

Б.П. Бахматюк¹, О.І. Аксіментьєва², І.Я. Дупляк¹, Ю.Ю. Горбенко²

Електрохімічні властивості поліаніліну в водних середовищах йодидів і бромідів в системі електрохімічного джерела енергії

¹Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, bakhmatyukb@gmail.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська, 1, м. Львів

В роботі досліджено вплив редокс-активних йодидних і бромідних електролітів на питомі розрядні характеристики поліаніліну (ПАН) як катодного матеріалу в електрохімічних джерелах енергії (ЕДЕ) з цинковим анодом. Електрохімічні і ємнісні властивості ПАН катоду досліджені з використанням гальваностатичного, потенціостатичного, циклічного вольтамперометричного і імпедансного методів. Встановлено, що для ПАН катоду властива розрядна питома ємність $C_p = 126 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ на струмовому навантаженні $i = 10^3 \text{ А} \times \text{кг}^{-1}$ у сульфатно-цинковому електроліті і $C_p = 301 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ за тих же умов при наявності KI. При цьому відбувається оборотний перехід різних форм ПАН лейкоемаралдин/емералдин, що в середовищі редокс-електроліту зумовлює підвищення електричної ємності і провідності ПАН електродів в зарядженому стані.

Ключові слова: лейкоемаралдин/емералдин, питома ємність, йодидний і бромідний редокс-активні електроліти.

Стаття поступила до редакції 22.03.2014; прийнята до друку 15.03.2016.

Вступ

Поліанілін (ПАН) та його похідні справедливо вважають одними з найбільш перспективних спряжених полімерів внаслідок високої стабільності, відносно низької собівартості та різноманітності електронних [1], оптичних [2], електрохімічних [3] та сенсорних властивостей [4]. Методи одержання ПАН під дією хімічних і електрохімічних чинників досліджено і описано в ряді видань [5-7]. Реакції окиснення-відновлення полімерів з системою спряжених подвійних зв'язків є достатньо електрохімічно оборотними [1, 7], крім того, добре відома здатність тонких плівок ПАН витримувати умови високої потужності, що зумовлює застосування ПАН як активного електродного матеріалу в електрохімічних суперконденсаторах [8-10]. ПАН характеризується низькою питомою масою, високою теоретичною питомою ємністю, відносно високим потенціалом розкладу, що робить його у поєднанні з відповідними анодними матеріалами, такими як літій або цинк, перспективним кандидатом для розроблення акумуляторів з високою енергією. Починаючи від першої спроби розробити на основі ПАН акумуляторну батарею [11] і до сьогодні, велика кількість даних була накопичена по ефективності його застосування як матеріалу катода в електрохімічних джерелах енергії [12]. Отримані величини питомих значень ємності і енергії ПАН катодів, що повідомляються в

літературі, є дуже різними. Але найвищі значення питомої ємності були в межах від $170 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ [13] у водних електролітах та $160 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ [14] в пропіленкарбонаті. Це пов'язано з тим, що заряд/розрядні властивості поліанілінових катодів сильно залежать від розчинника, складу електроліту і його концентрації, товщини плівок електродів і густини струму розряду. Крім того ПАН характеризується дуже швидкою гетерогенною кінетикою переносу електрона, низьким опором його провідного стану, що забезпечує високі питомі потужності. В ряді робіт, наприклад [15, 16], повідомляється про значний вплив на підвищення питомих ємнісних і псевдоємнісних показників суперконденсаторів використання йодидного редокс-активного електроліту з вмістом окисно-відновної пари $3\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ($E^0 = 0,545 \text{ В}$). Незважаючи на те, що максимальне теоретичне значення питомої ємності ПАН складає $148 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ розраховане на 2^x електронний перехід на 4 структурних одиниці ПАН, в роботі [13] показана можливість підвищити це значення до $245 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$, використовуючи тонкі плівки. Проте досі не вирішена проблема підвищення питомої ємності ПАН, виготовлених з його дисперсій, шляхом використання редокс активних електролітів. Тому наша робота присвячена дослідженню впливу на розрядну питому ємність та механізм процесу допування-дедопування ПАН катодів виготовлених з його дисперсій в розчинах йодидного і бромідного редокс-активних

електролітів в системі електрохімічного джерела енергії (ЕДЕ).

I. Методика експерименту

Неорганічні солі $ZnCl_2$, $ZnSO_4$, KI , KBr (99% - 99,9 %, Aldrich) і цинкова фольга (Zn foil, 99,99%, Aldrich) використані для експериментів без додаткової очистки. Як активний матеріал для катода використовували високодисперсний поліанілін, легований різними аніонами: поліанілін-хлорид (ПАН-Cl), поліанілін-сульфат (ПАН- SO_4), поліанілін-бромід (ПАН-Br), поліанілін-йодид (ПАН-I), що отримані окисною полімеризацією. Для отримання ПАН, легованого сульфатною, йодидною, бромідною або хлоридною кислотою, хімічним способом, до 50 мл 1 М розчину HCl, HI, HBr або H_2SO_4 (марки хч) при неперервному перемішуванні додавали 2 мл перегнаного аніліну (99%, Aldrich). Розчин охолоджували до $5^\circ C$ і, перемішуючи, по краплям додавали 50 мл розчину персульфату амонію (Aldrich) (2,5 г) в 1 М HCl або H_2SO_4 . Утворену забарвлену реакційну суміш (зелена-темно зелена) на 24 години залишали для завершення процесу. Отриманий продукт відфільтровували, промивали водою на фільтрі, сушили до постійної маси. Всі зразки отримували у вигляді порошку з розмірами частинок 730 ± 50 нм.

Для досліджень виготовляли електроди на основі ПАН з активною масою (m_a) 4-7 мг, геометричною поверхнею ($s = 1$ см²), товщиною ($d = 0,1$ мм) з додаванням 5 % тефлону і 10 % ацетиленової сажі, напрусуванням їх на графітову фольгу. Для вимірювань збирались двох і трьохелектродні комірки з цинковим анодом ($s = 4$ см²) та насиченим хлорсрібним (Ag/AgCl) електродом порівняння. В якості електролітів використовувались напіврозведені суміші водних насичених розчинів з вмістом KI або KBr: ел. I – 0,5(н.р. $ZnCl_2$ +н.р.KI), ел. II – 0,5(н.р. $ZnSO_4$ +н.р.KI), ел. III-0,5(н.р. $ZnCl_2$ +н.р.KI), ел. IV – 0,5(н.р. $ZnCl_2$ +н.р.KBr), а також напіврозведені водні насичені розчини ел. Ia – 0,5н.р. $ZnCl_2$, ел. IIa – 0,5(н.р. $ZnSO_4$ (без вмісту KI або KBr). Двохелектродну комірку, що є прототипом ЕДЕ, можна представити у спрощеному вигляді:



тут A^- (Br^- , I^- , Cl^- , SO_4^{2-}) – аніони розчину електроліту.

Гальваностатичні цикли заряду-розряду (ГЦ) і гальваностатичний розряд (ГР) після потенціостатичного заряду (ПЗ) вимірювали на струмовому навантаженні (i) $0,5 A \times g^{-1}$ – $1 A \times g^{-1}$ на активну масу електрода. Циклічні вольтамперограми (ЦВА) записувались на швидкості розгортки (v) електродного потенціалу (E) $10^{-3} V \times c^{-1}$. Електрохімічну імпедансну спектроскопію (ЕІС)

вихідних і допованих зразків проводили в частотному діапазоні $10^{-2} - 4 \times 10^4$ Гц з амплітудою змінного струму 0.005 В. Всі електрохімічні вимірювання були зроблені з використанням вимірювального комплексу AUTOLAB PGSTAT 30 "ECO CHEMIE" при кімнатній температурі, а електродні потенціали представлені відносно Ag/AgCl електрода порівняння. Отримані дані вимірювань опрацьовували за відомими формулами:

$$C_3 = I_3 \times t_3 (m_a)^{-1}, \quad (2)$$

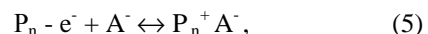
$$C_p = I_p \times t_p (m_a)^{-1}, \quad (3)$$

$$\eta = (C_p) \times (C_3)^{-1} \times 100 \% \quad (4)$$

Тут C_3 , C_p – зарядна і рорядна питома ємність на активну масу електрода, відповідно; I_3 , I_p – зарядний і розрядний струм, відповідно; t_3 , t_p – час заряду і розряду, відповідно; η – кулонівська ефективність ГЦ.

II. Отримані результати та їх обговорення

Представлений на рис. 1а несиметричний ГЦ за струмовим навантаженням ($i_3 = 1 A \times g^{-1}$, $i_p = 0,5 A \times g^{-1}$) ПАН-Cl в розчині 0,5(н.р. $ZnCl_2$ +н.р.KI) в системі (1) показує високу $C_p = 992$ Кл $\times g^{-1}$ ($278 A \times год \times кг^{-1}$) з $\eta = 80$ % і здатність матеріалу до циклювання. Для вивчення характеру процесу на електродах в досліджуваній системі ЕДЕ проводили вимірювання за трьохелектродною системою. Вимірювання гальваностатичного розряду анода і катода за трьохелектродною схемою (рис.1, б, в) показує, що досліджувана система (1) складається з поляризованого катода на основі ПАН та неполяризованого Zn – анода. Поляризація катода ($\Delta E = 0,56$ В), а ΔE для цинку має мале значення, яким можна знехтувати. При цьому катод на основі ПАН-Cl забезпечує $C_p = 1012$ Кл $\times g^{-1}$ ($281 A \times год \times кг^{-1}$) після ПЗ $E = 0,7$ В. А використання потенціостатичного заряду при 1,6 В підвищує C_p до 1176 Кл $\times g^{-1}$ ($327 A \times год \times кг^{-1}$), рис. 1, з (крива 2). Як показують отримані розрядні дані, потенціостатичний заряд в даному випадку є більш ефективним. На поляризованому електроді на основі ПАН відбувається процес електрохімічного допущання-дедопущання аніонами шарів поліаніліну (рис. 1, в):



тут, P_n – ПАН, n – ступінь полімеризації, A^- – аніон.

А на неполяризованому електроді (рис. 1, б) процес електролітичного осадження і анодного розчинення цинку:



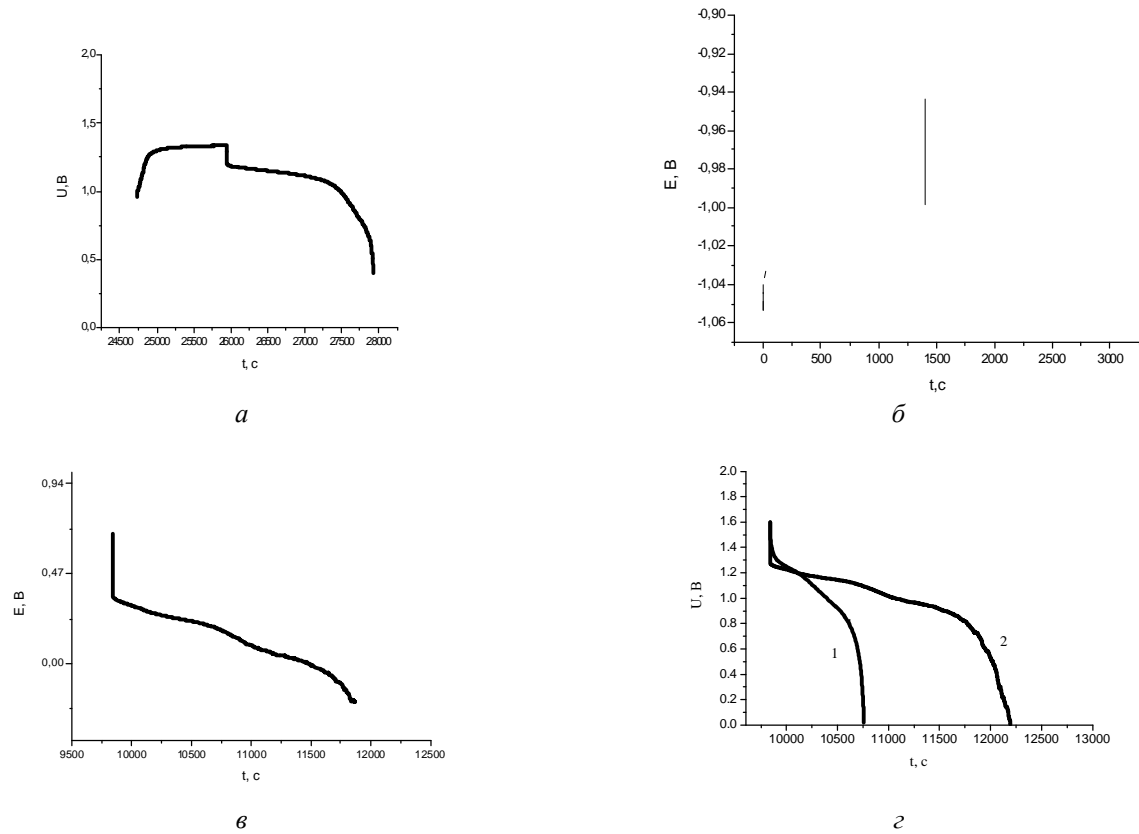
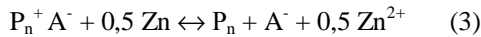


Fig.1. GC (galvanostatic cycles) ($i_s = 1 \text{ A}^{-1} \times \text{g}$, $i_p = 0.5 \text{ A}^{-1} \times \text{g}$) PAN-Cl (polyaniline-chloride) in electrolyte I (a); (B) GC Zn of electrode in electrolyte I (b); GD (galvanostatic discharge) ($i = 0.5 \text{ A} \times \text{g}^{-1}$) after PSC (Potency Static Charge) ($E = 0.7 \text{ V}$) PAN-Cl in electrolyte I measured by the three-electrode scheme (c); GD ($i = 0.5 \text{ A} \times \text{g}^{-1}$) after PSC ($E = 1.6 \text{ V}$) PAN-Cl in electrolyte I (1) and in electrolyte II (2).

Загальний струмотворчий процес досліджуваного ЕДЕ (рис.1г) можна представити в такому вигляді:



Використовуючи потенціостатичний заряд отримано також розрядні залежності ПАН-Cl в розчині 0,5 н.р. ZnCl_2 (рис.1, г, крива 1) і ПАН- SO_4 в розчинах 0,5н.р. ZnSO_4 (рис. 2, а, крива 2), які за

числовими значеннями $C_p = 126 - 127 \text{ A} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$, не перевищують теоретичне значення $148 \text{ A} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$. А ГР ПАН- SO_4 в 0,5(н.р. ZnSO_4 +н.р. KI) при $i_p = 1 \text{ A} \text{г}^{-1}$ й ПанI 0,5(н.р. ZnCl_2 +н.р. KI) при $i_p = 0,5 \text{ A} \text{г}^{-1}$ (рис.2. а, б) показує значне зростання C_p в електролітах з йодидними йонами. Дані ГР в цих розчинах представлені в таблиці 1.

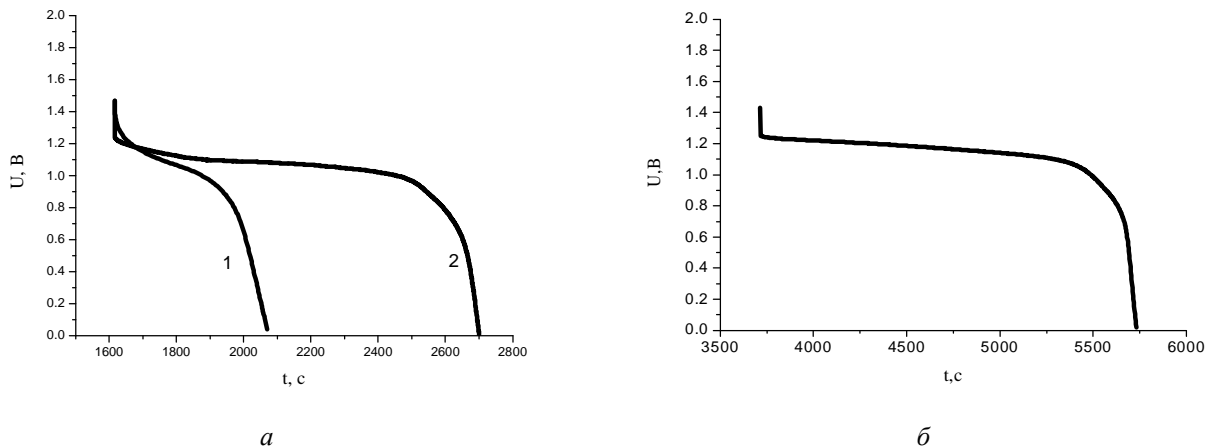
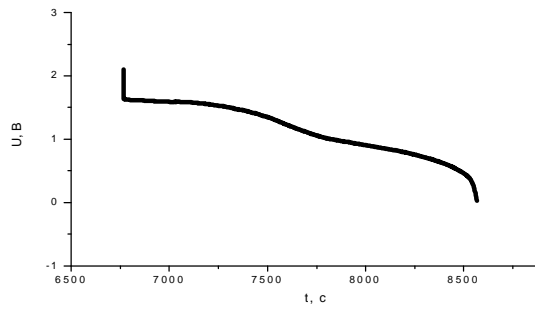


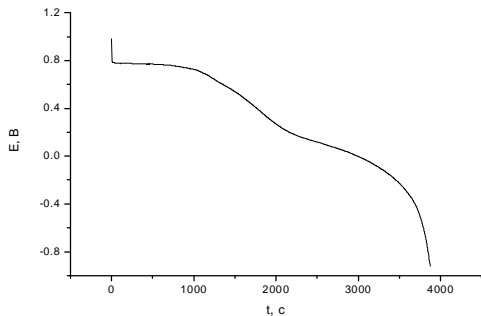
Fig. 2. (a) GD ($i_p = 1 \text{ A} \times \text{g}^{-1}$) and PAN SO_4 in el. II (1) and in el. II (2); (b) GD ($i_R = 0.5 \text{ d} \times \text{A}^{-1}$) PAN I in electrolyte III.

Використання розчину 0,5 (н.р. ZnCl_2 +н.р. KBr) суттєво підвищує розрядну напругу електрода на основі ПАН-Br, що має за даними рис.3,а значення

1,64 В на струмовому навантаженні $0,63 \text{ A} \times \text{г}^{-1}$ в системі ЕДЕ (рис. 3, а). Гальваностатичний розряд при $i_p = 0,3 \text{ A} \times \text{г}^{-1}$ записаний за трьохелектродною схемою вимірювання показує підвищення в два



a



б

Fig. 3. PAN-Br in electrolyte IV: (a) GD ($i_R = 0.63 \times d \text{ A}^{-1}$) and (b) GR ($IP = 0,3 \text{ A} \times d^{-1}$) measured by the three-electrode pattern.

броміду, в порівнянні з йодидними розчинами. При цьому зберігається велике значення $C_p = 1159 \text{ Кл} \times \text{г}^{-1}$ ($322 \text{ А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$), а підвищення розрядної напруги пропорційно підвищує розрядну питому ємність ПАН катода.

Table 1

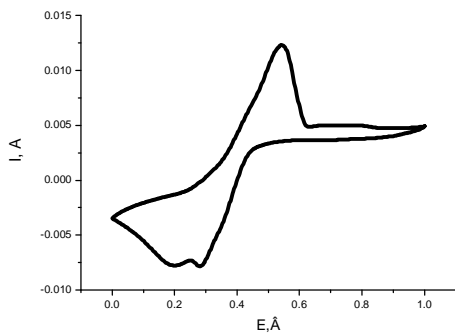
The C_p value after potency static charge

Матеріал	Electro-lyte	$U_{DC}, \text{ V}$	$i_p, \text{ A} \times \text{g}^{-1}$	$C_p, \text{ A} \times \text{hour} \times \text{kg}^{-1}$
PAN-Cl	Ia	1.7	0.5	127
PAN-SO ₄	IIa	1.7	0.5	126
PAN-I	III	1.47	0.5	301
PAN-Br	IV	2.1	0.63	313
PAN-Cl	I	1.6	0.5	327
PAN-SO ₄	II	1.48	1.0	301

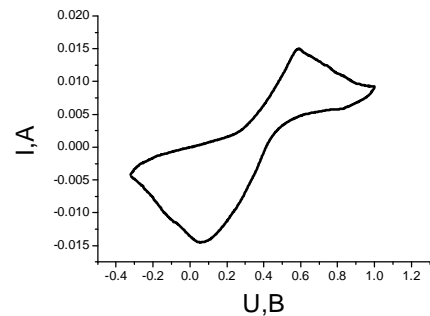
Отримані дані ГР (таблиця 1) показує в 2,4-2,6 разів зростання питомої ємності до 301-327 $\text{А} \times \text{год} \times \text{кг}^{-1}$ в йодидних і бромідних електролітах електродів на основі ПАН-Cl і ПАН-SO₄.

Для підтвердження механізму процесів на електродах з ПАН записувались ЦВА в робочих межах електродних потенціалів. На ЦВА добре видно анодні максимуми при E від 0,5 В до 0,58 В, який відповідає переходу лейкоемаральдін-емаральдін [6, 7] і катодні піки оборотного переходу емеральдін – лейкоемаральдін (рис. 4. а, б, в, г) при E , що міняється від $-0,06 \text{ В}$ до $0,28 \text{ В}$. Параметри ЦВА представлені в таблиці 2.

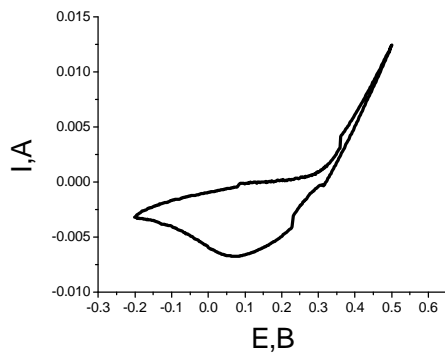
рази розрядної напруги електрода в розчині



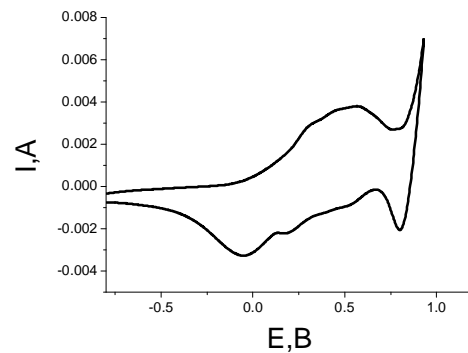
a



б



в



г

Fig. 4. Cyclic current-voltage PAN SO₄ (a), PAN Cl (b), PAN I (c) PAN Br (d) ($v = 10^{-3} \text{ V} \times \text{s}^{-1}$).

На ЦВА ПАН-I (рис. 4, *в*) не спостерігається окремого максимуму при $E^0 = 0,534$ В (відносно стандартного водневого електрода порівняння) виділення йоду у вільному стані та утворення окисно-відновної пари при $E^0 = 0,545$ В за рівнянням:



А на ЦВА ПАН-Br (рис. 4, *з*) добре видно максимум анодного струму при $E = 0,92$ В. Він пов'язаний з утворенням окисно-відновної пари $3Br^- / Br_3^-$ при $E^0 = 1,05$ В за рівнянням:



А також виділенням бром у вільному стані при $E^0 = 1,087$ В за рівнянням:



і катодний пік при $E = 0,8$ В його перетворення до йонного стану. При звичайних зворотних переходах лейкоемаральдин-емеральдин, досліджені електроди з ПАН характеризуються високими питомими розрядними ємностями й кулонівськими ефективностями при високих густинах струму. Так наприклад, ЦВА ПАН-Cl (рис. 4, *б*) характеризується $C_p = 350$ А×год×г⁻¹ (катодна поляризація циклу) з $\eta = 70$ %, при густинах струму 2,9 – 3 Аг⁻¹. А цикл ПАН-Br (рис. 4, *з*) характеризується $C_p = 278$ А×год×г⁻¹ з $\eta = 96$ %.

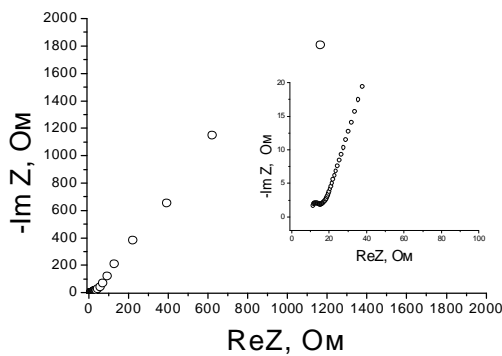
Table 2

Parameters of the cyclic current-voltage

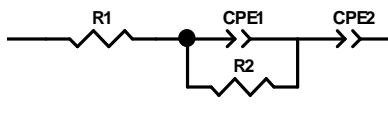
Material	Electrolite	$E_{max.}, V$	$I_{max.}, A \times 10^3$	$E_{min.}, V$	$I_{min.}, A \times 10^3$
PAN-Cl	I	0.58	15	0.07	14.6
PAN - SO ₄	II	0.54	12.3	0.28	7.9
PAN -I	III	0.5	12.4	0.08	6.9
PAN -Br	IV	0.54	3.8	-0.06	3.3

Діаграми Найквіста (ДН) досліджених матеріалів у гальванічній системі (рис. 5, *а*, рис. 6,

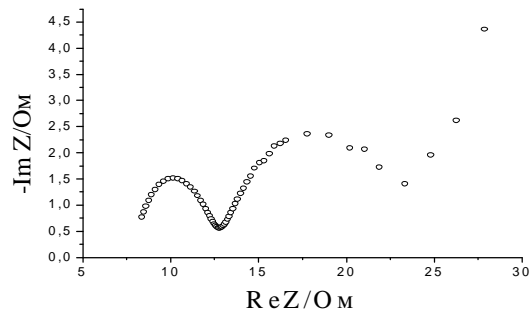
а), записані в незарядженому стані ПАН (стан лейкоемарелдіну), представляють собою петлю при високих частотах (кінетичний контроль) і пряму лінію з різним нахилом при малих частотах (дифузійний контроль). Вони можуть бути представлені добре відомими еквівалентними електричними схемами (ЕЕС) [17]. На представлених ЕЕС (рис. 5, рис. 6) R1 означає внутрішній електричний опір вимірюваної системи; C1, C2 – ємності подвійного електричного шару межі розділу електрод-електроліт; R1, R2 – опори стадії перенесення електрона через межу розділу електрод-електроліт; CPE1, CPE2 – елементи постійної фази або неідеальні ємності; W₀ – відкритий дифузійний імпеданс Варбурга. Так наприклад, імпедансні дані ПАН-I можна представити ЕЕС, яка була використана для моделювання незаряджених електродів ПАН [9] з великим загальним активним опором 1160 Ом, який визначається імпедансом на найменшій частоті. А електроди на основі ПАН-Br можна представити ЕЕС з відкритим дифузійним імпедансом Варбурга (W₀), рис. 5, *б*. ДН записані для заряджених електродів (стан емеральдину) радикально міняються, як це добре видно на рис. 5, *а*, *б* і рис. 6, *а*, *б*. ЕЕС зарядженого електрода ПАН-I представляється двома послідовно з'єднаними ланками з паралельно під'єднаними ємністю подвійного електричного шару (C2 і C3) і опору стадії перенесення заряду (R2 = 5,5 Ом×см² і R3= 12,5 Ом×см²) з загальним активним опором 28 Ом. Для ПАН-Br спостерігається трансформація ЕЕС, яка означає чисто кінетичний контроль процесу заряду електрода при зменшенні загального активного опору від 135 Ом до 27 Ом, а R2 = 25 Ом×см². Значне підвищення провідності заряджених електродів у стані емеральдину є добре відомим з літератури фактом [6, 7].



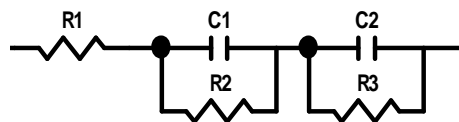
а



б



в



г

Fig. 5. PAN-I: Nyquist diagram for non-charged electrode (a) and its equivalent electrical circuit (b), Nyquist diagram for charged electrode (c) and its equivalent electrical circuit (d).

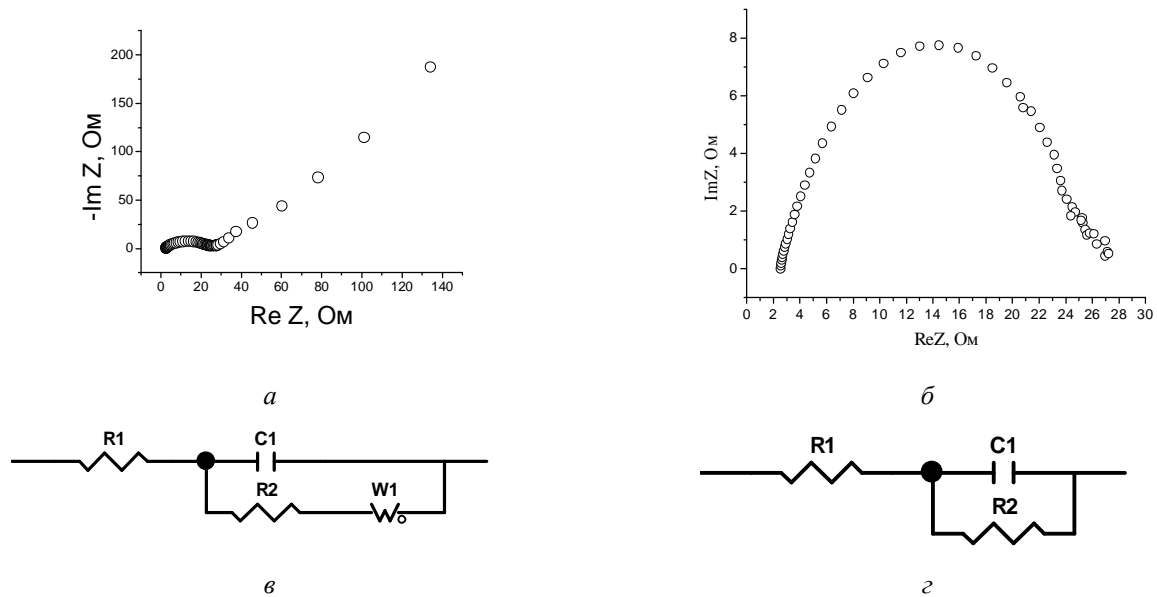


Fig. 6. PAN-Br: Nyquist diagram for on-charged electrode (a) and its equivalent electrical circuit (b), Nyquist diagram for charged electrode (c) and its equivalent electrical circuit (d).

Висновки

В роботі вперше показано, що використання електроліту з йодидними і бромідними йонами підвищує в середньому в 2,4 – 2,6 разів розрядну питому ємність поліаніліну в системі електрохімічного джерела енергії. Отримані розрядні питомі ємності $301\text{--}327 \text{ A}\cdot\text{год}\cdot\text{кг}^{-1}$ на розрядних густинах струму не менше $0,5 \text{ A}\cdot\text{г}^{-1}$ перевищують більше як в 2 рази теоретично розраховану питому ємність $148 \text{ A}\cdot\text{год}\cdot\text{кг}^{-1}$ переходу лейкомералдин-емералдин. При цьому встановлено звичні переходи в процесі заряду та емералдин-

лейкомералдин під час розряду. Спостерігається також значне зростання провідності заряджених електродів, які мають тільки кінетичний контроль з опором стадії перенесення заряду $13,5\text{--}25 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$.

Бахматюк Б.П. – к.х.н., доцент кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства;
Аксиментьєва О.І. – д.х.н., головний науковий співробітник, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії;
Дупляк І.Я. – аспірант кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства;
Горбенко Ю.Ю. – м.н.с. кафедри фізичної та колоїдної хімії.

- [1] K.M. Molapo, P.M. Ntangili, R.F. Ajayi, G. Mbambisa, S.M. Mailu, N. Njomo, M. Masikini, P. Baker, E.I. Iwuoha, J. Electrochem. Sci. 7, 11859 (2012).
- [2] A.J. Heeger, Synth.Metals., 123, 23 (2002).
- [3] A.M. Timonov, S.V. Vasil'eva, Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal 6, 33 (2000).
- [4] J.N. Gavvani, A. Hasani, Nouri, M. Mahyari, A. Saleh, Sensors and Actuators B: Chemical 229, 239 (2016).
- [5] O.I. Aksiment'yeva, Fizyko-khimichni zakonomirnosti oderzhannya i vlastyosti elektroprovodnykh polimeriv u tonkomu shari. Dys.dok. khim.nauk. L'vs'kyi natsional'nyy universytet imeni Ivana Franka, 347 (2000).
- [6] A. Mac Diarmid, Curr. Appl Phys. 1, 269 (2001).
- [7] N. Mashita, K. Miroguchi, K. Kume, A. Boyle, M. Lapkowski, C. Tsintaris, Synth.Met. 36, 139 (1990).
- [8] B.E. Conway, J.Electrochem. Soc. 138, 1539 (1991).
- [9] B.E. Conway, Electrochemical Supercapacitors, Kluwer Academic Publishers (Plenum Press, New York, 1999).
- [10] C. Arbizanni, M. Mastragastino, R. Paraventi, Adv. Mater. 8, 331 (1996).
- [11] R. De Surville, M. Josefowitz, L.T. Yu, J. Perichon, R. Buvet, Electrochim. Acta 13, 1451 (1968).
- [12] P. Novak, K. Muller, K.S.V. Santhanam, O. Haas, Chem. Rev. 97, 207 (1997).
- [13] Z. Mandić, M.K. Roković, T. Pokupčić, Electrochimica Acta 10, 2941 (2009).
- [14] J. Desilvestro, W. Scheifele, O. Haas, J. Electrochem. Soc. 139, 2727 (1992).
- [15] B.P. Bakhmatyuk, Electrochimica Acta, 163, 167 (2015).
- [16] S.T. Senthikumar, R.K. Selvan, M. Ulaganathan, J.S. Melo, Electrochimica Acta 115, 518 (2014).
- [17] V.F. Lvovich, Impedance spectroscopy: applications to electrochemical and dielectric phenomena (Wiley: Hoboken, 2012).

Electrochemical Properties of Polyaniline in Aqueous Environments of Iodide and Bromide in the System of Electrochemical Energy Source

¹*Lviv Polytechnic National University, 12 St. Bandera Street, Lviv 79013, Ukraine*

²*Ivan Franko National University of Lviv, 8 Kyrylo and Mefodiy Street, Lviv 79005, Ukraine, bakhmatyukb@gmail.com*

The influence on specific discharge characteristics of redox - active iodide and bromide electrolytes of polyaniline as the cathode material in electrochemical energy sources with zinc anode was studied. Electrochemical and capacitive properties of PAN cathode was investigated using galvanostatic, potentiostatic, cyclic voltampermetric and impedance methods. It was established that PAN cathode inherent discharge specific capacity of $C_p = 126 \text{ A} \times \text{h} \times \text{kg}^{-1}$ with current load $i = 103 \text{ A} \times \text{kg}^{-1}$ in zinc - sulfate electrolyte and $C_p = 301 \text{ A} \times \text{h} \times \text{kg}^{-1}$ in the same conditions in the presence of KI. Thus there is a reverse transition of various forms of PAN leucoemeraldine / emeraldine, that among the redox electrolyte causes increase in electrical capacitance and conductivity of PAN electrodes in the charged state.

Keywords: leucoemeraldine / emeraldine, specific capacity, iodide and bromide redox-active electrolytes.