

С. О. ВОДОЛАЖЧЕНКО, С. Г. ДЕРІБО, Т. В. ШКОЛЬНИКОВА, І. Х. ШАХІН

ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ЕЛЕКТРОЛІТУ В ЕЛЕКТРОХІМІЧНОМУ СИНТЕЗІ ПЕРОКСИМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ

Пероксимолочна кислота (ПОМК) є сильним дезінфектантом з широким спектром антимікробної активності. Її широке застосування гальмується через відсутність електрохімічної технології синтезу ПОМК, що дозволить розробити локальні електрохімічні генератори для виробництва дезінфектантів на її основі. Для аналізу вольт амперних залежностей перебігу суміщених анодних процесів був застосований термодинамічний аналіз рівноважних потенціалів. Відомості про стандартний потенціал системи $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$ відсутні, як в довідковій літературі, так і в фахових наукових виданнях. Показано, що електрохімічний синтез ПОМК є суміщеним з процесами виділення кисню та утворення пероксиду водню. Для гальмування перебігу побічних процесів застосована добавка до розчину молочної кислоти $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$. Адсорбція сульфат іонів призводить до витіснення певної частки молекул води за межі між фазної границі. Також відмічено збільшення майже в 2 рази анодної густини струму при потенціалах електрохімічного синтезу пероксисполук. Встановлено, що молекула молочної кислоти вбудовується в структуру приелектродного шару з спрямованою до поверхні аноду карбоксильною групою. Перегин вольт амперної залежності, при потенціалах більш позитивних за $1,70 \dots 1,75 \text{ В}$, вказує на перебіг суміщених процесів утворення пероксисполук, які перебігають зі значним гальмуванням кисневої реакції на Pt/PtO_2 аноді. Виділення кисню в цих умовах відбувається через утворення і розклад H_2O_2 . Різниця потенціалів прямого і зворотнього ходу вольт амперних залежностей вказує на значний вплив молочної кислоти на адсорбційні процеси на поверхні аноду. Одержані результати підтвердили обґрунтованість вибору Pt/PtO_2 аноду для електрохімічного синтезу ПОМК. Обґрунтовано склад електроліту для електрохімічного синтезу ПОМК: $2 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ молочної кислоти, $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ сульфатної кислоти.

Ключові слова: молочна кислота, пероксимолочна кислота, дезінфектант, суміщені анодні процеси, електрохімічного синтез, пероксид водню.

С. А. ВОДОЛАЖЧЕНКО, С. Г. ДЕРІБО, Т. В. ШКОЛЬНИКОВА, І. Х. ШАХІН

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ ПЕРОКСИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Пероксимолочна кислота (ПОМК) являється сильним дезінфектантом с широким спектром антимикробной активности. Ее широкое применение тормозится из-за отсутствия электрохимической технологии синтеза ПОМК, что позволит разработать локальные электрохимические генераторы для производства дезинфектантов на ее основе. Сведения о стандартном потенциал системы $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$ отсутствуют, как в справочной литературе, так и в профессиональных научных изданиях. Показано, что электрохимический синтез ПОМК будет совмещен с процессами выделения кислорода и образования пероксида водорода. Для торможения протекания побочных процессов применена добавка к раствору молочной кислоты $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$. Адсорбция сульфат ионов приводит к вытеснению определенной доли молекул воды за пределы между фазной границы. Также отмечено увеличение почти в 2 раза анодной плотности тока при потенциалах электрохимического синтеза пероксисполук. Установлено, что молекула молочной кислоты встраивается в структуру приелектродного слоя с направленной к поверхности анода карбоксильной группой. Перегиб вольт амперной зависимости, при потенциалах более положительных за $1,70 \dots 1,75 \text{ В}$, указывает на ход совмещенных процессов образования пероксисполук, протекающие со значительным торможением кислородной реакции на Pt/PtO_2 аноде. Выделение кислорода в этих условиях происходит из-за образования и расписания H_2O_2 . Разность потенциалов прямого и обратного хода вольт амперных зависимостей указывает на значительное влияние молочной кислоты на адсорбционные процессы на поверхности анода. Полученные результаты подтвердили обоснованность выбора Pt/PtO_2 анода для электрохимического синтеза ПОМК. Обоснованно состав электролита для электрохимического синтеза ПОМК: $2 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ молочной кислоты, $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ серной кислоты.

Ключевые слова: молочная кислота, пероксимолочна кислота, дезинфектант, совмещенные анодные процессы, электрохимического синтез, пероксид водорода.

S. A. VODOLAZHENKO, S. G. DERIBO, T. V. SHKOLNIKOVA, I. H. SHAHINE

SUBSTANTIATION OF THE ELECTROLYTE COMPOSITION IN THE ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF PEROXYLIC ACID

Peroxy lactic acid (PLA) is a strong disinfectant with a wide spectrum of antimicrobial activity. Its widespread use is hampered by the lack of an electrochemical technology for PLA synthesis, which will make it possible to develop local electrochemical generators for the production of disinfectants. There is no information about the standard potential of the $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$ system, both in

© Водолажченко С. О., Дерібо С. Г., Школьникова Т. В., Шахін І. Х., 2020

Вісник Національного технічного університету «ХПІ»

Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія, № 2(4) 2020

reference literature and professional scientific publications. It has been shown that the electrochemical synthesis of PLA will be combined with the processes of oxygen release and the formation of hydrogen peroxide. To inhibit side processes, an additive to a solution of lactic acid 0.5 mol dm^{-3} H_2SO_4 was used. The adsorption of sulfate ions leads to the displacement of a certain proportion of water molecules outside the boundaries of the phase boundaries. An almost 2-fold increase in the anodic current density was also noted at the potentials of electrochemical synthesis of peroxide compounds. It has been found that a lactic acid molecule is integrated into the structure of the near-electrode layer with a carboxyl group directed towards the anode surface. The inflection of the current-voltage curve, at potentials more positive than 1.70...1.75 V, indicates the course of the combined processes of the formation of peroxide compounds, proceeding with a significant inhibition of the oxygen reaction at the Pt/PtO₂ anode. The release of oxygen under these conditions occurs due to the formation and destruction of H₂O₂. The potential difference between the forward and reverse runs of the current-voltage curve indicates a significant effect of lactic acid on the adsorption processes on the anode surface. The results obtained confirmed the relevant choice of the Pt/PtO₂ anode for the electrochemical synthesis of PLA. The characteristics of the electrolyte for the electrochemical synthesis of PLA has been defined: 2 mol dm^{-3} of lactic acid, 0.5 mol dm^{-3} of sulfuric acid.

Keywords: lactic acid, peroxy lactic acid, disinfectant, combined anodic processes, electrochemical synthesis, hydrogen peroxide

Вступ. Пероксимолочна кислота (ПОМК) – сильний дезінфектант з широким спектром антимікробної активності. Використовується як дезінфікуючий і протимікробний засіб в медицині та харчовій промисловості; як пастеризатор на пивоварнях та винних заводах, як вибілювальний агент в целюлозно-паперовому та текстильному виробництві; в хімічній промисловості для синтезу епоксидних з'єднань і т.п. Широкому розповсюдженню перешкоджає висока вартість ПОМК пов'язана з обмеженим виробництвом та обмеженим терміном зберігання. На теперішній час ПОМК в промислових масштабах одержують хімічним синтезом, шляхом взаємодії концентрованої молочної кислоти (МК) з концентрованим пероксидом водню в присутності кислотного каталізатору [1, 2]. В якості кислотного каталізатору, як правило, використовують сульфатну кислоту.

Утворення ПОМК хімічним способом проходить зі значними втратами пероксиду водню, протягом 8...12 діб, а кінцевий продукт потребує застосування стабілізаторів та спеціальних умов зберігання. Застосування електрохімічних технологій одержання ПОМК, безпосередньо на місцях використання, виключає витрати пов'язані з хімічним синтезом, транспортуванням та зберіганням [3–5]. Електрохімічний синтез дозволить виробляти ПОМК у кількості, необхідній для споживання.

Метою дослідження було встановлення природи речовин, які приймають участь у сумішених процесах на платиновому аноді, в широкому діапазоні концентрацій молочної кислоти, при високих анодних потенціалах.

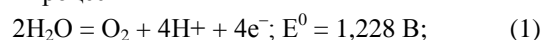
Методика. Електроліти готували з концентрованої молочної та сульфатної кислот марки «хч». Поляризаційні виміри проводили з використанням потенціостату Р - 45Х в електрохімічній комірці при температурі 291...295 К. В якості аноду використовували гладку платину з робочою поверхнею $1,13 \text{ cm}^2$. Робоча поверхня платинового електроду відполірована, тильна та торцеві сторони – ізольовані полімерним

покриттям. Платиновий анод мав сформовану оксидну плівку на робочій поверхні. Допоміжний електрод – платина. Електрод порівняння – хлорид-срібний, підведений до поверхні аноду за допомогою скляного ключа. Всі значення потенціалів перераховано відносно водневого електроду. Концентрацію напруцьованої ПОМК та пероксиду водню визначали методом йодометричного титрування [6].

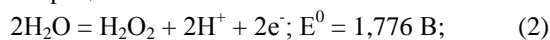
Результати експерименту та їх обговорення

При електролізі водних розчинів молочної кислоти на малозношуваному аноді протікають наступні суміщені процеси (за зростанням анодного потенціалу):

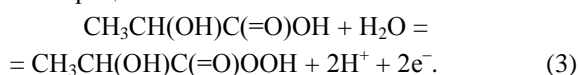
побічний процес



побічний процес



цільовий процес



Відомості про стандартний потенціал реакції (3) відсутні, як в довідковій літературі, так і в фахових наукових виданнях. Значна кількість досліджень присвячена електрохімічному синтезу пероксиоцтової кислоти (ПООК). Питання стандартного потенціалу для системи $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$ було узагальнено Zhang, Brown та Hu в роботі [7]. Наведений діапазон охоплює 1,06...1,96 В [1, 8–10]. З публікацій незрозуміло, як були розраховані ці наведені значення окислювально-відновних потенціалів. Відомо, що окислювально-відновні потенціали значно залежать від рН. При однакових значеннях рН такі потенціали повинні мати співставні значення. Відсутність відомостей про окислювально-відновні потенціали ПООК, ПОМК та інші пероксикарбонові кислоти не можливо проаналізувати хід вольт амперних залежностей при електрохімічному синтезі таких сполук.

Приймаючи до уваги, що за хімічним методом пероксикарбонові кислоти одержують дією концентрованого розчину пероксиду водню (35...50 %) на концентровані розчини відповідних карбонових кислот в присутності каталізатору ($10 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$), окислювально-відновні потенціали пероксикарбонових кислот не можуть перевищувати окислювально-відновний потенціал концентрованого розчину пероксиду водню при $\text{pH} \approx 1,2$.

В роботі [11] наведені значення ентальпії дисоціації зв'язку O–O для HC(=O)OON і $\text{CH}_3\text{C(=O)OON}$, що склали $48 \text{ ккал} \cdot \text{моль}^{-1}$ при 298 К . Для H_2O_2 значення ентальпії дисоціації зв'язку O–O склало $50 \text{ ккал} \cdot \text{моль}^{-1}$. Наведені відомості вказують на близькість термодинамічних характеристик зв'язку O–O, як в пероксиді водню, так і в пероксидкарбонових кислотах. Однак ця близькість термодинамічних характеристик не дозволяє застосувати традиційний підхід до механізму пероксисполук для дослідження механізму утворення ПОМК.

Наведені стандартні потенціали процесів (2) і (3) близькі один до одного і значно перевищують стандартний потенціал кисневої реакції (1). Тому електрохімічний синтез ПОМК буде суміщений з процесами виділення кисню та утворення пероксиду водню. Відомо, що частина пероксиду водню, через низьку стабільність, при контакті з платиною буде розпадатися з утворенням кисню.

Для визначення параметрів електрохімічного синтезу цільового продукту необхідно було встановити умови керування суміщеними анодними процесами та запропонувати можливі механізми перебігу цих процесів при високих анодних потенціалах. Для досліджень використовували водні розчини МК в діапазоні концентрацій $0,5 \dots 9 \text{ моль} / \text{дм}^3$, що відповідає діапазону $\text{pH} = 1,4 \dots 2,7$.

Для досягнення високих анодних потенціалів для реалізації процесу (1) було обрано анодний матеріал з високою перенапругою виділення кисню – платину. До того ж, кінетика анодного процесу на платині в кислих водних розчинах добре досліджена в широкому діапазоні pH та потенціалів [3, 4, 12]. При проведенні досліджень анодні потенціали обмежувалися $2,2 \dots 2,5 \text{ В}$ для запобігання перебігу реакцій Кольбе, Гофера–Места та процесів заміщення та приєднання [13, 14].

На рисунку 1 представлені анодні потенціодинамічні залежності отримані на платиновому електроді в водних розчинах $0,5 \dots 8,0 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ МК}$ (рис. 1, а) та з додаванням $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ (рис. 1, б). Плати-

новий анод вже має сформований шар оксидів і тому струм на формування оксидно платинового поверхневого шару не витрачається. Підйом густини струму для всього діапазону досліджуваних концентрацій молочної кислоти (рис. 2, а) починається в діапазоні потенціалів $1,40 \dots 1,50 \text{ В}$ (рис. 1, а). Тобто, поява струму, при досягненні цієї області потенціалів, відповідає виділенню кисню. До потенціалів $1,6 \dots 1,7 \text{ В}$ виділення кисню перебігає зі значною перенапругою, що дозволяє досягнути потенціалів утворення пероксисполук.

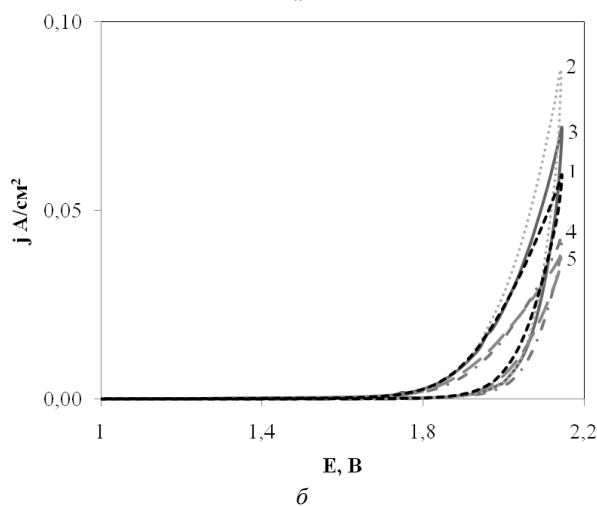
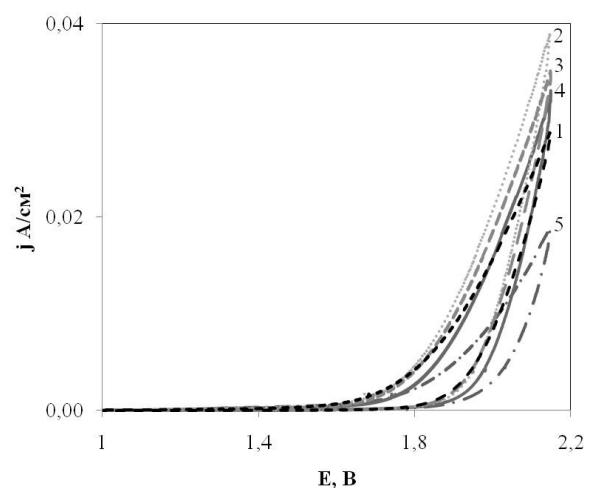


Рисунок 1 – Анодні поляризаційні залежності на платині в розчинах МК (а) та в розчинах МК з додаванням $0,5 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ (б). Концентрація молочної кислоти $\text{моль} / \text{дм}^3$: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3; 5 – 4

Перегин вольт амперної залежності, при потенціалах більш позитивних за $1,70 \dots 1,75 \text{ В}$ (рис. 1, а), вказує на перебіг суміщених процесів утворення пероксисполук, які перебігають зі значним гальмуванням кисневої реакції на Pt/PtO_2 аноді. Частину струму, яка витрачається на кожен з цих процесів, можна ви-

значити за результатами аналізу кількості кисню, який виділювався, та H_2O_2 і ПОМК, що утворилися. Різниця потенціалів прямого і зворотнього ходу вольт-амперних залежностей вказує на значний вплив МК на адсорбційні процеси на поверхні аноду. Одержані результати підтвердили обґрунтованість вибору Pt/PtO₂ аноду для електрохімічного синтезу ПОМК.

Однак, низькі значення густини струму вказують на недоцільність електрохімічного окислення водних розчинів МК без каталітичних домішок. Аналіз вольт-амперних залежностей 1, 4, 5 (рис. 1, а) вказує на значний вклад омичної складової у стрибку потенціалу на границі електрод-електроліт у розчинах МК з низькою (0,5 моль·дм⁻³) і високою (6,0...8,0 моль·дм⁻³) концентраціями. Із збільшенням концентрації МК відбувається витіснення молекул води з границі розділу фаз і вода все менше приймає участь у перебігу анодного процесу. При низьких значеннях анодної густини струму (менше 0,01 А·см⁻²) не досягаються потенціали електрохімічного синтезу пероксисполук.

Для збільшення провідності водних розчинів молочної кислоти та гальмування суміщеної реакції виділення кисню була використана домішка 0,5 моль·дм⁻³ сульфатної кислоти. Сульфатна кислота застосовується при хімічному синтезі пероксикарбонових кислот і не є шкідливою [15, 16]. Концентрація домішки 0,5 моль·дм⁻³ сульфатної кислоти була обґрунтована у роботах [17, 18].

Додавання до розчинів молочної кислоти 0,5 моль·дм⁻³ сульфатної кислоти змінює перебіг вольт-амперних залежностей анодного процесу (рис. 2, б). Початок підйому струму зміщується більш ніж на 300 мВ у позитивний бік, що можна пояснити переважною адсорбцією сульфат іонів на поверхні Pt/PtO₂ аноду. Адсорбція сульфат іонів призводить до витіснення певної частки молекул води за межі між фазної границі. Також відмічено збільшення майже в 2 рази анодної густини струму при потенціалах електрохімічного синтезу пероксисполук.

Для обґрунтування робочих концентрацій МК в електроліті побудовано залежність густини струму при потенціалі аноду 2,0 В від концентрації МК (рис. 2).

Такий хід залежності, та наявність максимуму, вказує на конкурентний вплив адсорбції молекул МК з молекулами розчинника, а саме води, на поверхні Pt/PtO₂ аноду.

Враховуючи що при високих анодних потенціалах (більше 2,2...2,3 В) можливий початок перебігу процесів, які описуються реакціями Кольбе і реакції Гофера-Места, вважаємо за недоцільне проводити

електроліз при таких потенціалах, та обрати, як доцільну для подальших досліджень концентрацію МК 2 моль·дм⁻³.

Для обґрунтування механізму анодного процесу, при окисленні водних розчинів МК, необхідно визначити у якій формі МК приймає участь в анодному процесі. Та чи перебігає процес окиснення МК напряму, чи через окислення інтермедіатом – пероксидом водню, що утворився в результаті перебігу анодного процесу.

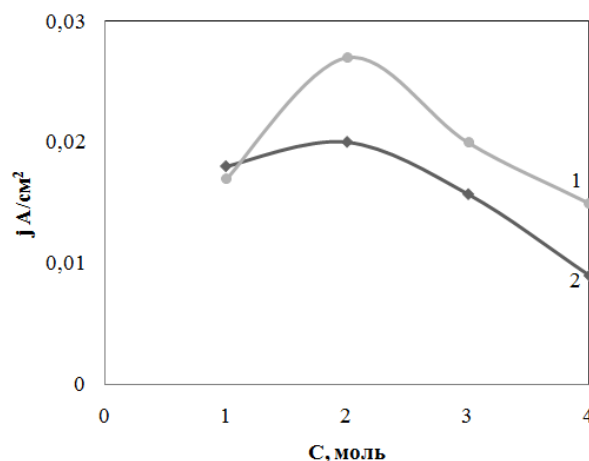


Рисунок 2 – Залежності анодної густини струму від концентрації МК при потенціалі аноду 2,0 В. 1 – з 0,5 моль·дм⁻³ H₂SO₄, 2 – без додавання H₂SO₄

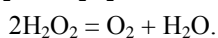
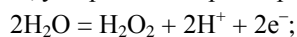
В таблиці наведені значення рН для досліджуваних розчинів МК та відповідні рівноважні потенціали кисневої та пероксикисневої реакцій для таких рН. Рівноважні потенціали наведено для концентрацій МК, ПОМК та H_2O_2 в 1 моль·дм⁻³.

Таблиця 1 – значення рН та рівноважні потенціали досліджуваної системи.

| Склад електроліту, моль·дм ⁻³ | | рН електроліту | $E_{\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2}$, В | $E_{\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2}$, В |
|--|--------------------------------|----------------|---|---|
| МК | H ₂ SO ₄ | | | |
| 0,5 | – | 2,08 | 1,105 | 1,653 |
| 1,0 | | 1,93 | 1,114 | 1,662 |
| 2,0 | | 1,78 | 1,123 | 1,671 |
| 3,0 | | 1,69 | 1,128 | 1,676 |
| 4,0 | | 1,63 | 1,132 | 1,680 |
| 0,5 | 0,5 | 0,30 | 1,210 | 1,758 |
| 1,0 | | | | |
| 2,0 | | | | |
| 3,0 | | | | |
| 4,0 | | | | |

Розраховані значення рівноважних потенціалів кисневої та пероксикисневої реакцій для досліджуваних розчинів дозволяють проаналізувати можливість перебігу сумішених реакцій при електролізі водних

розчинів МК. Так, для (рис. 1, а) спостерігається значне гальмування кисневої реакції. Зсув потенціалів появи струму, який відповідає виділенню кисню, складає 350...400 мВ через гальмуючу дію PtO₂ шару платиного аноду та високу адсорбцію МК. У розчинах МК (досліджуваних концентрацій) досягаються потенціали утворення пероксиду водню і ПОМК, але встановити вихід за струмом за цими реакціями на основі вольт амперних залежностей не є можливим. Додавання до водних розчинів МК сульфатної кислоти ще більше гальмує виділення кисню окисненням води. Підйом струму (рис. 2, б) спостерігається при потенціалах пероксид водневої реакції. Тому кисень, у таких електролітах, утворюється через пероксид водню:



Важливим питанням є визначення механізму окислення МК. Був розрахований розподіл кислотно-лужних форм МК в залежності від рН (рис. 3). Наведений розподіл (рис. 3), спів вставлений з діапазоном рН досліджуваних розчинів табл. 1, вказує на переважну участь молекул МК в анодному процесі.

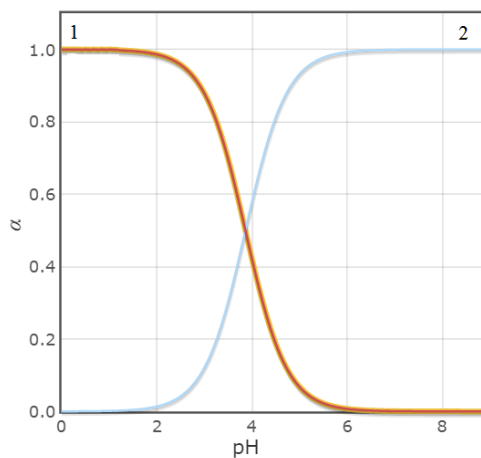


Рисунок 3 – Розподіл кислотно-лужних форм МК в залежності від рН.

1 – CH₃CH(OH)C(=O)OOH, 2 – CH₃CH(OH)C(=O)OOH⁻

Для обраного для подальших досліджень складу електроліту: 2 моль·дм⁻³ МК, 0,5 моль·дм⁻³ H₂SO₄ іонна форма МК не існує. Молекула МК має дипольну структуру через негативний заряд карбоксильної групи. Завдяки цьому молекула МК вбудовується в структуру приелектродного шару з спрямованою до поверхні аноду карбоксильною групою. Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення стадій окиснення карбоксильної групи в молекулі МК.

Висновки. Завдяки адсорбції МК на поверхні

PtO₂ шару платиного аноду зсув потенціалів появи струму, який відповідає виділенню кисню, складає 350...400 мВ. Що дозволяє досягти потенціалів утворення пероксидолук. Додавання до розчинів МК сульфатної кислоти ще більше зсуває потенціал появи струму у позитивну область. Додавання сульфатної кислоти, до розчинів МК, у кількості 0,5 моль/дм³ дозволяє проводити виділення кисню через анодне утворення H₂O₂. Показано, що молекула МК вбудовується в структуру приелектродного шару з спрямованою до поверхні аноду карбоксильною групою.

Обґрунтовано склад електроліту для електрохімічного синтезу ПОМК: 2 моль·дм⁻³ МК, 0,5 моль·дм⁻³ сульфатної кислоти. Анодний потенціал електрохімічного синтезу ПОМК лімітується значенням потенціалу реакції Кольбе для обраного електроліту.

Список літератури

1. Luukkonen T., Pehkonen S. O., 2017. Peracids in water treatment: a critical review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47 (1), pp.1–39.
2. Шабловский В. О. Новое дезинфицирующее средство на основе перекиси водорода и молочной кислоты / В. О. Шабловский, А. В. Тучковская, О. Г. Пап, О. В. Ивашина, Т. В. Ховзун, А. Э. Высоцкий // Химические проблемы создания новых материалов и технологий. – Минск, –2008– С 512 – 521.
3. Bilous T. A., Tulskaia A. G., Matrunchyk O. L. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyiv, KNUVD, 2017, pp. 230 – 234.
4. Тульский Г. Г. Кинетика совмещенных процессов на анодах с комбинированным окисно-металлическим покрытием в растворах сульфатной кислоты / Г.Г. Тульский, В.Б. Байрачный, О.М. Муратова, О.О. Смирнов // Украинский химический журнал. – Киев, – 2011. – Т. 77, – № 7–8. – С 38 – 41.
5. Білоус Т. А. Обґрунтування складу електроліту для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти / Т. А. Білоус, Г. Г. Тульський, О. Л. Матрунчик // Вісник НТУ «ХП». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХП». – 2017. – № 49 (1270). – С. 10 – 14.
6. Крешков А.П., Ярославцев А.А. Основы аналитической химии. Количественный анализ. М.: Химия, –1982. – С. 142-145.
7. Chiqian Zhang, Pamela J.B.Brown, Zhiqiang Hu Thermodynamic properties of an emerging chemical disinfectant, peracetic acid / / Science of The Total Environment. – 2018. – V 621, – № 4, – P. 948-959.
8. Bhasarkar, J.B., Chakma, S., Moholkar, V.S., 2015. Investigations in physical mechanism of the oxidative desulfurization process assisted simultaneously by phase transfer agent and ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 24, pp. 98–106.
9. Coyle, E.E., Ormsbee, L.E., Brion, G.M., 2014. Peracetic acid as an alternative disinfection technology for wet weather flows. *Water Environ. Res.* 86 (8), pp. 687–697.
10. Pechacek, N., Osorio, M., Caudill, J., Peterson, B., 2015. Evaluation of the toxicity data for peracetic acid in deriving occupational exposure limits: a minireview. *Toxicol. Lett.* 233 (1), 45 – 57.
11. Robert D. Bach, Philippe Y. Ayala, H. B. Schlegel A Reassessment of the Bond Dissociation Energies of Peroxides. An ab Initio Study / // Journal of the American Chemical Society 1996, – V 118, – № 50, – P 12758-12765.

12. Тульская А.Г. Механизм деполаризации анодного процесса в сульфатнокислотном цикле производства водорода / А.Г. Тульская // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 64. – С. 162 – 167.
13. Дамаскин, Б. Б., Некрасов, Л. Н., Петрий, О. А., Подловченко, Б. И., Стенина, Е. В., and Федорович, Н. В. Электродные процессы в растворах органических соединений. Издательство Московского Университета Москва, 1985.
14. Ёсида, К. Электроокисление в органической химии. Роль катион-радикалов в синтезе. / К. Ёсида. – М.: Мир, 1987. – С 336
15. Воронов М. С. Совершенствование технологии получения надуксусной кислоты при катализе ионообменными смолами в водных растворах уксусной кислоты и пероксида водорода / М. С. Воронов, В. Н. Сапунов, А. А. Макаров, А. Д. Кулажская // Журнал прикладной химии. – 2016. – Т. 89. – Вып. 3. – С. 370 – 380.
16. 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.
17. Білоус Т. А. Адсорбція оцтової кислоти та промоторів утворення пероксо-груп на платині при високих анодних потенціалах / Т.А. Білоус, Г.Г. Тульський, І.Х. Шахін, К.М. Кроїнова // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1 (2019). – С. 3 – 7.
18. Bilous Tetiana, Tulskaia Alena, Ryshchenko Igor, Chahine Issam, Bairachnyi Volodymyr. (2020). Electrochemical Synthesis of Peroxyacetic Acid on Pt/PtO and PbO₂ Anodes. Chemistry and Chemical Technology. 14. 135-138. 10.23939/chct14.02.135.
- Zhang, Pamela J. B. Brown, Zhiqiang Hu Thermodynamic properties of an emerging chemical disinfectant, peracetic acid // Science of The Total Environment. - 2018. - V 621, - No. 4, - P. 948-959.
8. Bhasarkar, J.B., Chakma, S., Moholkar, V.S., 2015. Investigations in physical mechanism of the oxidative desulfurization process assisted simultaneously by phase transfer agent and ultrasound. Ultrason. Sonochem. 24, pp. 98-106.
9. Coyle, E.E., Ormsbee, L.E., Brion, G.M., 2014. Peracetic acid as an alternative disinfection technology for wet weather flows. Water Environ. Res. 86 (8), pp. 687-697.
10. Pechacek, N., Osorio, M., Caudill, J., Peterson, B., 2015. Evaluation of the toxicity data for peracetic acid in deriving occupational exposure limits: a minireview. Toxicol. Lett. 233 (1), 45 - 57.
11. Robert D. Bach, Philippe Y. Ayala, H. B. Schlegel A Reassessment of the Bond Dissociation Energies of Peroxides. An ab Initio Study // Journal of the American Chemical Society 1996, - V 118, - No. 50, - P 12758-12765.
12. Tulskaia A.G. The mechanism of depolarization of the anodic process in the sulfate acid cycle of hydrogen production. Tulskaia // Bulletin of NTU "KhPI". - 2013. - No. 64. - P. 162 - 167.
13. Damaskin, B. B., Nekrasov, L. N., Petriy, O. A., Podlovchenko, B. I., Stenina, E. V., and Fedorovich, N. V. Electrode processes in solutions of organic compounds ... Moscow University Press Moscow, 1985.
14. Yoshida, K. Electrooxidation in organic chemistry. The role of radical cations in synthesis. / K. Yoshida. - M.: Mir, 1987. – S 336
15. Voronov M. S. Improvement of the technology of obtaining peracetic acid by catalysis with ion-exchange resins in aqueous solutions of acetic acid and hydrogen peroxide / M. S. Voronov, V. N. Sapunov, A. A. Makarov, A. D. Kulazhskaya // Journal of Applied Chemistry. - 2016. - T. 89. - Issue. 3. - S. 370 - 380.
16. 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.
17. Bilous T. A. Adsorption of ozonic acid and promoters of peroxo-groups on platinum with high anode potentials / T.A. Bilous, G.G. Tul'skiy, I.Kh. Shahin, K.M. Krotinova // Bulletin of NTU "KhPI". - Series: Chemistry, chemistry technology and ecology. - Kh.: NTU "KhPI". - 2019. - No. 1 (2019). - S. 3 - 7.
18. Bilous Tetiana, Tulskaia Alena, Ryshchenko Igor, Chahine Issam, Bairachnyi Volodymyr. (2020). Electrochemical Synthesis of Peroxyacetic Acid on Pt / PtO and PbO₂ Anodes. Chemistry and Chemical Technology. 14. 135-138. 10.23939 / chct14.02.135.

References (transliterated)

1. Luukkonen, T., Pehkonen, S.O., 2017. Peracids in water treatment: a critical review. Crit. Rev. Environ. Technol. 47 (1), pp. 1–39.
2. Shablovsky V.O. A new disinfectant based on hydrogen peroxide and lactic acid / V. O. Shablovsky, A. V. Tuchkovskaya, O. G. Pap, O. V. Ivashina, T. V. Khovzun, A. E. Vysotsky // Chemical problems of creating new materials and technologies. –Minsk, – 2008– С 512 - 521.
3. Bilous T. A., Tulskaia A. G., Matrunchyk O. L. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyiv, KNUTD, 2017, pp. 230 - 234.
4. Tul'skiy G.G. Kinetics of combined processes on anodes with a combined oxide-metal coating in sulfate acid solutions / G.G. Kinetics. Tulskaia, V.B. Bayrachny, O. M. Muratova, O.O. Smirnov // Ukrainian Chemical Journal. - Kiev, - 2011. - T. 77, - No. 7–8. - С 38 - 41.
5. Bilous T. A. Installation of an electrolyte warehouse for electrochemical synthesis of peroxyacetic acid / T. A. Bilous, G. G. Tul'skiy, O. L. Matrunchik // Bulletin of NTU "KhPI". - Series: Chemistry, chemistry technology and ecology. - Kh.: NTU "KhPI". - 2017. - No. 49 (1270). - S. 10 - 14.
6. Kreshkov A.P., Yaroslavtsev A.A. Osnovy analytic chemistry. Kolichestvennyi analiz. M.: Chemistry, –1982. – С. 142-145.
7. Methods for determining the mass fraction of hydrogen peroxide and peracetic acid in disinfectants of LLC "Delta chem-tek" Chiqian

Надійшла (received) 05.08.2020

Водолажченко Сергій Олександрович (Водолажченко Сергей Александрович, Serhii Alexandrovich Vodolazhenko) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9934-967X>; e-mail: sergiko113@gmail.com.

Світлана Германівна Дерібо (Светлана Германовна Дерибо, Deribo Svitlana Germanivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії, м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-1790-9857>; e-mail: sgd2408@gmail.com/

Школьнікова Тетяна Василівна (Школьнікова Татьяна Васильевна, Shkolnikova Tetiana Vasylivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; e-mail: shktv192@gmail.com.

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