

Т. А. БІЛОУС, А. Г. ТУЛЬСЬКА, І. Х. ШАХІН, С. О. САМОЙЛЕНКО

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРОМОТОРІВ УТВОРЕННЯ ПЕРОКСО-ГРУП ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ ПЕРОКСИОЦТОВОЇ КИСЛОТИ

Пероксиоцтова кислота – це сильний дезінфектант з широким спектром антимікробної активності. Використовується як дезінфікуючий і протимікробний засіб. Переваги використання пероксиоцтової кислоти: відсутні стійкі токсичні похідні, незначна залежність від рН, ефективність та короткий час контакту. В промислових масштабах одержують хімічним синтезом, проте він має безліч суттєвих недоліків. Застосування електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти, безпосередньо на місцях використання, виключає витрати пов'язані з хімічним синтезом, транспортуванням та зберіганням. Продемонстрована можливість електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти з концентраціями, достатніми для практичного використання в різноманітних галузях. Обґрунтовано необхідність застосування промоторів утворення пероксо-груп для збільшення виходу за струмом цільового продукту. Показано, що аніони, адсорбовані на поверхні платинового електроду, впливають на селективність анодного процесу і швидкість виділення кисню. Методом вольтамперометрії досліджено вплив добавок іонів CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- на кінетику анодних процесів в водному розчині $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ CH}_3\text{COOH} + 0,5 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ на платиновому електроді. Введення до складу електроліту добавок іонів CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- призводить до гальмування суміщеного анодного процесу – виділення кисню. Показано, що збільшення концентрації добавок (CNS^- , Γ , Cl^- , Br^-) в діапазоні $0,001 \dots 0,1 \text{ моль/дм}^3$ призводить до переважної адсорбції введених іонів на поверхні платинового електроду. Доцільно використовувати добавки іонів Γ , Cl^- , Br^- до електроліту для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти, бо вони сприяють досягненню максимального виходу за струмом цільового продукту ($1,4 \dots 2,1 \%$). Добавка іонів CNS^- не ефективна, її введення до складу електроліту електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти призводить до зменшення виходу за струмом цільового продукту. Електрохімічний синтез пероксиоцтової кислоти доцільно проводити в діапазоні потенціалів $2,4 \dots 2,7 \text{ В}$ та в діапазоні густин струму $500 \dots 3500 \text{ А/м}^2$. При цьому спостерігається максимальний вихід за струмом цільового продукту.

Ключові слова: пероксиоцтова кислота, оцтова кислота, сульфатна кислота, електрохімічний синтез, промотори, платиновий анод.

Т. А. БЕЛОУС, А. Г. ТУЛЬСКАЯ, И. Х. ШАХИН, С. А. САМОЙЛЕНКО

ОБОСНОВАНИЕ ВИБОРА ПРОМОТОРОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРОКСО-ГРУПП ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЕРОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

Пероксиуксусная кислота – это сильный дезинфектант с широким спектром антимикробной активности. Используется как дезинфицирующее и противомикробное средство. Преимущества использования пероксиуксусной кислоты: отсутствуют стойкие токсичные производные, незначительная зависимость от pH, эффективность и недлительное время контакта. В производственных масштабах получают химическим синтезом, но он имеет множество существенных недостатков. Применение электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты, непосредственно на местах использования, исключает расходы, связанные с химическим синтезом, транспортировкой и хранением. Продемонстрирована возможность электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты с концентрациями, достаточными для практического использования в различных областях. Обоснована необходимость использования промоторов образования пероксо-групп для увеличения выхода по току целевого продукта. Показано, что анионы, адсорбированные на поверхности платинового электрода, влияют на селективность анодных процессов и скорость выделения кислорода. Методом вольтамперометрии исследовано влияние добавок ионов CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- на кинетику анодных процессов в водном растворе $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ CH}_3\text{COOH} + 0,5 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ на платиновом электроде. Введение в состав электролита добавок ионов CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- приводит к торможению совмещенного анодного процесса – выделения кислорода. Показано, что увеличение концентрации добавок (CNS^- , Γ , Cl^- , Br^-) в диапазоне $0,001 \dots 0,1 \text{ моль/дм}^3$ приводит к преимущественной адсорбции введённых ионов на поверхности платинового электрода. Целесообразно использовать добавки ионов Γ , Cl^- , Br^- к электролиту для электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты, потому что они способствуют достижению максимального выхода по току целевого продукта ($1,4 \dots 2,1 \%$). Добавка ионов CNS^- не эффективна, ее введение в состав электролита электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты приводит к уменьшению выхода по току целевого продукта. Электрохимический синтез пероксиуксусной кислоты целесообразно проводить в диапазоне потенциалов $2,4 \dots 2,7 \text{ В}$ и в диапазоне плотностей тока $500 \dots 3500 \text{ А/м}^2$. При этом наблюдается максимальный выход по току целевого продукта.

Ключевые слова: пероксиуксусная кислота, уксусная кислота, серная кислота, электрохимический синтез, промоторы, платиновый анод.

T. A. BILOUS, A. G. TULSKAYA, I. H. CHAHINE, S. A. SAMOYLENKO

JUSTIFICATION OF PROMOTERS OF PEROXIDE-PARTICLES FORMATION FOR ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF PEROXYACETIC ACID

Peroxyacetic acid is a strong disinfectant with a wide spectrum of antimicrobial activity. It has been widely used in medical and hygiene fields, and disinfection of wastewater. The advantages of peroxyacetic acid are: no stable toxic derivatives, the dependence on pH is insignificant, efficiency and contact time are nondurable. Peroxyacetic acid is produced on an industrial scale by chemical synthesis. The output product requires specific storage conditions. Electrochemical methods of synthesis of peroxyacetic acid are divided into two directions: 1) production of PAA by the cathodic generation of hydrogen peroxide with the presence of acetic acid; 2) production peroxyacetic acid through the anodic oxidation. The advantages of electrochemical synthesis are production of peroxyacetic acid directly "in situ" and synthesis of diluted peroxyacetic acid and acetic acid. However, the concentration of peroxyacetic acid is lower comparing to the chemical synthesis, which can be defined as a disadvantage. The need for application of peroxide promoters for increasing the current efficiency has been justified. It has been shown the anions that have been adsorbed on the platinum surface have a great impact on the anodic selectivity and speed of oxygen providing. The influence of CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- on the anode kinetics in $3 \text{ mol/dm}^3 \text{ CH}_3\text{COOH} + 0,5 \text{ mol/dm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ solution has been studied by voltammetry on platinum surface. Addition of CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- leads to decreasing of combined anode process – oxygen providing. It has been shown that increasing of CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- concentration in range $0,001 \dots 0,1 \text{ mol/dm}^3$ leads to the primary adsorption of these ions on the platinum surface. The addition of Γ , Cl^- , Br^- for electrochemical synthesis of peroxyacetic acid is quietly reasonable. They are supposed to encourage the current efficiency ($1,4 \dots 2,1 \%$). The addition of CNS^- is non-reasonable due to the decreasing of current efficiency. Electrochemical synthesis of peroxyacetic acid should be performed in the range of potential from 2,4 to 2,7 V in the range of current density from 500 to 3500 A/m^2 which corresponds to the maximum current output.

Keywords: peroxyacetic acid, acetic acid, sulfuric acid, electrochemical synthesis, promoters, platinum anode.

© Т. А. Білоус, А. Г. Тульська, І. Х. Шахін, С. О. Самойленко, 2018

Вісник Національного технічного університету «ХПІ»

Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія, № 39(1315) 2018

Вступ. Пероксиоцтова кислота (ПООК) – це сильний дезінфектант з широким спектром антимікробної активності. Бактерицидна та спороцидна концентрація ПООК відповідає значенням 0,001...0,3 %, а наприклад, пероксиду водню – відповідно 1...3 %. Використовується як дезінфікуючий і протимікробний засіб в медицині та харчовій промисловості, для дезінфекції стічних вод, 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. Переваги ПООК: відсутні стійкі токсичні похідні, незначна залежність від рН, ефективність та короткий час контакту. Широкому розповсюдженню перешкоджає висока вартість ПООК пов'язана з обмеженим виробництвом та нетривалим терміном зберігання.

В промислових масштабах ПООК одержують хімічним синтезом, шляхом взаємодії концентрованої оцтової кислоти з концентрованим пероксидом водню в присутності кислотного каталізатору. В якості кислотного каталізатору найчастіше використовують H_2SO_4 [1]. Процес утворення ПООК хімічним способом відбувається зі значними втратами пероксиду 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 [2–4].

Актуальною проблемою для електрохімічного синтезу ПООК є пошук промоторів утворення пероксо-груп та як наслідок цього збільшення виходу за струмом цільового продукту. Відомо, що аніони, адсорбовані на поверхні платини, впливають на селективність анодного процесу і швидкість виділення кисню. Тому великий інтерес викликає дослідження впливу добавок роданід- [5] та галоген-іонів на кінетику анодних процесів в водних розчинах оцтової кислоти. Тим більш, що Cl^- та F^- являються промоторами при електрохімічному синтезі пероксидсульфатної кислоти та її солей.

Мета роботи. Дослідити вплив роданід- та галоген-іонів на кінетику анодних процесів в водному розчині $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ CH}_3\text{COOH} + 0,5 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$. На основі експериментальних досліджень рекомендувати склад електроліту при якому досягається максимальний вихід за струмом ПООК.

Методика експерименту. Електроліти готували з концентрованої оцтової та сульфатної кислот марки «хч».

Вольт-амперні залежності отримували за допомогою потенціостату Р-45Х. Швидкість розгортки потенціалу 10 мВ/с.

Поляризаційні виміри проводили в електрохімічній комірці при температурі 284...287 К. В якості аноду використовували платиновий диск з робочою поверхнею $1,13 \text{ см}^2$. 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 шляхом пропускання проточної води (278...281 К) через охолоджуючу камеру електролізера. Джерело живлення постійного струму Б5-46. Анод – платина, з робочою поверхнею $17,5 \text{ см}^2$. Допоміжний електрод – 12Х18Н10Т.

Концентрацію напрацьованої ПООК визначали методом йодометричного титрування.

Результати експерименту та їх обговорення. Напрямок анодного процесу в розчинах ацетатів залежить від великої кількості умов проведення процесу. Найбільший вплив мають: рН електроліту, матеріал аноду, потенціал аноду, температура, наявність в складі електроліту промоторів та інгібіторів [2–4].

Практично не можливе проведення електрохімічного синтезу цільового продукту (ПООК) без участі побічних суміщених процесів [2–4]. Маючи за мету гальмування виділення кисню доцільно проводити процес електролізу з використанням анодних матеріалів з високою перенапругою виділення кисню, в концентрованих водних розчинах оцтової кислоти, з добавками промоторів утворення пероксо-груп [2–4].

Високий питомий опір електроліту ($\kappa = 0,6...1,6 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ при 288 К) являється однією з основних проблем електролізу водних розчинів оцтової кислоти, що заважає досягненню потенціалів утворення ПООК. На основі попередніх досліджень ця проблема була вирішена введенням до складу електроліту електропровідної добавки H_2SO_4 в кількості $0,5 \text{ моль/см}^3$ [4].

Поляризаційні залежності отримані для $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ CH}_3\text{COOH} + 0,5 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ з добавками іонів: CNS^- , Γ , Cl^- , Br^- . Добавка іонів здійснювалась шляхом введення в електроліт відповідних солей лужних металів. 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 [2–4].

Отримані результати (рис. 1) вказують на вплив концентрації CNS^- в електроліті на протікання анодних процесів на платині. Добавка NH_4CNS в кількості $0,001 \text{ моль/дм}^3$ гальмує виділення кисню в усьому інтервалі досліджуваних густин струму (рис. 1, лінія 2). При цьому нахил прямолінійних ділянок поляризаційної залежності зменшився в порівнянні з аналогічною залежністю для електроліту без добавки CNS^- . Гальмування виділення кисню на платині при низьких концентраціях NH_4CNS можна пояснити специфічною адсорбцією CNS^- на поверхні робочого електроду.

Збільшення концентрації NH_4CNS до $0,01 \text{ моль/дм}^3$ та далі (рис. 1) призводить до переважної адсорбції CNS^- на поверхні робочого електроду та зниженню поляризації аноду при потенціалах, що відповідають процесу виділення кисню. Прямолінійна

ділянка при потенціалах 0,7...1,0 В для залежностей 3 та 4 на рисунку 2 відповідає процесу електрохімічного окиснення CNS^- по наступному механізму (в кислому середовищі):

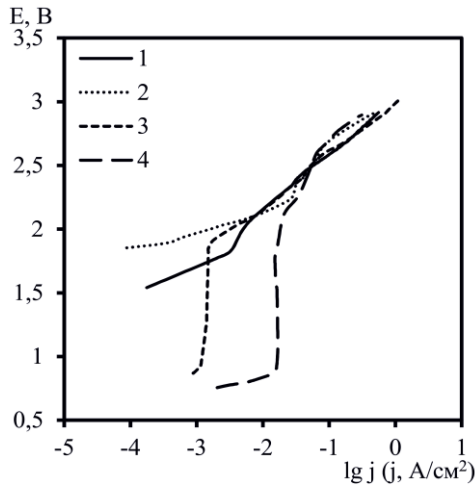
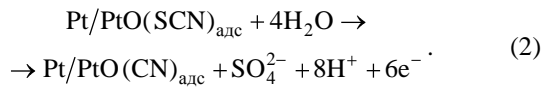


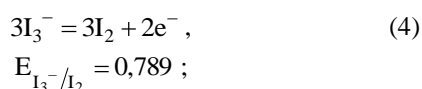
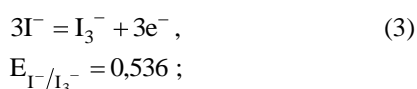
Рис. 1 – Вольтамперні залежності на платиновому електроді отримані в 3 моль/дм³ CH_3COOH + 0,5 моль/дм³ H_2SO_4 з концентрацією добавки CNS^- , моль/дм³: 1 – 0; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1

Стадія (1) протікає швидко, а стадія (2) – повільно. Слід зауважити, що електрохімічне окиснення CNS^- по даному механізму можливо лише в діапазоні високої концентрації ($> 10^{-3}$ моль/дм³) роданідів [6].

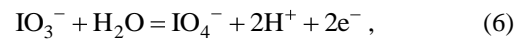
Прямолінійна ділянка при потенціалах 2,5...3 В для залежностей 1...4 на рисунку 1 відповідає процесу електрохімічного утворення ПООК [2–4]. Робочі густини струму при цьому знаходяться в діапазоні 1000...4000 А/м².

Рисунок 2 вказує на вплив концентрації Γ^- в електроліті на протікання анодних процесів на платині. Добавка KI в кількості 0,001 моль/дм³ призводить до гальмування виділення кисню в усьому інтервалі досліджуваних густин струму за рахунок специфічної адсорбції Γ^- на поверхні робочого електроду (рис. 2, лінія 2).

Подальше збільшення концентрації KI призводить до переважної адсорбції Γ^- на поверхні робочого електроду та зниженню поляризації аноду при потенціалах, що відповідають процесу виділення кисню. Прямолінійні ділянки при потенціалах 1,1...1,4 В та 1,6...2,1 В для залежностей 3 та 4 на рисунку 2 відповідають процесу електрохімічного окиснення Γ^- по наступному механізму (в кислому середовищі):



$$E_{\text{I}_2/\text{IO}_3^-} = 1,178 - 0,0709 \cdot \text{pH};$$



$$E_{\text{IO}_3^-/\text{IO}_4^-} = 1,653 - 0,0591 \cdot \text{pH}.$$

Згідно приведеного механізму стадії (3) та (4) протікають швидко, стадії (5) та (6) – повільно. При концентраціях $\text{KI} \geq 0,1$ моль/дм³ повільно протікає лише стадія (6).

Прямолінійна ділянка при потенціалах 2,3...2,8 В для залежностей 1...4 на рисунку 2 відповідає процесу електрохімічного утворення ПООК [2–4], робочі густини струму при цьому знаходяться в діапазоні 500...3500 А/м².

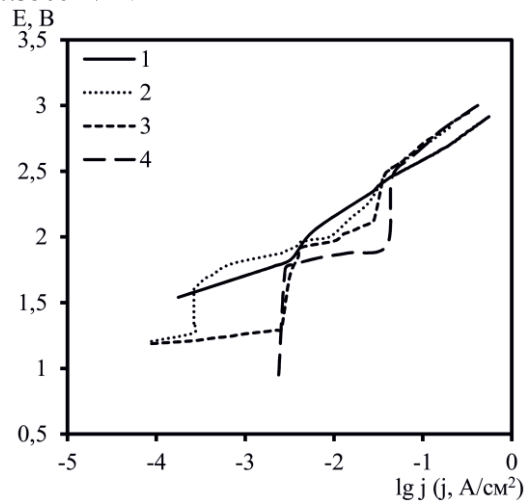
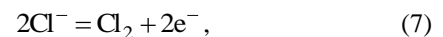
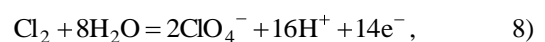


Рис. 2 – Вольтамперні залежності на платиновому електроді отримані в 3 моль/дм³ CH_3COOH + 0,5 моль/дм³ H_2SO_4 з концентрацією добавки Γ^- , моль/дм³: 1 – 0; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1.

Рисунок 3 вказує на вплив концентрації Cl^- в електроліті на протікання анодних процесів на платині. Добавка KCl в діапазоні концентрацій 0,001...0,1 моль/дм³ призводить до переважної адсорбції Cl^- на поверхні робочого електроду та зниженню поляризації аноду при потенціалах, що відповідають процесу виділення кисню. Прямолінійна ділянка при потенціалах 1,2...1,7 В для залежностей 2...4 на рисунку 3 відповідає процесу електрохімічного окиснення Cl^- по наступному механізму (в кислому середовищі):



$$E_{\text{Cl}^-/\text{Cl}_2} = 1,359;$$



$$E_{\text{Cl}_2/\text{ClO}_4^-} = 1,389 - 0,0675 \cdot \text{pH}.$$

Прямолінійна ділянка при потенціалах 2,5...2,8 В для залежностей 1...4 на рисунку 3 відповідає процесу електрохімічного утворення ПООК [2–4], робочі густини струму при цьому знаходяться в діапазоні 500...3500 А/м². Слід зауважити, що найменший нахил даної прямолінійної ділянки спостерігається для залежності 2 в порівнянні з іншими на рисунку 3.

Рисунок 4 вказує на вплив концентрації Br^- в електроліті на протікання анодних процесів на платині.

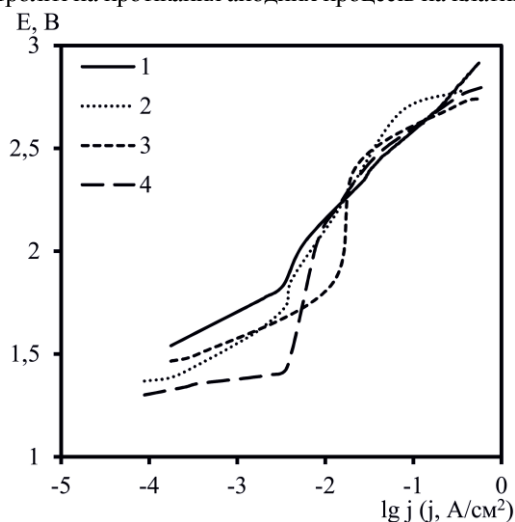


Рис. 3 – Вольтамперні залежності на платиновому електроді отримані в 3 моль/дм³ CH_3COOH + 0,5 моль/дм³ H_2SO_4 з концентрацією добавки Cl^- , моль/дм³: 1 – 0; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1

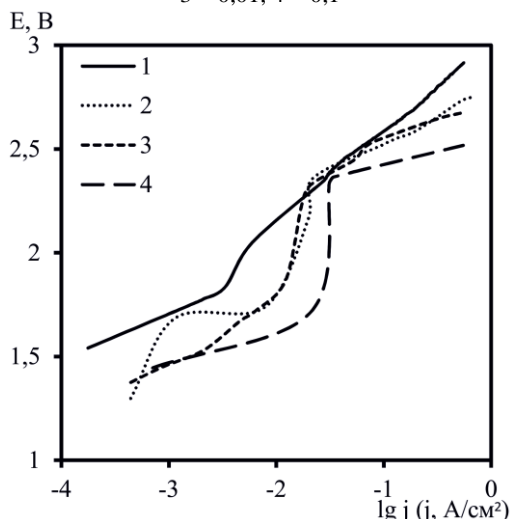
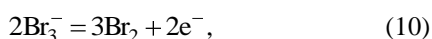


Рис. 4 – Вольтамперні залежності на платиновому електроді отримані в 3 моль/дм³ CH_3COOH + 0,5 моль/дм³ H_2SO_4 з концентрацією добавки Br^- , моль/дм³: 1 – 0; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1

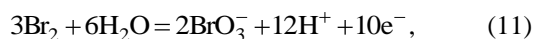
Добавка KBr в діапазоні концентрацій 0,001...0,1 моль/дм³ призводить до переважної адсорбції Br^- на поверхні робочого електроду та зниженню поляризації аноду при потенціалах, що відповідають процесу виділення кисню. Прямолинійна ділянка при потенціалах 1,3...1,8 В для залежностей 2...4 на рисунку 4 відповідає процесу електрохімічного окиснення Br^- по наступному механізму (в кислому середовищі):



$$E_{\text{Br}^-/\text{Br}_3^-} = 1,051;$$



$$E_{\text{Br}_3^-/\text{Br}_2} = 1,159;$$



$$E_{\text{Br}_2/\text{BrO}_3^-} = 1,491 - 0,0709 \cdot \text{pH}.$$

Прямолинійна ділянка при потенціалах 2,3...2,8 В для залежностей 1...4 на рисунку 4 відповідає процесу електрохімічного утворення ПООК [2–4], робочі густини струму при цьому знаходяться в діапазоні 500...3500 А/м².

Введення до складу електроліту добавок іонів CNS^- , I^- , Cl^- , Br^- призводить до гальмування анодного процесу – виділення кисню. Збільшення анодного потенціалу відбувається за рахунок адсорбції на поверхні платинового аноду введених аніонів та зменшення числа активних центрів виділення кисню. Слід зауважити, що збільшення концентрації добавок (CNS^- , I^- , Cl^- , Br^-) в діапазоні 0,001...0,1 моль/дм³ призводить до переважної адсорбції введених іонів на поверхні платинового електроду.

В таблиці 1 наведені результати електрохімічного синтезу ПООК на платиновому електроді ($\tau_{\text{електролізу}} = 30$ хв).

Таблиця 1 – Результати електрохімічного синтезу ПООК на платиновому електроді

Склад електроліту, моль/дм ³	Густина струму, мА/см ²	Вихід за струмом H_2O_2 , %	Вихід за струмом ПООК, %	$\text{C}_{\text{ПООК}}$, %
Вихідний розчин (ВР): $\text{CH}_3\text{COOH} - 3$ $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,5$	280	0,40	1,42	0,09
ВР + 0,001 NH_4CNS	280	0,34	1,21	0,08
ВР + 0,001 KI	280	0,32	1,75	0,12
ВР + 0,001 KCl	280	0,31	2,10	0,14
ВР + 0,001 KBr	280	0,26	1,43	0,11

В таблиці 2 наведено області застосування та концентрації робочих розчинів по ПООК для них.

Таблиця 2 – Области використання та концентрації робочих розчинів по ПООК

Области використання ПООК	Концентрація робочих розчинів по ПООК, %
Підприємства молочної промисловості (дезінфекція)	0,015...0,025
Приміщення та обладнання птахопереробного цеху (дезінфекція); тушки птахів, шкарлупа яєць (зниження мікробної забрудненості)	0,02...0,03
Вироби медичного призначення (дезінфекція та стерилізація)	0,1

Приведені результати електрохімічного синтезу (табл. 1) свідчать про вплив добавок на вихід за струмом ПООК на платиновому аноді. Найбільш ефективною являється добавка Cl^- , так як її введення до складу електроліту сприяє досягненню максимального виходу за струмом ПООК = 2,1 %.

Добавка CNS^- не ефективна, бо її введення до складу електроліту збільшує значення густини струму при яких досягається потенціали електрохімічного синтезу ПООК, при цьому вихід за струмом та концентрація цільового

продукту залишаються не змінними в порівнянні з електролітом без добавок (табл. 1).

Концентрації ПООК, одержані при електрохімічному синтезі (табл. 1), співвідносні з концентраціями ПООК в робочих розчинах для дезінфекції та т.п. (табл. 2).

Висновки.

Показана можливість електрохімічного синтезу ПООК з концентраціями 0,08...0,14 %, що є достатніми для практичного використання.

Введення до складу електроліту добавок іонів CNS^- , Г , СГ , Вг^- призводить до гальмування суміщеного анодного процесу – виділення кисню.

Показано, що збільшення концентрації добавок (CNS^- , Г , СГ , Вг^-) в діапазоні 0,001...0,1 моль/дм³ призводить до переважної адсорбції введених іонів на поверхні платинового електроду.

Добавка CNS^- не ефективна, її введення до складу електроліту збільшує значення густин струму при яких досягається потенціали електрохімічного синтезу ПООК, при цьому вихід за струмом та концентрація цільового продукту залишаються не змінними в порівнянні з електролітом без добавок.

Доцільно використовувати добавки іонів Г , СГ та Вг^- до електроліту для електрохімічного синтезу ПООК, бо вони сприяють досягненню максимального виходу за струмом кінцевого продукту (1,4...2,1 %).

Електрохімічний синтез ПООК доцільно проводити в діапазоні потенціалів 2,4...2,7 В та в діапазоні густин струму 500...3500 А/м². При цьому спостерігається максимальний вихід за струмом цільового продукту (ПООК).

Список літератури

1. 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.
2. Bilous T. A., Tulska A. G., Matrunchyk O. L. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyiv: KNUVD, 2017. 230–234 p.

3. Білоус Т. А., Тульський Г. Г., Корогодська А. М., Подустов М. О. Обґрунтування вибору робочих концентрацій оцтової кислоти для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. № 48 (1269). С. 24–28.
4. Білоус Т. А., Тульський Г. Г., Матрунчик О. Л. Обґрунтування складу електроліту для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. № 49 (1270). С. 10–14.
5. Хидиروف Ш. Ш., Хибиев Х. С. Реакция электросинтеза Кольбе в условиях модифицирования поверхности платинового анода CNS^- -ионами. *Электрохимия*. 2005. Т. 41, № 11. С. 1319–1322.
6. Peña O. I. G., Vong Y. M., Chapman T. W., López R. A. Study of adsorption and oxidation of thiocyanate at the metal/solution interface by EQCM and EIS. *ECS Transactions*. 2007, vol. 3, no 17, pp. 9–17.

References (transliterated)

1. 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.
2. Bilous T. A., Tulska A. G., Matrunchyk O. L. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyiv: KNUVD, 2017. 230–234 p.
3. Bilous T. A., Tulska G. G., Korohodska A. M., Podustov M. O. Obgruntuvannya vyboru robochykh konsentratsii otcovoi 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, no 48 (1269), pp. 24–28.
4. Bilous T. A., Tulska G. G., Matrunchyk O. L. Obgruntuvannya skladu elektrolitu dlia elektrokhimichnoho syntezu peroksyotstovoi kysloty [Justification of the electrolyte composition for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no 49 (1270), pp. 10–14.
5. Khidirov Sh. Sh., Khibiev Kh. S. Reaktsiya elektrosynteza Kolbe v uslovyakh modyfytirovaniya poverkhnosti platynovoho anoda CNS^- -ionami [Kolbe electrolysis reaction under the conditions of modifying the surface of a platinum anode with CNS^- -ions]. *Electrochemistry*. 2005, vol. 41, no 11, pp. 1319–1322.
6. Peña O. I. G., Vong Y. M., Chapman T. W., López R. A. Study of adsorption and oxidation of thiocyanate at the metal/solution interface by EQCM and EIS. *ECS Transactions*. 2007, vol. 3, no 17, pp. 9–17.

Надійшла (received) 18.10.18

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Білоус Тетяна Андріївна (Белоус Татьяна Андреевна, Bilous Tetiana Andriyivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9934-967X>; e-mail: beloustany@ukr.net.

Тульська Альона Геннадіївна (Тульская Алена Геннадьевна, Tulska Aлена Gennadiivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3982-6996>; e-mail: fuel.khpi@gmail.com.

Шахін Іссам Хуссейн (Шахин Иссам Хуссейн, Shahine Issam Hussein) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії; м. Харків, Україна; e-mail: dr.issamchahine@hotmail.com.

Самойленко Сергій Олексійович (Самойленко Сергей Алексеевич, Samoilenko Sergey Alekseevych) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, доцент кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6176-5862>; e-mail: serg2sam@gmail.com.