

*Т. А. БЕЛОУС, Г. Г. ТУЛЬСЬКИЙ, І. Х. ШАХІН, К. М. КРОТИНОВА*

### АДСОРБЦІЯ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ТА ПРОМОТОРІВ УТВОРЕННЯ ПЕРОКСО-ГРУП НА ПЛАТИНІ ПРИ ВИСОКИХ АНОДНИХ ПОТЕНЦІАЛАХ

**Вступ.** 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. Проблема розуміння та керування процесом електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти ставить задачу отримання нових даних про адсорбцію компонент-розчину в області високих анодних потенціалів. **Мета роботи:** дослідити адсорбцію оцтової кислоти та промоторів утворення пероксо-груп на платині при високих анодних потенціалах. **Методи дослідження.** Адсорбція оцтової кислоти та промоторів утворення пероксо-груп досліджувалася методом кривих зарядження на поверхні Pt/PtO електроду. **Результати.** Показано, що зсув потенціалу в електропозитивну область призводить до безперервного росту адсорбції оцтової кислоти разом з ростом заряду поверхні платини. Показано, що при зсуві електродного потенціалу в електропозитивну область адсорбція добавок іонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$  безперервно зростає з ростом заряду поверхні платини. Показано, що залежність адсорбції іонів  $\text{CNS}^-$  від потенціалу має максимум при  $\approx 1,85$  В. Подальше зменшення адсорбції іонів  $\text{CNS}^-$  пов'язане з більш міцною адсорбцією їх продукту окислення –  $\text{CN}^-$ . Встановлено, що по впливу на поверхню електроду аніони розташовуються в ряд  $\text{CNS}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ . Для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти доцільно використовувати добавки  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$ , бо вони сприяють збільшенню виходу за струмом цільового продукту в порівнянні з вихідним розчином. Добавка  $\text{CNS}^-$  не ефективна. Це пояснюється специфічною адсорбцією іонів  $\text{CNS}^-$  на поверхні платинового електроду.

**Ключові слова:** адсорбція; оцтова кислота; пероксиоцтова кислота; промотори; платиновий анод.

*Т. А. БЕЛОУС, Г. Г. ТУЛЬСЬКИЙ, И. Х. ШАХИН, К. Н. КРОТИНОВА*

### АДСОРБЦИЯ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ И ПРОМОТОРОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРОКСО-ГРУПП НА ПЛАТИНЕ ПРИ ВЫСОКИХ АНОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛАХ

**Введение.** 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. Проблема понимания и управления процессом электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты ставит задачу получения новых данных об адсорбции компонент-раствор в области высоких анодных потенциалов. **Цель работы:** исследовать адсорбцию уксусной кислоты и промоторов образования пероксо-групп на платине при высоких анодных потенциалах. **Методы исследования.** Адсорбция уксусной кислоты и промоторов образования пероксо-групп исследовалась методом кривых заряджения на поверхности Pt/PtO электрода. **Результаты.** Показано, что сдвиг потенциала в электропозитивную область приводит к непрерывному росту адсорбции уксусной кислоты вместе с ростом заряда поверхности платины. Показано, что при сдвиге електродного потенциала в электропозитивную область адсорбция добавок ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  непрерывно возрастает с ростом заряда поверхности платины. Показано, что зависимость адсорбции ионов  $\text{CNS}^-$  от потенциала имеет максимум при  $\approx 1,85$  В. Дальнейшее уменьшение адсорбции ионов  $\text{CNS}^-$  связано с более прочной адсорбцией их продукта окисления –  $\text{CN}^-$ . Установлено, что по влиянию на поверхность электрода анионы размещаются в ряд  $\text{CNS}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ . Для электрохимического синтеза пероксиуксусной кислоты целесообразно использовать добавки  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$ , они способствуют увеличению выхода по току целевого продукта в сравнении с исходным раствором. Добавка  $\text{CNS}^-$  не эффективна. Это объясняется специфической адсорбцией ионов  $\text{CNS}^-$  на поверхности платинового электрода.

**Ключевые слова:** адсорбция; уксусная кислота; пероксиуксусная кислота; промоторы; платиновий анод.

*Т. А. BILOUS, G. G. TULSKY, I. H. SHAHINE, K. N. KROTINOVA*

### ADSORPTION OF ACETIC ACID AND THE PROMOTERS OF FORMATION OF PEROXO GROUPS ON PLATINUM AT HIGH ANODIC POTENTIALS

**Introduction.** Peroxyacetic acid is a strong disinfectant with a wide spectrum of antimicrobial activity. 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. The problem of understanding and managing the process of peroxyacetic acid electrochemical synthesis poses the problem of obtaining new data on the component-solution adsorption in the region of high anodic potentials. **The aim:** to investigate the adsorption of acetic acid and promoters of the formation of peroxo groups on platinum at high anodic potentials. **Research methods.** The adsorption of acetic acid and peroxo group formation promoters was studied using the charging curves method on the surface of a Pt/PtO electrode. **Results.** It is shown that the potential shift to the electropositive region leads to a continuous increase in the adsorption of acetic acid along with an increase in the charge of the platinum surface. It is shown that when the electrode potential shifts to the electropositive region, the adsorption of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  and  $\text{I}^-$  ions increases continuously with increasing platinum surface charge. It is shown that the dependence of the adsorption of  $\text{CNS}^-$  ions on the potential has a maximum at  $\approx 1.85$  V. A further decrease in the adsorption of  $\text{CNS}^-$  ions is associated with a stronger adsorption of their oxidation product –  $\text{CN}^-$ . It has been established that, by the effect on the electrode surface, anions are placed in the  $\text{CNS}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$  series.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  and  $\text{I}^-$  additives should be used for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid. They contribute to an increase in the current efficiency of the target product in comparison with the initial solution.  $\text{CNS}^-$  additive is not effective. This is explained by the specific adsorption of  $\text{CNS}^-$  ions on the surface of a platinum electrode.

**Keywords:** adsorption; acetic acid; peroxyacetic acid; promoters; platinum anode.

**Вступ.** Пероксиоцтова кислота (далі 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: відсутність стійких токсичних похідних, 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 – 3]. Процес утворення ПООК хімічним способом відбувається зі значними втратами пероксиду водню, а кінцевий продукт потребує застосування стабілізаторів та спеціальних умов зберігання. Застосування електрохімічного методу синтезу ПООК, безпосередньо на місцях використання, виключає витрати пов'язані з хімічним синтезом, транспортуванням та зберіганням, кислота виробляється у кількості, необхідній для споживання [4 – 9].

Складність зв'язків між селективністю анодних реакцій при високих позитивних потенціалах, стан поверхні окисленого електроду та важливість проблеми розуміння та керування процесом електрохімічного синтезу ПООК ставить задачу отримання нових даних про адсорбцію компонент-розчину в даній області потенціалів в умовах, близьких до умов протікання процесів електрохімічного синтезу ПООК. Вирішенню даної проблеми присвячено безліч робіт, тим не менш, навіть для такої, здавалося б, добре вивченої системи, як реакція Кольбе, існують розходження в уявленнях про механізм, природу лімітуючої стадії та характер адсорбції частинок [10, 11].

На основі вище сказаного дана робота присвячена вивченню адсорбції оцтової кислоти та промоторів утворення пероксо-груп на платині при потенціалах, що відповідають електрохімічному утворенню ПООК.

**Мета роботи.** Дослідити адсорбцію оцтової кислоти та промоторів утворення пероксо-груп на платині при високих анодних потенціалах.

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

Для вивчення адсорбції оцтової кислоти використовували метод кривих зарядження. Дослідження проводили в гальваностатичному режимі при силі струму  $I = 0,001$  А. В якості аноду використовували платину. Анод спочатку піддали анодній активації. Потім, записували Е-т криву до виходу потенціалу на постійне значення. Постійні значення величини адсорбції досягаються за 10...12 хв. Всі одержані Е-т криві перераховані та перебудовані в Г-Е криві.

Поляризаційні виміри проводили за допомогою потенціостату Р-45Х в електрохімічній комірці при температурі 285...288 К. В якості аноду використовували платинову пластину 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 перераховано відносно водневого електроду.

Електроліз проводили в електролізері з розділенням катодного та 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  $17,5$  см<sup>2</sup>. Допоміжний електрод – 2Х18Н10Т.

Концентрацію напрацьованої ПООК визначали методом йодометричного титрування.

**Результати експерименту та їх обговорення.** На рис. 1 представлено вольтамперну залежність для  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $CH_3COOH$  +  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $H_2SO_4$  на Pt/PtO.

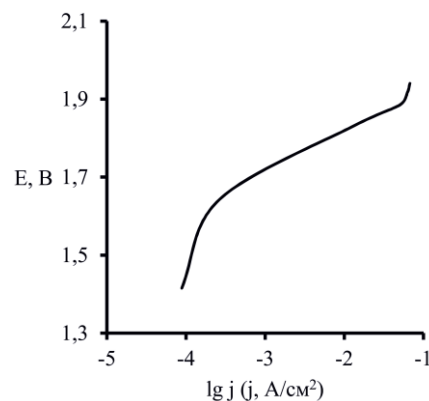
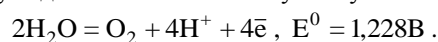


Рисунок 1 – Вольтамперна залежність отримана у водному розчині 3 моль/дм<sup>3</sup>  $CH_3COOH$  + 0,5 моль/дм<sup>3</sup>  $H_2SO_4$  на Pt/PtO електроді

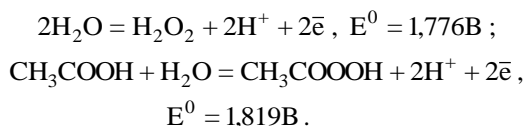
Перша прямолінійна ділянка на рисунку 1 спостерігається при потенціалах 1,40...1,55 В та відповідає процесу виділення кисню по наступному механізму:



Оскільки для даної прямолінійної ділянки ріст потенціалу призводить до незначного росту густини струму, можна стверджувати, що в даному діапазоні потенціалів протікають адсорбційні процеси, що гальмують процес виділення кисню. Дослідженню природи цих адсорбційних процесів присвячена дана робота.

В діапазоні потенціалів 1,55...1,75 В спостерігається перехідна ділянка, яка відповідає сумісному перебігу адсорбційних та електрохімічних процесів (рис. 1).

Друга прямолінійна ділянка спостерігається в діапазоні потенціалів 1,75...1,87 В та відповідає перебігу електрохімічних процесів, що лімітуються кінетичною стадією. Цими електрохімічними процесами, суміщено з виділенням кисню, являються утворення пероксиду водню та ПООК по наступним механізмам:



Подальший зсув потенціалу в електропозитивну область ( $> 1,87\text{ В}$ ) призводить до переважного перебігу наступних суміщених процесів: реакція Кольбе, реакції анодного приєднання та заміщення, деструктивне окислення оцтової кислоти, виділення озону.

На рисунку 2 представлена залежність адсорбції оцтової кислоти від потенціалу для Pt/PtO аноду.

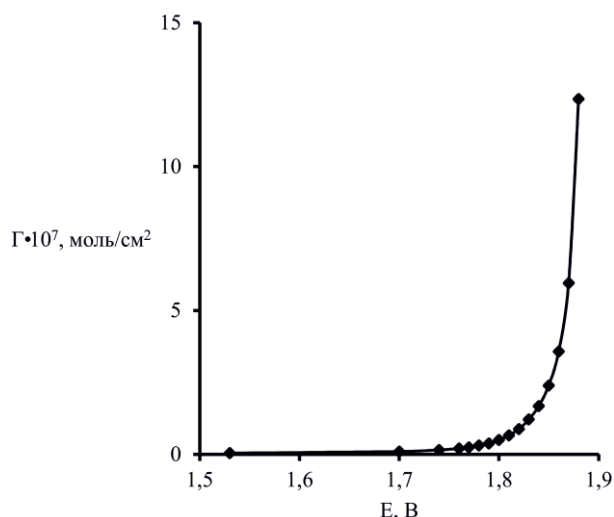
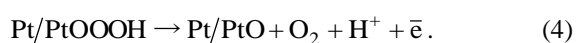
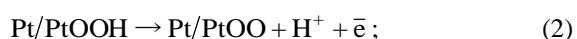


Рисунок 2 – Залежність величини адсорбції оцтової кислоти від потенціалу для Pt/PtO аноду в розчині  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{CH}_3\text{COOH} + 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$

При зсуві потенціалу в електропозитивну область поверхня платинового електроду набуває позитивний заряд та починає притягувати аніони. На цій ділянці кривої зарядження утворення подвійного шару супроводжується адсорбцією оцтової кислоти ( $E \geq 1,5\text{ В}$ ). Таким чином, гальмування розряду молекул води на платині в присутності оцтової кислоти є наслідком її міцної та значної по величині адсорбції на окисненій поверхні платинового електроду.

Оскільки адсорбція оцтової кислоти в діапазоні потенціалів  $1,5 \dots 1,75\text{ В}$  незначна (рис. 2), можна стверджувати, що гальмування процесу виділення кисню, в даному діапазоні потенціалів, пояснюється більш міцною адсорбцією  $\text{OH}^{\cdot}$  радикальних частинок на поверхні Pt/PtO електроду. Процес виділення кисню в даному випадку перебігає по наступному механізму:



Лімітуючою стадією, в даному випадку, є реакція (4), тобто в даному діапазоні потенціалів недостатньо енергії для перебігу процесу виділення кисню. Таким чином, поява першої прямолінійної ділянки на рис. 1 обумовлена перебігом адсорбційних процесів (1)–(3).

При подальшому зсуві потенціалу в електропозитивну область адсорбція оцтової кислоти безперервно зростає разом з ростом заряду поверхні (рис. 2). Слід зауважити, що друга прямолінійна ділянка на рисунку 1 в діапазоні потенціалів  $1,75 \dots 1,87\text{ В}$  співпадає з діапазоном потенціалів безперервного росту адсорбції оцтової кислоти на рисунку 2. Таким чином, процес електрохімічного утворення ПООК перебігає через стадію адсорбції оцтової кислоти на поверхні Pt/PtO електроду.

На рисунку 3 наведено структурну формулу молекули оцтової кислоти.

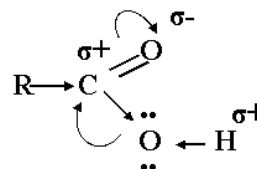


Рисунок 3 – Структурна формула молекули оцтової кислоти

Атом  $\text{C}=\text{O}$  несе позитивний заряд (рис. 3), проте він менший порівняно з альдегідами та кетонами. Це відбувається завдяки позитивному мезомерному ефекту атому кисню гідроксильного фрагменту, який має неподілену електронну пару. Таким чином, карбонільна група стає не здатна до реакцій приєднання, які характерні альдегідам та кетонам. Разом з тим, зростає полярність зв'язку  $-\text{O}-\text{H}$  гідроксильного фрагменту, іон гідрогену легше відщепляється. Таким чином, кислотні властивості карбонових кислот значно сильніші в порівнянні зі спиртами.

На основі вище сказаного на рисунку 4 наведено структуру адсорбції оцтової кислоти на границі розділу електрод-електроліт.

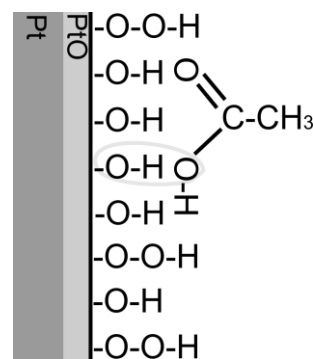


Рисунок 4 – Структура адсорбції оцтової кислоти на границі розділу електрод-електроліт

На рисунку 4 світлим маркером наведено один із можливих варіантів приєднання  $\text{OH}^{\cdot}$  радикальної частинки (також вона може бути приєднана до молекули оцтової кислоти зі зв'язку  $-\text{O}-\text{H}$ ).

На рисунку 5 представлена залежність адсорбції промоторів утворення пероксо-груп ( $\text{CNS}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) від потенціалу для Pt/PtO аноду.

На рисунку 5 для  $\text{CNS}^-$  та  $\text{I}^-$  при потенціалах  $> 1,51\text{ В}$  утворення подвійного шару супроводжується адсорбцією наведених аніонів. Для  $\text{Cl}^-$  та  $\text{Br}^-$  при потенціалах  $> 1,69\text{ В}$ . При подальшому зсуві електрод-

ного потенціалу в електропозитивну область адсорбція добавок іонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  безперервно зростає з ростом заряду поверхні (рис. 5, залежності 2...4).

Залежність адсорбції від потенціалу для іонів  $\text{CNS}^-$  має максимум при  $\approx 1,85$  В (рис. 5, залежність 1). Поява максимуму адсорбції пояснюється тим, що після його досягнення адсорбовані на поверхні платини іони  $\text{CNS}^-$  десорбуються в наслідок їх окислення до  $\text{CN}^-$ . Подальше зменшення адсорбції іонів  $\text{CNS}^-$  на рисунку 5 (залежність 1) пов'язане з більш міцною адсорбцією їх продукту окислення ( $\text{CN}^-$ ) [9].

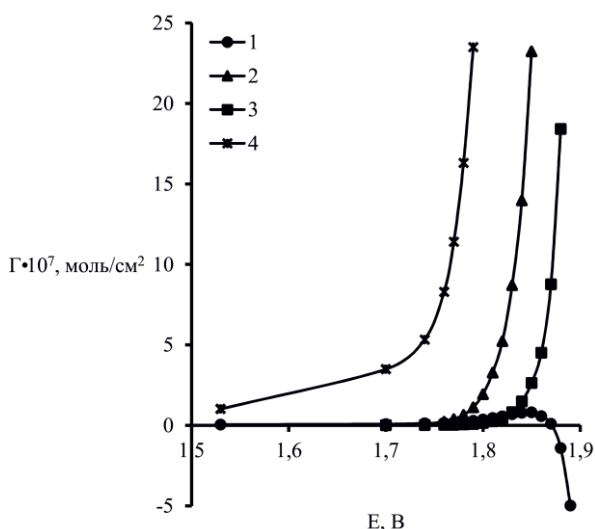


Рисунок 5 – Залежність величини адсорбції промоторів утворення пероксо-груп від потенціалу для Pt/PtO аноду в розчині  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{CH}_3\text{COOH}$  +  $10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>: 1 –  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ; 2 –  $\text{KCl}$ ; 3 –  $\text{KBr}$ ; 4 –  $\text{KI}$

Вказані добавки ( $\text{CNS}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) міцно адсорбуються на поверхні електроду. Показано, що в кислих розчинах по своїй величині адсорбції ( $\Gamma$ , моль/см<sup>2</sup>) на поверхні платини аніони розташовуються в ряд  $\text{I}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{CNS}^-$  (рис. 5).

З літературних джерел відомо, що аніони  $\text{CNS}^-$  та  $\text{Cl}^-$  входять до складу окисної плівки на поверхні платини, так як адсорбційні властивості Pt/PtO після анодної поляризації електроду в присутності аніонів  $\text{CNS}^-$  та  $\text{Cl}^-$  можуть бути відновлені тільки катодною поляризацією [12].

Також відомо, що в присутності адсорбованих іонів  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$  кількість адсорбованого кисню зменшується. Аніони  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$  (або продукти їх окислення) при потенціалах  $\approx 1,9$  В мало адсорбуються. Десорбція аніонів  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$  з поверхні платини в області високих анодних потенціалів відбувається в наслідок окислення їх до іодат та бромат іонів. Іони  $\text{Br}^-$  адсорбуються на поверхні платини міцніше ніж іони  $\text{I}^-$  [12].

Для розуміння та керування процесом електрохімічного синтезу ПООК, додатково з наведеними даними про адсорбцію компонент-розчину, на рисунку 6 наведено діаграму виходу за струмом пероксиду водню та ПООК для Pt/PtO аноду. Вихідний розчин (далі ВР): 3 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{CH}_3\text{COOH}$  + 0,5 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Добавка промоторів утворення пероксо-груп ( $\text{CNS}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) до ВР складала 0,001 моль/дм<sup>3</sup>.

На основі наведеної діаграми (рис. 6) можна стверджувати, що для електрохімічного синтезу ПООК доцільно використовувати добавки  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$ , бо вони сприяють збільшенню виходу за струмом цільового продукту в порівнянні з ВР. Найефективніша з них  $\text{Cl}^-$  ( $\text{BC}_{\text{ПООК}} = 2,1$  %).

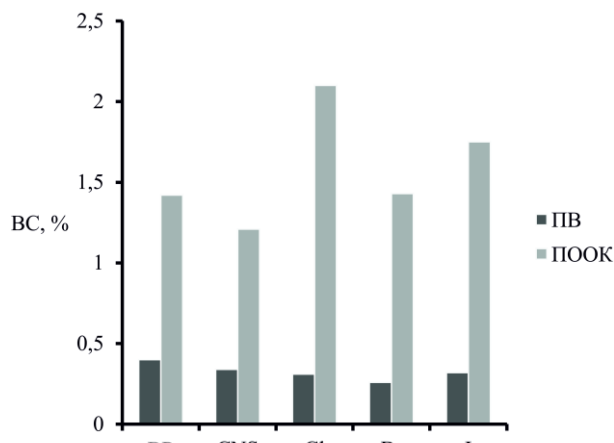


Рисунок 6 – Діаграма виходу за струмом пероксиду водню (ПВ) та ПООК для Pt/PtO

Добавка  $\text{CNS}^-$  не ефективна, бо її використання зменшує вихід за струмом ПООК. Це пояснюється специфічною адсорбцією іонів  $\text{CNS}^-$  на поверхні платинового електроду.

**Висновки.** Показано, що зсув потенціалу в електропозитивну область призводить до безперервного росту адсорбції оцтової кислоти разом з ростом заряду поверхні платини.

Показано, що процес електрохімічного утворення ПООК перебігає через стадію адсорбції оцтової кислоти на поверхні Pt/PtO електроду. Показано структуру адсорбції оцтової кислоти на границі розділу електрод-електроліт

Показано, що при зсуві електродного потенціалу в електропозитивну область адсорбція добавок іонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  безперервно зростає з ростом заряду поверхні платини.

Показано, що залежність адсорбції іонів  $\text{CNS}^-$  від потенціалу має максимум при  $\approx 1,85$  В. Подальше зменшення адсорбції іонів  $\text{CNS}^-$  пов'язане з більш міцною адсорбцією їх продукту окислення –  $\text{CN}^-$ .

Встановлено, що по впливу на поверхню електроду аніони розташовуються в ряд  $\text{CNS}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ .

Для електрохімічного синтезу ПООК доцільно використовувати добавки  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  та  $\text{I}^-$ , бо вони сприяють збільшенню виходу за струмом цільового продукту в порівнянні з ВР. Найефективніша з них  $\text{Cl}^-$  ( $\text{BC}_{\text{ПООК}} = 2,1$  %). Добавка  $\text{CNS}^-$  не ефективна. Це пояснюється специфічною адсорбцією іонів  $\text{CNS}^-$  на поверхні платинового електроду.

#### 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kolyagin G.Y., Vasilyeva I.S., Kornienko V.L. Образование надкислот из соответствующих органических кислот при электровосстановлении кислорода в газодиффузионном электроде. *Электрохимия*. 2010. Т. 46, № 8. С. 1018 – 1020.
- Saha M.S., Nishiki Y., Futura T., Ohsaka T. Electrolytic synthesis of peroxyacetic acid using in situ generated hydrogen peroxide on gas diffusion electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*. – 2004, vol. 151, no 9, pp. D93 – D97.
- 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.
- Білоус Т.А., Тульська А.Г., Шахін І.Х., Самойленко С.О. Обґрунтування вибору промоторів утворення пероксо-груп для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2018. № 39 (1315). С. 14 – 18.
- Fukuda T., Aramata A. The study of the adsorption: desorption of acetate anions on a Pt(111) electrode and the effect of counter cations in acidic media. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 1999, vol. 467, pp. 112 – 120.
- Gilman S. Study of acetate adsorption at the platinum electrode/acid electrolyte interface using “blocking effects”: Influences of acetate adsorption on ethanol fuel cell electrodes. *Electrochimica Acta*. 2012, vol. 65, pp. 141 – 148.
- Казаринов В.Е. Адсорбция анионов на платине при анодных потенциалах. *Электрохимия*. 1966, Т. 2, № 2. С. 1389 – 1394.
- decomposition of peracetic acid in the liquid phase. *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*. 2008, vol. 284, pp. 58 – 68.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kolyagin G.Y., Vasilyeva I.S., Kornienko V.L. Образованье надкислот из соответствующих органических кислот при электровосстановлении кислорода в газодиффузионном электроде [The formation of peracids from the corresponding organic acids during the electroreduction of oxygen in the gas diffusion electrode]. *Electrochemistry*. 2010, vol. 46, no 8, pp. 1018 – 1020.
- Saha M.S., Nishiki Y., Futura T., Ohsaka T. Electrolytic synthesis of peroxyacetic acid using in situ generated hydrogen peroxide on gas diffusion electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*. – 2004, vol. 151, no 9, pp. D93 – D97.
- 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.
- Bilous T.A., Tulska A.G., Chahine I.H., Samoylenko S.A. Обґрунтування вибору промоторів утворення пероксо-груп для електрохімічного синтезу пероксидної кислоти [Justification of promoters of peroxide-particles formation for electrochemical synthesis of peroxyacetic acid]. *Visnyk NTU “KhPI” [Bulletin of the National Technical University “KhPI”], Kharkov, NTU “KhPI” Publ.*, 2018, no 39 (1315), pp. 14 – 18.
- Fukuda T., Aramata A. The study of the adsorption: desorption of acetate anions on a Pt(111) electrode and the effect of counter cations in acidic media. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 1999, vol. 467, pp. 112 – 120.
- Gilman S. Study of acetate adsorption at the platinum electrode/acid electrolyte interface using “blocking effects”: Influences of acetate adsorption on ethanol fuel cell electrodes. *Electrochimica Acta*. 2012, vol. 65, pp. 141 – 148.
- Казаринов В.Е. Адсорбция анионов на платине при анодных потенциалах [Anion adsorption on platinum at anode potentials]. *Electrochemistry*. 1966, vol. 2, no 2, pp. 1389 – 1394.

#### References (transliterated)

- 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

Надійшла (received) 18.03.19.

#### 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.

**Тульський Геннадій Георгійович (Тульский Геннадий Георгиевич, Tulsy Gennadiy Georgiyovych)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри технічної електрохімії; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2662-8333>; e-mail: tgg@kpi.kharkov.ua.

**Шахін Іссам Хуссейн (Шахин Иссам Хуссейн, Chahine 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.

**Кротінова Карина Миколаївна (Кротинова Карина Николаевна, Krotinova Karina Nikolaevna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; e-mail: krotinova1997@ukr.net.