

УДК 621.35

*Т. А. БІЛОУС, Г. Г. ТУЛЬСЬКИЙ, О. Л. МАТРУНЧИК***ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ЕЛЕКТРОЛІТУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ ПЕРОКСИОЦТОВОЇ КИСЛОТИ**

Використання електрохімічного синтезу дозволяє одержувати пероксиоцтову кислоту високої чистоти. Обґрунтовано необхідність застосування електропровідної добавки для зменшення питомого опору електроліту. В якості добавки обрано  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Методом вольт-амперометрії досліджені анодні процеси в водних розчинах 3 моль/дм<sup>3</sup> оцтової кислоти в діапазоні концентрацій добавки сульфатної кислоти 0,2...0,5 моль/дм<sup>3</sup> на платиновому електроді. Показано, що збільшення концентрації сульфатної кислоти від 0,2 до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> призводить до збільшення електропровідності електроліту та зменшенню перенапруги утворення пероксиоцтової кислоти. Електрохімічний синтез пероксиоцтової кислоти доцільно проводити в діапазоні густин струму 500...1500 А/м<sup>2</sup>, при якому спостерігається максимальний вихід за струмом цільового продукту. Запропоновано склад електроліту, що дає можливість напрацьовувати ( $j = 100$  мА/см<sup>2</sup>,  $Q = 2,6$  А·год) розчини з концентрацією кінцевого продукту 0,01 %.

**Ключові слова:** оцтова кислота, пероксиоцтова кислота, електропровідна добавка, сульфатна кислота, електрохімічний синтез, платиновий анод.

Использование электрохимического синтеза позволяет получать пероксиуксусную кислоту высокой чистоты. Обосновано необходимость использования электропроводящей добавки для уменьшения удельного сопротивления электролита. В качестве добавки выбрано  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Методом вольт-амперометрии исследованы анодные процессы в водных растворах 3 моль/дм<sup>3</sup> уксусной кислоты в диапазоне концентраций добавки серной кислоты 0,2...0,5 моль/дм<sup>3</sup> на платиновом электроде. Показано, что увеличение концентрации серной кислоты от 0,2 до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> приводит к увеличению электропроводности электролита и уменьшению перенапряжения образования пероксиуксусной кислоты. Электрохимический синтез пероксиуксусной кислоты целесообразно проводить в диапазоне плотностей тока 500...1500 А/м<sup>2</sup>, при котором наблюдается максимальный выход по току целевого продукта. Предложен состав электролита, который позволяет нарабатывать ( $j = 100$  мА/см<sup>2</sup>,  $Q = 2,6$  А·ч) растворы с концентрацией конечного продукта 0,01 %.

**Ключевые слова:** уксусная кислота, пероксиуксусная кислота, электропроводящая добавка, серная кислота, электрохимический синтез, платиновый анод.

A high-purity peroxyacetic acid may be produced by electrochemical method. The electroconductive additive must be used to reduce the resistivity of the electrolyte. Sulfuric acid is selected as an additive. Anodic processes in aqueous solutions of 3 mol/dm<sup>3</sup> acetic acid in the range of concentrations of sulfuric acid additive 0,2...0,5 mol/dm<sup>3</sup> have been investigated by the voltammetry method on a platinum electrode. It has been shown that an increase in the concentration of sulfuric acid from 0,2 to 0,5 mol/dm<sup>3</sup> leads to an increase in the electroconductivity of the electrolyte and a decrease in the overvoltage of the formation of peroxyacetic acid. The composition of the electrolyte, which ensures the voltage drop in the anolyte in the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid is not higher than 50 mV, is justified. Further research will be conducted in the anolyte of the following composition, mol/dm<sup>3</sup>:  $\text{CH}_3\text{COOH} - 3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,5$ . Electrochemical synthesis of peroxyacetic acid is advisable to conduct in the range of current densities of 500...1500 А/м<sup>2</sup>, at which the maximum current efficiency of the target product is observed. The composition of the electrolyte is proposed, which allows to produce solutions ( $j = 100$  mA/cm<sup>2</sup>,  $Q = 2,6$  A·h) with a final product concentration of 0,01 %.

**Keywords:** acetic acid, peroxyacetic acid, electroconductive additive, sulfuric acid, electrochemical synthesis, platinum anode.

**Вступ.** Пероксиоцтова кислота (ПООК) – це сильний дезінфектант з широким спектром антимікробної активності. Використовується як дезінфікуючий і протимікробний засіб (робочі розчини з концентрацією ПООК 0,001...0,3 %) в медицині та харчовій промисловості, як пастеризатор на пивоварнях та винних заводах, як вибілювальний агент в целюлозно-паперовому та текстильному виробництві, в промисловості для синтезу епоксидних з'єднань і т.п. Широкому розповсюдженню перешкоджає висока вартість ПООК пов'язана з обмеженим виробництвом та недовгим терміном зберігання.

При синтезі ПООК хімічним методом використовують: концентровану оцтову кислоту, концентрований пероксид водню ( $\geq 60$  %) та кислотний катализатор –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [1 – 6]. Процес утворення ПООК хімічним способом відбувається зі значними втратами пе-

роксиду водню, а кінцевий продукт потребує застосування стабілізаторів та спеціальних умов зберігання.

Застосування електрохімічних методів синтезу ПООК, безпосередньо на місцях використання, виключає витрати пов'язані з хімічним синтезом, транспортуванням та зберіганням, кислота виробляється у кількості, необхідній для споживання [7 – 14].

Основною проблемою електролізу водних розчинів оцтової кислоти є значний питомий опір електроліту та відповідно, високі питомі витрати електроенергії при синтезі ПООК.

**Мета роботи.** Обґрунтувати вибір електропровідної добавки для електрохімічного синтезу ПООК. Дослідити вплив добавки на кінетику анодних процесів в водних розчинах оцтової кислоти на платиновому електроді.

**Методика експерименту.** Електроліти готували

з концентрованої оцтової та сульфатної кислот марки «хч».

Виміри питомої електропровідності проводили в інтервалі температур 288...313 К з використанням моста змінного струму Р-5083. Концентрація оцтової кислоти змінювалась в діапазоні 0,5...9,0 моль/дм<sup>3</sup>.

Вольт-амперні залежності отримували за допомогою імпульсного потенціостату ПІ-50-1 з програматором ПР-8. Швидкість розгортки потенціалу 10 мВ/с.

Поляризаційні виміри проводили в електрохімічній комірці при температурі 285...288 К. В якості аноду використовували платиновий диск з робочою поверхнею 1,13 см<sup>2</sup>. Допоміжний електрод – платина. Електрод порівняння – хлорид-срібний, підведений до поверхні аноду за допомогою скляного ключа. Всі значення потенціалів перераховані відносно водневого електроду.

Електроліз проводили в електролізері з розділенням катодного і анодного простору діафрагмою з полівінілхлориду. Товщина шару електроліту складала 10 мм. Задану температуру електроліту підтримували пропусканням проточної води (278...281 К) через охолоджуючу камеру електролізера. Джерело живлення постійного струму Б5-46. Анод – платина, з робочою поверхнею 17,5 см<sup>2</sup>. Допоміжний електрод – 12Х18Н10Т.

Концентрацію напрацьованої ПООК визначали методом йодометричного титрування.

**Результати експерименту та їх обговорення.** Дослідження впливу концентрації оцтової кислоти на її електропровідність показали, що найбільшу питому електропровідність мають розчини в діапазоні концентрацій 2...5 моль/дм<sup>3</sup> (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення питомої електропровідності водних розчинів оцтової кислоти при 288 К

Концентрація СН <sub>3</sub> СООН, моль/дм <sup>3</sup>	$\kappa \cdot 10^3$ , См/см
0,5	0,70
1,0	1,17
2,0	1,47
3,0	1,53
4,0	1,52
5,0	1,38
6,0	1,23
7,0	1,07
8,0	0,87
9,0	0,68

Для подальших досліджень обрана концентрація оцтової кислоти 3 моль/дм<sup>3</sup>, як така, що потребує найменших енергетичних витрат для забезпечення робочої температури електролізу.

Для зниження питомого опору електроліту необхідно ввести до його складу електропровідну добавку. В якості електропровідної добавки обрано Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, так як при потенціалах електрохімічного синтезу ПООК вона не буде приймати участь в анодному процесі на відміну від НСІ. Також, додавання сульфатів у розчин оцтової кислоти не буде надавати промотуючу дію на суміщене, з цільовим процесом, виділення кисню.

Вибір концентрації сульфатної кислоти базувався на наступному: падіння напруги в аноліті не повинно перевищувати 50 мВ.

Поляризаційні виміри проводили на плоскому платиновому аноді з ізольованою тильною та торцевими сторонами. Платиновий анод було обрано через високу перенапругу протікання побічного процесу – виділення кисню. Також кінетика анодного процесу на платині в водних розчинах добре досліджена в широкому діапазоні рН та потенціалів [12 – 14].

На рисунку 1 представлена анодна потенціодинамічна залежність отримана на платиновому електроді в водному розчині оцтової кислоти.

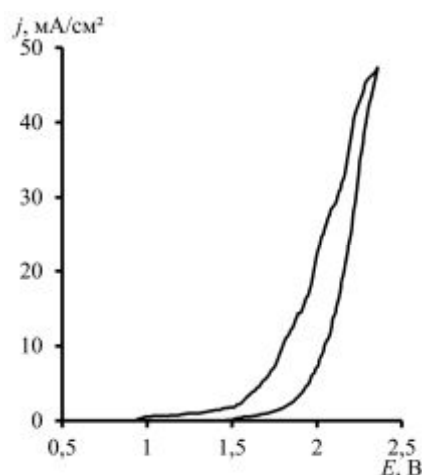
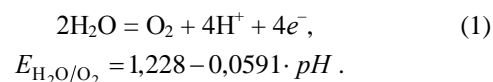
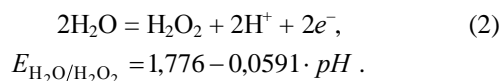


Рис. 1 – Анодна поляризаційна залежність на платині в 3 моль/дм<sup>3</sup> розчині оцтової кислоти.

Підйом струму (рис. 1) починається при потенціалі 0,9...1,1 В та супроводжується виділенням кисню за реакцією:



У 3 моль/дм<sup>3</sup> розчині оцтової кислоти рівноважний потенціал кисневої реакції складає 1,099 В. До потенціалів менше за 1,55...1,65 В зростання густини струму незначне (рис. 1), завдяки обраному матеріалу аноду. Стрімке зростання густини струму зі збільшенням потенціалу аноду більше за 1,65 В пов'язане з перебігом процесу утворення пероксиду водню за реакцією:



Діапазон потенціалів електрохімічного синтезу пероксиду водню співпадає з потенціалами електрохімічного утворення ( $E_{\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,689 \text{ В}$ ) ПООК. Тобто, процеси електрохімічного утворення пероксиду водню та ПООК є суміщеними або навіть пов'язаними.

Встановити природу анодних процесів на платині у 3 моль/дм<sup>3</sup> розчині оцтової кислоти, при анодних потенціалах більше 1,65 В, можна за допомогою аналізу продуктів анодного синтезу.

Відомо, що платина являється каталізатором розпаду пероксиду водню, тому єдиним продуктом анодної реакції в водних розчинах оцтової кислоти являється кисень. Маючи за мету гальмування виділення кисню доцільно проводити процес електролізу в розчинах оцтової кислоти з добавкою промоторів утворення перексо-групи.

На рисунку 2 представлені анодні потенціодинамічні залежності отримані на платиновому електроді в 3 моль/дм<sup>3</sup> розчині оцтової кислоти з різною концентрацією сульфатної кислоти в якості електропровідної добавки.

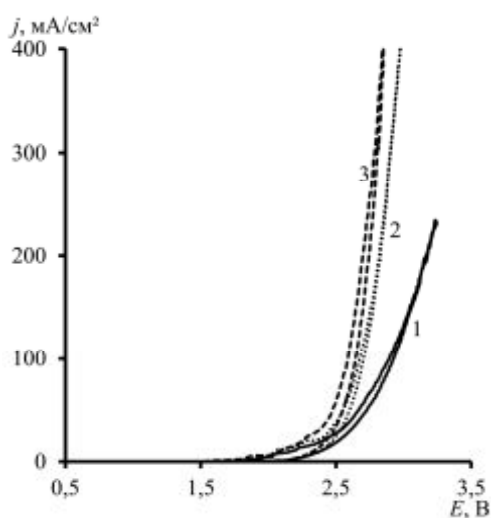


Рис. 2 – Анодні поляризаційні залежності на платині в 3 моль/дм<sup>3</sup> розчинах оцтової кислоти з концентрацією електропровідної добавки  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , моль/дм<sup>3</sup>: 1 – 0,2; 2 – 0,35; 3 – 0,5.

Підйом струму (рис. 2) починається при потенціалах 1,5...1,9 В та супроводжується виділенням кисню. Враховуючи потенціали при яких виділяється кисень можна стверджувати, що цей процес протікає через утворення пероксиду водню [12 – 14].

Порівнявши рисунок 1 та рисунок 2 можна стверджувати, що введення до складу електроліту електропровідної добавки –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , зменшує питомий опір розчину і гальмує процес виділення кисню (за рахунок конкурентної адсорбції іонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{OH}^-$  та молекул  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), з чим пов'язано зміщення потенціалів підйому струму в більш електропозитивну область.

Для подальшого обґрунтування вибору концентрації електропровідної добавки в таблиці 2 наведені значення постійних Тафеля  $a$  та  $b$  для відповідного складу електроліту.

Таблиця 2 – Значення постійних Тафеля  $a$  та  $b$

№	Склад електроліту, моль/дм <sup>3</sup>	Перша Тафелівська ділянка		Друга Тафелівська ділянка	
		$a$ , В	$b$ , В	$a$ , В	$b$ , В
1	$\text{CH}_3\text{COOH} - 3$	0,41	0,82	–	–
2	$\text{CH}_3\text{COOH} - 3,$ $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,2$	1,50	0,26	0,32	1,05
3	$\text{CH}_3\text{COOH} - 3,$ $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,35$	1,50	0,26	1,32	0,50
4	$\text{CH}_3\text{COOH} - 3,$ $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,5$	1,35	0,24	1,44	0,34

Згідно даних наведених в таблиці 2 для першого складу електроліту спостерігається одна Тафелівська ділянка та вона відповідає процесу виділення кисню.

Для 2...4 складу електроліту (табл. 2) спостерігається дві Тафелівські ділянки.

Перша, в діапазоні потенціалів 1,5...2,1 В, відповідає процесу виділення кисню.

На другій Тафелівській ділянці, в діапазоні потенціалів 2,4...3,2 В, анодний процес лімітується утворенням ПООК по електрохімічному механізму [13, 14]. Слід зауважити, що зі збільшенням складу електропровідної добавки від 0,2 до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> перенапряга утворення ПООК зменшується, про що свідчить зміна значення постійної  $b$  для відповідної Тафелівської ділянки в таблиці 2.

Згідно отриманих результатів дослідження кінетики анодних процесів, електрохімічний синтез ПООК доцільно проводити в діапазоні густин струму 500...1500 А/м<sup>2</sup>, при якому спостерігається максимальний вихід за струмом цільового продукту.

На основі вище сказаного було обрано наступний склад електроліту, моль/дм<sup>3</sup>:  $\text{CH}_3\text{COOH} - 3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,5$ . З даним складом електроліту було проведено електроліз ( $j = 100 \text{ mA/cm}^2$ ,  $Q = 2,6 \text{ A-год}$ ) та з тим, визначена концентрація напрацьованої ПООК, котра склала 0,01 %.

**Висновки.**

Обґрунтовано склад електроліту, який забезпечує падіння напруги в аноліті, при електрохімічному синтезі ПООК, не вище за 50 мВ. Подальші дослідження будуть проводитись в аноліті наступного складу, моль/дм<sup>3</sup>: CH<sub>3</sub>COOH – 3, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0,5.

Показано, що збільшення концентрації сульфатної кислоти від 0,2 до 0,5 моль/дм<sup>3</sup> призводить до збільшення електропровідності електроліту та зменшенню перенапруги утворення ПООК.

Електрохімічний синтез ПООК доцільно проводити в діапазоні густин струму 500...1500 А/м<sup>2</sup>, при якому спостерігається максимальний вихід за струмом цільового продукту.

Електроліз ( $j = 100$  мА/см<sup>2</sup>,  $Q = 2,6$  А·год) електроліту обраного складу дає можливість напрацьовувати розчини з концентрацією ПООК 0,01 %.

**Список літератури**

- Dul'neva L. V., Moskvina A. V. *Kinetics of formation of peroxyacetic acid*. Russian Journal of General Chemistry, 2005, Vol. 75, No 7, pp. 1125 – 1130.
- Zhao X., Zhang T., Zhou Y., Liu D. *Preparation of peracetic acid from hydrogen peroxide. Part I: Kinetics for peracetic acid synthesis and hydrolysis*. Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical, 2007, Vol. 271, pp. 246 – 252.
- Zhao X., Cheng K., Hao J., Liu D. *Preparation of peracetic acid from hydrogen peroxide. Part II: Kinetics for spontaneous decomposition of peracetic acid in the liquid phase*. Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical, 2008, Vol. 284, pp. 58 – 68.
- Zhao X., Zhang T., Zhou Y., Liu D. *Preparation of peracetic acid from acetic acid and hydrogen peroxide: experimentation and modeling*. Chinese Journal of Process Engineering, 2008, Vol. 8, No 1, pp. 35 – 41.
- Sun X., Zhao X., Du W., Liu D. *Kinetics of formic acid-autocatalyzed preparation of performic acid in aqueous phase*. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011, Vol. 19, No 6, pp. 964 – 971.
- Zhang T., Luo J., Chuang K., Zhong L. *Peracetic acid synthesis by acetaldehyde liquid phase oxidation in trickle bed reactor*. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2007, Vol. 15, No 3, pp. 320 – 325.
- Moraleda I., Llanos J., Sáez C., Rodrigo M. A., Cañizares P. *Integration of anodic and cathodic processes for the synergistic electrochemical production of peracetic acid*. Electrochemistry Communications, 2016, Vol. 73, pp. 1 – 4.
- Saha M. S., Denggerile A., Nishiki Y., Furuta T., Ohsaka T. *Synthesis of peroxyacetic acid using in situ electrogenerated hydrogen peroxide on gas diffusion electrode*. Electrochemistry Communications, 2003, Vol. 5, pp. 445 – 448.
- Cotillas S., Sánchez-Carretero A., Cañizares P., Sáez C., Rodrigo M. A. *Electrochemical synthesis of peroxyacetic acid using conductive diamond electrodes*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, Vol. 50, pp. 10889 – 10893.
- Ruiz-Ruiz E. J., Meas Y., Ortega-Borges R., Jurado Baizabal J. L. *Electrochemical production of peroxocarbonate at room temperature using conductive diamond anodes*. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2014, Vol. 50, No 6, pp. 478 – 484.
- Cañizares P., Sáez C., Sánchez-Carretero A., Rodrigo M. A. *Synthesis of novel oxidants by electrochemical technology*. Journal of Applied Electrochemistry, 2009, Vol. 39, pp. 2143 – 2149.
- Bilous T. A., Tulska G. G. *Promising Materials and Processes in Technical Electrochemistry: monograph*. Kyiv: KNUTD, 2016, pp. 244 – 248.
- Bilous T. A., Tulska G. G., Matrunchuk O. L. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph*. Kyiv: KNUTD, 2017, pp. 230 – 234.

**References (transliterated)**

- Dul'neva L. V., Moskvina A. V. *Kinetics of formation of peroxyacetic acid*. Russian Journal of General Chemistry, 2005, Vol. 75, No 7, pp. 1125 – 1130.
- Zhao X., Zhang T., Zhou Y., Liu D. *Preparation of peracetic acid from hydrogen peroxide. Part I: Kinetics for peracetic acid synthesis and hydrolysis*. Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical, 2007, Vol. 271, pp. 246 – 252.
- Zhao X., Cheng K., Hao J., Liu D. *Preparation of peracetic acid from hydrogen peroxide. Part II: Kinetics for spontaneous decomposition of peracetic acid in the liquid phase*. Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical, 2008, Vol. 284, pp. 58 – 68.
- Zhao X., Zhang T., Zhou Y., Liu D. *Preparation of peracetic acid from acetic acid and hydrogen peroxide: experimentation and modeling*. Chinese Journal of Process Engineering, 2008, Vol. 8, No 1, pp. 35 – 41.
- Sun X., Zhao X., Du W., Liu D. *Kinetics of formic acid-autocatalyzed preparation of performic acid in aqueous phase*. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011, Vol. 19, No 6, pp. 964 – 971.
- Zhang T., Luo J., Chuang K., Zhong L. *Peracetic acid synthesis by acetaldehyde liquid phase oxidation in trickle bed reactor*. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2007, Vol. 15, No 3, pp. 320 – 325.
- Moraleda I., Llanos J., Sáez C., Rodrigo M. A., Cañizares P. *Integration of anodic and cathodic processes for the synergistic electrochemical production of peracetic acid*. Electrochemistry Communications, 2016, Vol. 73, pp. 1 – 4.
- Saha M. S., Denggerile A., Nishiki Y., Furuta T., Ohsaka T. *Synthesis of peroxyacetic acid using in situ electrogenerated hydrogen peroxide on gas diffusion electrode*. Electrochemistry Communications, 2003, Vol. 5, pp. 445 – 448.
- Cotillas S., Sánchez-Carretero A., Cañizares P., Sáez C., Rodrigo M. A. *Electrochemical synthesis of peroxyacetic acid using conductive diamond electrodes*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, Vol. 50, pp. 10889 – 10893.
- Ruiz-Ruiz E. J., Meas Y., Ortega-Borges R., Jurado Baizabal J. L. *Electrochemical production of peroxocarbonate at room temperature using conductive diamond anodes*. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2014, Vol. 50, No 6, pp. 478 – 484.
- Cañizares P., Sáez C., Sánchez-Carretero A., Rodrigo M. A. *Synthesis of novel oxidants by electrochemical technology*. Journal of Applied Electrochemistry, 2009, Vol. 39, pp. 2143 – 2149.
- Bilous T. A., Tulska G. G. *Promising Materials and Processes in Technical Electrochemistry: monograph*. Kyiv: KNUTD, 2016, pp. 244 – 248.
- Bilous T. A., Tulska G. G., Matrunchuk O. L. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph*. Kyiv: KNUTD, 2017, pp. 230 – 234.

14. Bilous T. A., Tulsy G. G., Korohodska A. M., Podustov M. O. *Obgruntuvannya vyboru robochykh kontsentratsii ostovoi kysloty dlia elektrokhimichnoho syntezu peroksyotstovoi kysloty* [Justification of the choice of working concentrations of acetic acid for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, № 48, pp. 24 – 28.

Надійшла (received) 21.02.18

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Обґрунтування складу електроліту для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти / Т. А. Білоус, Г. Г. Тульський, О. Л. Матрунчик** // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 10 – 14. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0821.

**Обоснование состава электролита для электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты / Т. А. Белоус, Г. Г. Тульский, О. Л. Матрунчик** // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 10 – 14. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0821.

**Justification of the electrolyte composition for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid / T. A. Bilous, G. G. Tulsy, O. L. Matrunchyk** // Bulletin of NTU "KhPI". – Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – No 49 (1270). – P. 10 – 14. – Bibliogr.: 14 names. – ISSN 2079-0821.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Білоус Тетяна Андріївна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (097) 186-13-45; e-mail: beloustany@ukr.net

**Белоус Татьяна Андреевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (097) 186-13-45; e-mail: beloustany@ukr.net

**Bilous Tetiana Andriyivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; tel.: (097) 186-13-45; e-mail: [beloustany@ukr.net](mailto:beloustany@ukr.net).

**Тульський Геннадій Георгійович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри Технічної електрохімії; тел.: (096) 575-63-65; e-mail: [tgg@kpi.kharkov.ua](mailto:tgg@kpi.kharkov.ua)

**Тульский Геннадий Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой Технической электрохимии; тел.: (096) 575-63-65; e-mail: [tgg@kpi.kharkov.ua](mailto:tgg@kpi.kharkov.ua)

**Tulsy Gennadiy Georgiyovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Technical electrochemistry; tel.: (096) 575-63-65; e-mail: [tgg@kpi.kharkov.ua](mailto:tgg@kpi.kharkov.ua)

**Матрунчик Ольга Леонідівна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (099) 059-92-10; e-mail: [olenka12578@gmail.com](mailto:olenka12578@gmail.com)

**Матрунчик Ольга Леонидовна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (099) 059-92-10; e-mail: [olenka12578@gmail.com](mailto:olenka12578@gmail.com).

**Matrunchyk Olga Leonidivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; tel.: (099) 059-92-10; e-mail: [olenka12578@gmail.com](mailto:olenka12578@gmail.com)