}H_{33}$ , а  $n=2$  і загальна хімічна брутто формула лауретсульфату натрію буде:



Методом фотометрії полум'я (метан-повітря) за допомогою приладу ФПЛ-1, обладнаного інтерференційним світлофільтром для жовтої лінії натрію з смугою пропускання світла в межах довжин хвиль  $(589 \pm 5)$  нм за концентрацією натрію у водних розчинах відповідно до калібрувального діапазону 3–15 мг/дм<sup>3</sup> (розбавлення в 5 разів приблизно 0,1 % мас. розчину продукту Сульфороканол L270/1A) було визначено, що вміст активної речовини лауретсульфату натрію 66,64 % мас., що добре узгоджується з паспортними даними (68–72 % мас.), враховуючи допущення, прийняте для молярної маси (376 г/моль) в розрахунку на лауретсульфат натрію, який містить 12 атомів вуглецю в спиртовому фрагменті (за паспортом 384 г/моль).

Визначали густину при температурі 290 К з використанням об'єму розчинів 50 або 100 см<sup>3</sup>, який вимірювали бюреткою, і зважування проводили на електронних аналітичних вагах моделі XAS 220/C "Radwag" з дискретністю 0,1 мг (клас точності 2), калібрування яких перевіряли за еталонними різноважками. Відносна похибка визначення маси не перевищувала 0,02 %, а для вимірювання об'єму 0,2 %. Початкові розчини готували за масою речовини та розчинника. При розбавленнях об'єми розчинів вимірювали бюреткою з ціною поділки 0,1 см<sup>3</sup> та місткістю 50 см<sup>3</sup>, яку було попередньо калібровано за водою.

Питому електропровідність (мкСм/см) розчинів вимірювали за допомогою кондуктометра моделі MP 513 "Ulab" [14]. Кондуктометр калібрували за стандартними розчинами хлориду калію з відомою питомою електропровідністю. Для приготування розчинів використовували дистильовану воду з питомою електропровідністю в межах 1,5–3,5 мікроСіменс/см при температурі 290 К.

Оцінювали величину поверхневого натягу розчинів ПАА та ПАР у воді за класичним методом відриву кільця (методом Дю-Нуї) [15, с. 15], де вимірюють максимальне зусилля, яке є необхідним для відриву платинового кільця з відомими геометричними параметрами від поверхні рідини.

Математичну обробку даних виконували з використанням табличного процесора MS EXCEL, а оцифрування графічних літературних даних з метою порівняння з власними експериментальними результатами виконували з допомогою програми Grafula II-v1.9 ([http://home.comset.net/inaudit/files/gr2\\_190.zip](http://home.comset.net/inaudit/files/gr2_190.zip)).

**Результати експериментів та їх обговорення.** У роботі [12] показано, що на концентраційних залежностях густини для водних розчинів ПАА спостерігається мінімум при концентраціях  $7,8 \cdot 10^{-4}$  % мас. ( $0,995849$  г/см<sup>3</sup>) та  $4,6 \cdot 10^{-3}$  % мас. ( $0,989918$  г/см<sup>3</sup>) для температур 303 К та 318 К, відповідно. Однак, слід зауважити, що густина води  $0,995650$  г/см<sup>3</sup> та  $0,990097$  г/см<sup>3</sup> при обох температурах з довідникових даних є меншою за густину розчину у перших експериментальних точках роботи [12]:  $0,995899$  г/см<sup>3</sup> при  $1,7 \cdot 10^{-4}$  % мас. та  $0,990360$  г/см<sup>3</sup> при  $8,7 \cdot 10^{-5}$  % мас. Отже, крім вказаного мінімуму ймовірно існує ще й максимум при переході від розчинника (води) до розчину ПАА, про який автор роботи [12] не згадує. Наше дослідження є продовженням робіт [2,3], які стосувалися розроблення водних полімервмісних МОТР, де концентрація полімерів була не нижчою за 0,05 % мас., тому в цій роботі ми не досліджували ділянку низьких концентрацій ПАА в діапазоні від до 0,0001 до 0,03 % мас., яка є цікавою згідно з роботою [12] і може бути предметом окремого вивчення. В дослідженому нами діапазоні концентрацій до приблизно 0,1 % мас. густина водного розчину ПАА лінійно зменшується, що видно з концентраційної залежності за температури 290 К, яку наведено на рис. 1 (А). Для порівняння на рис.1 (Б) поруч з нашими експериментальними результатами за температури 290 К приведено оцифровані дані з роботи [12] за температур 303 К та 318 К, з яких видно, що після особливої точки мінімуму в ділянці малих

концентрацій густина розчинів ПАА на відміну від наших даних повільно зростає з швидкістю у 2–3 рази меншою, ніж спостерігається зменшення густини згідно з нашими даними. У роботі [12] для системи “ПАА-вода” розглядається існування лінійної форми молекул ПАА до концентрації 0,005 % мас., вище якої макромолекули ПАА набувають спіралеподібної форми, а далі при конценстраціях понад 0,02 % мас. знову відбувається перехід до лінійних форм і, при цьому, також залишається ще частина макромолекул у формі спіралей. Таким чином, досліджений в даній роботі концентраційний діапазон для ПАА відповідає третій ділянці, описаній в роботі [12].

У роботі [12] не наведено даних щодо деситометрії в системах “ПАА-ПАР-вода” та “ПАР-вода”. На рис. 2 дано концентраційні залежності густини для водних розчинів ЛСН, а також для системи “ПАА-ЛСН-вода”, де концентрація ПАА є постійною і становить 0,039 % мас.

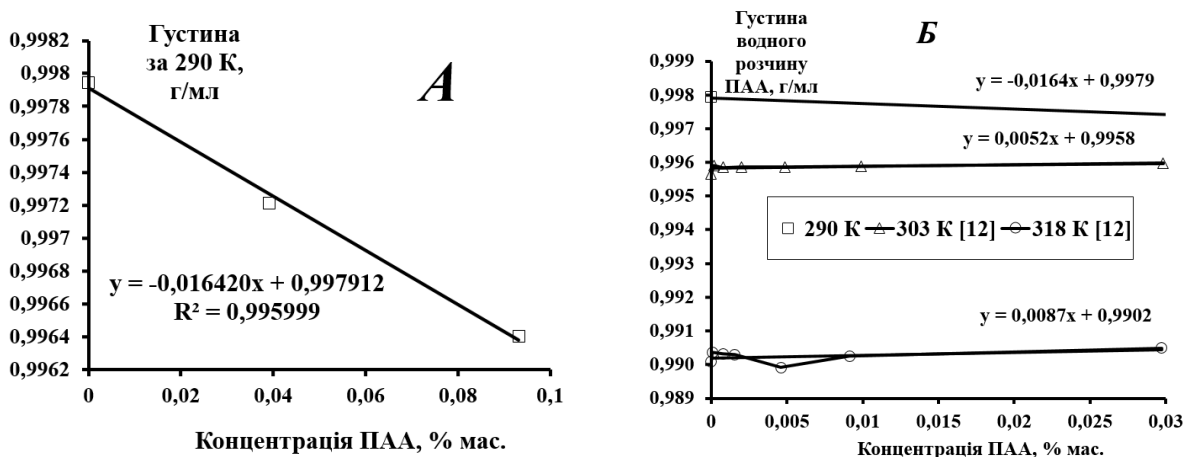


Рис. 1. Ізотерми густини для водних розчинів ПАА при 290 К (А) та 290 К, 303 К, 318 К (Б)

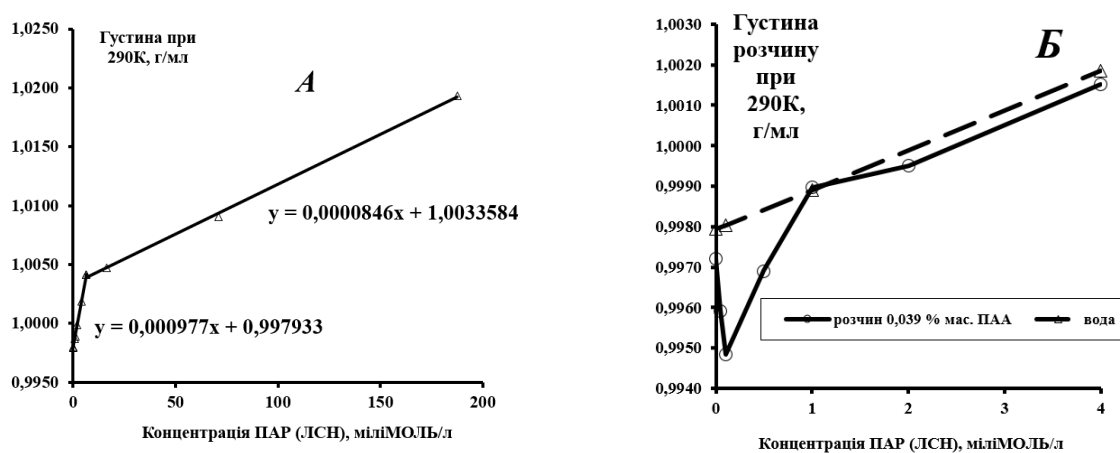


Рис. 2. Ізотерми густини для водних розчинів ЛСН (290 К): а – без ПАА; б – в присутності 0,039 % мас. ПАА

Концентраційний діапазон ЛСН для вивчення системи “ПАА-ЛСН-вода” було вибрано таким, щоб відповідав ділянці ККМ для цієї ПАР – 0,026-0,052 % мас. за продуктом Сульфороканол L270/1А, що було попередньо орієнтовно досліджено в роботі [3] за електропровідністю, поверхневим натягом та ізотермами змочування. В системі “ЛСН-вода” спостерігається збільшення густини розчину із зломом при концентрації ЛСН близько 6 мМ згідно з рис.2 (А). За присутності ПАА (0,039 % мас.) в інтервалі концентрацій до 6 мМ на рис. 2 (Б) спостерігається мінімальна величина густини при концентрації ЛСН 0,1 мМ, яка, очевидно, зумовлена взаємодією між ПАА та ЛСН у ділянці ККМ для ПАР. Отримані концентраційні залежності для густини було використано для переходу від концентрацій в одиницях масових часток (% мас.), за яким готували розчини, до молярних концентрацій (мілімоль/дм<sup>3</sup> – мМ).

Величину ККМ для ЛСН визначено за концентраційною залежністю поверхневого натягу розчину ПАР у звичайних для малих концентрацій (рис. 3, а) та напівлогарифмічних координатах для всього дослідженого концентраційного діапазону (рис. 3, б). У роботі [3] показано, що прямолінійна ділянка зменшення поверхневого натягу, яка особливо виразно проявляється для розчину ПАР (від 72,2 для води до 30,8 мН/м для 0,026 % мас. розчину ЛСН), значно слабше проявляється для розчину ПАА (від 72,2 для води до 67,0 мН/м для 0,25 % мас. ПАА). У роботі [12] встановлено, що ПАА за концентрації 0,023 % мас. впливає на ККМ тільки для неіоногенної ПАР поліоксиетильованого гексадеканола (ОС-20), збільшуючи цю величину від 0,45 до 0,80 мМ. Величина ККМ досліджених в роботі [12] іоногенних ПАР (пентадецилсульфонат натрію та додецилтриметиламоній бромід) не змінюється від присутності ПАА за концентрації 0,023 % мас. Отже, за ізотермами поверхневого натягу для сумішей ПАА та ЛСН малоімовірно є виявлення особливих точок, які б були спричинені взаємодією молекул полімеру та ПАР. На основі отриманої експериментальної ізотерми поверхневого натягу визначено за рис.3 уточнену величину ККМ для розчину ЛСН, яка становить  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.

Ізотерми електропровідності водних розчинів ПАА та ЛСН, як наведено на рис. 4, показують добру лінійну залежність між концентрацією речовин (% мас.) та питомою електропровідністю.

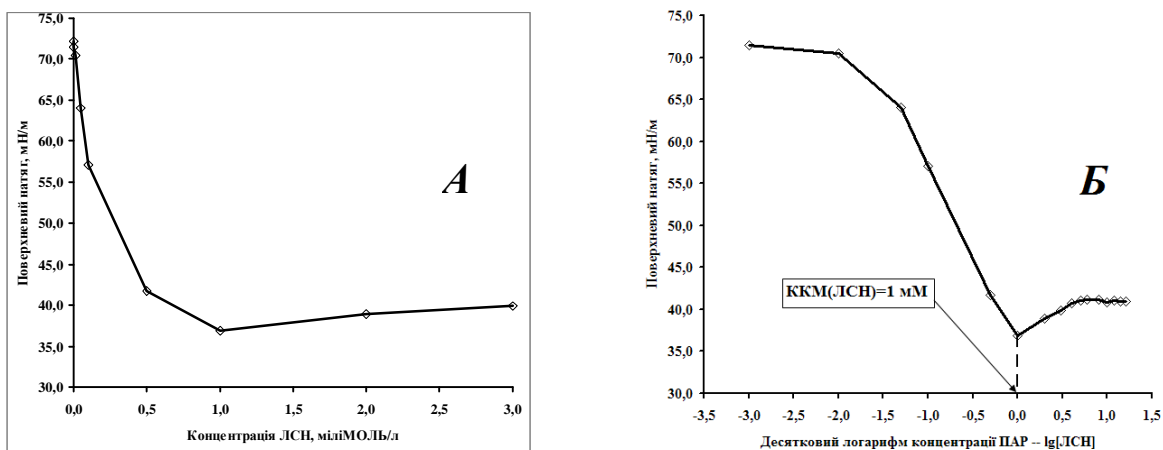


Рис. 3. Ізотерма поверхневого натягу для водних розчинів ЛСН (290 К)

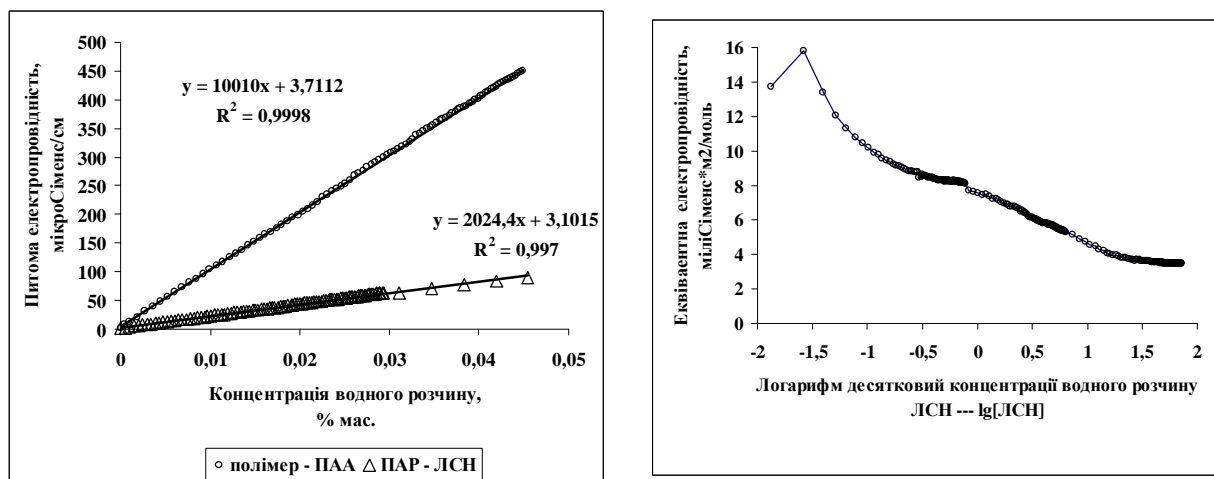


Рис. 4. Ізотерми електропровідності водних розчинів ПАА та ЛСН за температури 290 К

Рис. 5. Еквівалентна електропровідність (міліСіменс\*м<sup>2</sup>/моль) для водних розчинів за температури 290 К

За результатами для ПАА, які наведено в роботі [12], спостерігався максимум питомої електропровідності для приблизно 0,005 % мас., а також різке зростання електропровідності від

приблизно 2 мікроСіменс/см (дистильована вода) до 77 мікроСіменс/см для розчину з концентрацією 0,0001 % мас. ПАА і далі від приблизно 0,01–0,02 % мас. ПАА питома електропровідність майже лінійно поступово зростала. На відміну від даних роботи [12] ми не спостерігали таких явищ в дослідженому діапазоні низьких концентрацій ПАА від 0,00046 % мас. (7,53 мікроСіменс/см) до 0,02 % мас. (близько 200 мікроСіменс/см), який був досліджений з кроком для концентрації, що не перевищував 0,001 % мас. ПАА. Слід зауважити, що за однакових масових концентрацій ПАА та ЛСН питома електропровідність полімеру, який має властивості поліелектроліту завдяки наявності амідних груп, є приблизно в 5 разів вищою, ніж для ПАР. Отже, незначні добавки ПАА до розчину ЛСН збільшують електропровідність, що можна використати для кондуктометричного дослідження системи “ПАА-ЛСН-вода”. При розгляді ділянки низьких концентрацій для еквівалентної електропровідності ПАР (рис. 5) виявлено одну точку максимуму при концентрації ЛСН 0,0265 мілімоль/дм<sup>3</sup> та перехідну точку в ділянці від 0,780 до 0,825 мілімоль/дм<sup>3</sup>, яка може відповідати ККМ або бути зумовлена переходом до іншої концентрації розчину. На рис. 6 наведено результати дослідження залежності електропровідності від концентрації ПАА при різних сталих концентраціях ПАР для ділянки ККМ лауретсульфату натрію згідно з дослідженням поверхневого натягу (рис.3), а саме при ККМ=1 мМ та при 0,1 мМ і для точки 4 мМ, яка лежить на майже горизонтальній ділянці після мінімуму поверхневого натягу. Ці залежності добре описуються прямими лініями, для яких відтинки та нахили наведено в табл. 1.

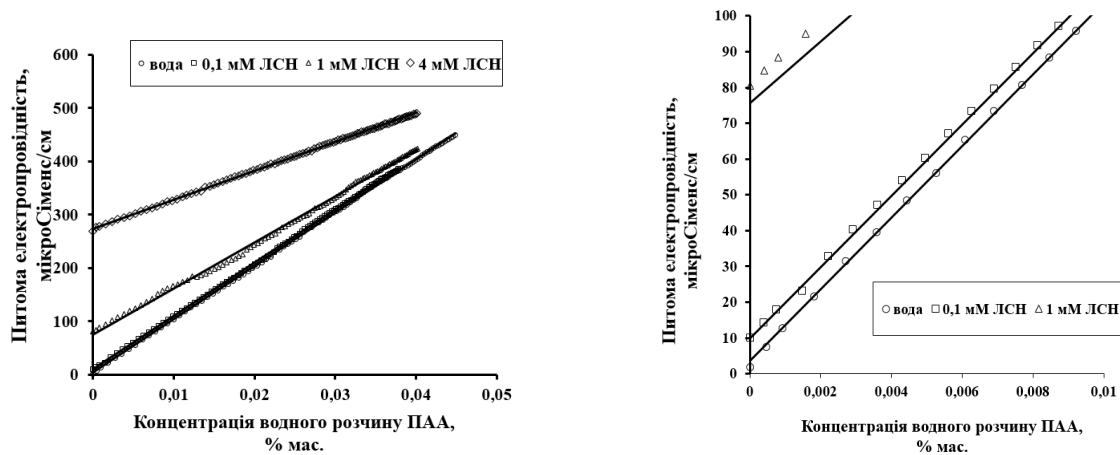


Рис. 6. Ізотерми електропровідності водних розчинів ПАА при різних концентраціях ЛСН (290 К)

Таблиця 1

**Параметри прямолінійних залежностей електропровідності ( $Y$ , мікроСіменс/см) для водних розчинів ЛСН від концентрації ПАА ( $X$ , % мас.)**

Концентрація ЛСН у водному розчині, мілімоль/дм <sup>3</sup>	$Y = A \times X + B$		
	Нахил, $A$	Відтинок, $B$	$R^2$
0	10009,62	3,7112	0,9998
0,1	9970,11	9,8540	0,9998
1	8620,72	75,6173	0,9980
4	5415,96	274,151	0,9997

Відтинки цих прямих закономірно прямолінійно зростають із зростанням концентрації ЛСН (рис. 7), оскільки електропровідність розбавлених розчинів даної ПАР лінійно залежить від концентрації (рис.4). Між нахилом та відтинком в залежностях електропровідності від концентрації ПАА при різних сталих концентраціях ЛСН також спостерігається прямолінійний зв'язок (рис. 8), у якому нахил зменшується із зростанням концентрації ПАР. Отже, в першому наближенні залежності електропровідності при температурі 290 К від концентрації ПАА при різних концентраціях ПАР у межах від 0 до 4 мМ можна описати виразом (1), у якому коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  входять до виразів для нахилу ( $A$ ) та відтинку ( $B$ ) згідно з рівняннями прямих (2), (3) та (4).



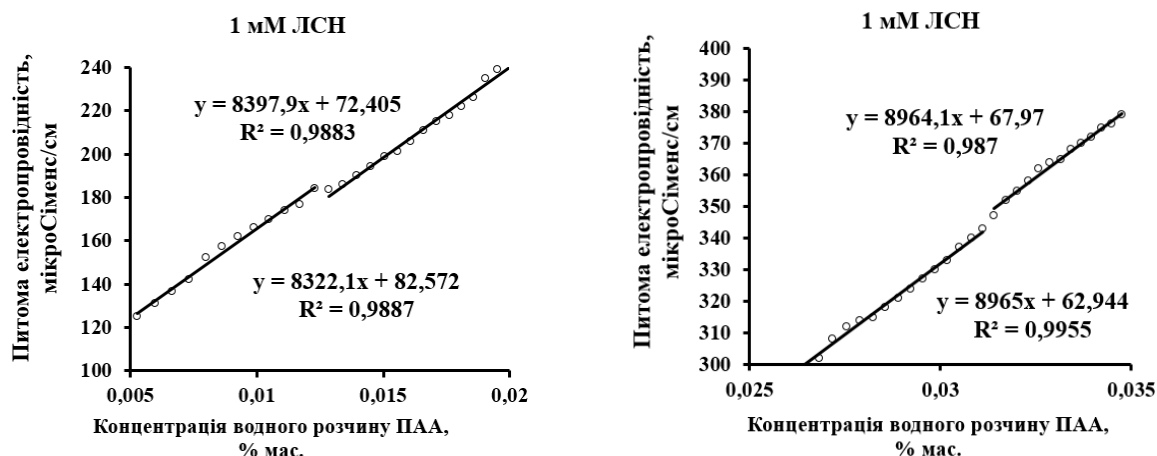


Рис. 9. Точки злому на ізотермі електропровідності розчинів ПАА при концентрації ЛСН ККМ=1мМ (290 К)

Запропоновано узагальнювальну залежність електропровідності за температури 290 К від концентрації ПАА при концентраціях ЛСН у межах від 0 до 4 мМ, яка ґрунтується на лінійних експериментальних концентраційних залежностях електропровідності для сумішей ПАА та ЛСН.

Кондуктометрично виявлено дві точки злому в ділянках концентрацій ПАА: 1) 0,01–0,015 % мас. при 0,0123 % мас.; 2) 0,025–0,035 % мас. за 0,0314 % мас. для розчину ПАА у присутності ЛСН з концентрацією 1 мМ, що відповідає величині ККМ для цієї ПАА.

1. Goddard E. D., Ananthapadmanbham K.P. *Interactions of Surfactants with Polymers and Proteins* (CRC, Boca Raton, FL, 1993). 2. Шаповал Й. М., Кочубей В. В., Суберляк О. В., Полюжин І. П., Козак М. Б. Розробка та дослідження властивостей мастильно-охолоджувальних рідин на основі полівінілпіролідону та поліакриламідру // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Хімія, технологія речовин та їх застосування". – 2014. – № 787. – С. 469–474. 3. Шаповал Й. М., Полюжин І. П., Коцан М. П., Полюжин Л. І. Обґрунтування складу технологічних мастильно-охолоджувальних рідин на основі поліакриламідру // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Хімія, технологія речовин та їх застосування". – 2015. – № 787. – С. 23–35. 4. Frank H. P., Barkin S. Eirich F. R. *The interaction of polyvinylpyrrolidone with some azo dyes.* – *Journal of Physical Chemistry*, 1957, Vol. 61 (10), P. 1375–1380. 5. *Polymer-Surfactant Systems (Surfactant Science)* // J.C.T. Kwak (Editor) / – CRC Press, 1998. 6. Holmberg K., Jonsson B., Kronberg B., Lindman B., *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. Second Ed.* – John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003 – 545 p. 7. Goddard E. D. *Polymer/surfactant interaction* // *Journal of the Society of Cosmetic Chemists.* – 1990 – Vol. 41 – P. 23–49. 8. Goddard E. D. *Polymer/Surfactant Interaction: Interfacial Aspects* // *Journal of Colloid and Interface Science.* – 2002. – Vol. 256. – No. 1 – P. 228–235. 9. Niranjan P.S., Upadhyay Santosh K. – *Interaction of Polyacrylamide with Conventional Anionic and Gemini Anionic Surfactants* // *Journal of Dispersion Science and Technology.* – Vol. 32, Issue 1, 2010. – P. 109–113. 10. Niranjan P. S., Shukla R., Upadhyay S. K. *Interactions of Polyacrylamide with Cationic Surfactants* // *Thermodynamic and Surface Parameters: Journal of Surfactant and Detergent.* – 2012. – Vol. 15. – P. 53–57. 11. Niranjan P. S., Upadhyay S. K. *Structural effects of cationic surfactants in polyacrylamide-surfactant interaction* // *Micellisation/adsorption of polyacrylamide.* – *Indian Journal of Chemistry.* – 2014. – Vol. 53A. – P. 1402–1406. 12. Арутюнян Р. С. Межмолекулярные взаимодействия в системе поверхностно-активное вещество-вода-полиакриламид по данным денситометрии, вискозиметрии, кондуктометрии и спектроскопии // *Журнал физической химии.* – 2013. – Т. 87. – № 8. – С. 1332–1335. 13. Gouveia Laura M., Paillet Sabrina, Khoukh Abdel, Grassl Bruno, Muller Alejandro J. // *The effect of the ionic strength on the rheological behavior of hydrophobically modified polyacrylamide aqueous solutions mixed with sodium dodecyl-sulfate (SDS) or cetyltrimethylammonium-p-toluenesulfonate (CTAT)* // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* – 2008. – Vol. 322 – P. 211–218. 14. <http://www.ulab.com.ua/catalog/> 15. *Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского.* – М.: Высшая школа, 1986. – 216 с.