

## ВИДІЛЕННЯ ВОДНЮ ТА ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ З РОЗЧИННИМ АЛЮМІНІЄВИМ АНОДОМ

*Сухий М., Матвеев В., Нефедов В., Поліщук Ю.*

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,

Дніпро, Україна. e-mail: [vvm2@i.ua](mailto:vvm2@i.ua)

Важливе місце серед методів отримання водню займає електрохімічне розкладання води в сольових, кислих чи лужних розчинах [1]. Електролітичний водень – найчистіший з промислово одержуваних газів, але на виробництво 1 кг водню витрачається приблизно 260 МДж/кг енергії а вартість перевищує 3-5 \$/кг. Собівартість водню, отриманого з природного газу, оцінюється в 1,5-3 долари за 1 кг.

Дещо знизити витрати електроенергії можна за рахунок зменшення поляризації електродів шляхом зміни структури електродних матеріалів та нанесення на них каталізаторів, насамперед, металів платинової групи [2]. З метою зменшення собівартості устаткування ведеться пошук більш дешевих каталізаторів [3], який, на жаль, зіштовхується з проблемою оцінки та порівняння електрокаталітичних властивостей різних матеріалів [4].

В [5, 6] запропоновано методику одержання водню з використанням алюмінієвих сплавів. Вона полягає в розчиненні алюмінію в лужних розчинах з одночасним виділенням водню на алюмінії. Таку систему можна розглядати як короткозамкнений електрохімічний елемент. На жаль виділення водню на алюмінії супроводжується великою поляризацією [7], що обмежує швидкість його генерації.

Результати цієї роботи ґрунтуються на використанні відкритої за масопереносом системи [8], в якій традиційний анодний процес виділення кисню замінюється на розчинення «жертвовного» аноду, виготовленого з металів, потенціал яких більш негативний, чім у кисню, а саме алюмінію. При використанні Al в кислому середовищі різниця потенціалів дорівнює  $-1,66$  В та близько  $-0,8$  В в лужному. Знак «мінус» у цьому випадку означає, що процес відбуватиметься самовільно, тобто без накладання зовнішнього електричного струму.

Пропонована відкрита за масопереносом система має ряд переваг порівняно з відомими: а) використання в якості аноду відходів інших виробництв; б) збільшення швидкості процесу за рахунок виділення водню на металі із низькою перенапругою; в) можливість генерації електроенергії одночасно з отриманням водню; г) при використанні лужного електроліту можливість регенерації кошового лугу за методом Байєра; д) отримання гідроксиду алюмінію, який може бути використаний як коагулянт в процесах хімічного очищення води, або, після термообробки, як сировина для отримання алюмінію.

Дослідження процесу виділення водню та розчинення алюмінію проводили в макеті електролізера у потенціодинамічному режимі з швидкістю розвертання потенціалу  $10 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$ , у діапазоні потенціалів від  $-1,8$  до  $+0,0$  В. Робочий електрод (анод) – Al пластина; допоміжний електрод (катод) – нікелева пластина. Електрод порівняння – насичений хлорсрібний електрод (Ag/AgCl). Усі потенціали приведені відносно насиченого Ag/AgCl електроду.

Електроліт – розчин NaOH з концентрацією від 1 до 8 моль·л<sup>-1</sup>.

На рисунку 1 наведено типові поляризаційні криві розчинення Al та виділення H<sub>2</sub> при концентрації луку 4 моль·л<sup>-1</sup>.

В цілому, при збільшенні концентрації луку від 1 до 4 моль·л<sup>-1</sup> значення робочих густин струму процесу розчинення алюмінію, тобто швидкість процесу значно зростають. Максимальне значення густини струму 120 мА·см<sup>-2</sup> спостерігається при концентрації 4 моль·л<sup>-1</sup>. З ростом концентрації луку також зростає різниця потенціалів анодного та катодного процесу.

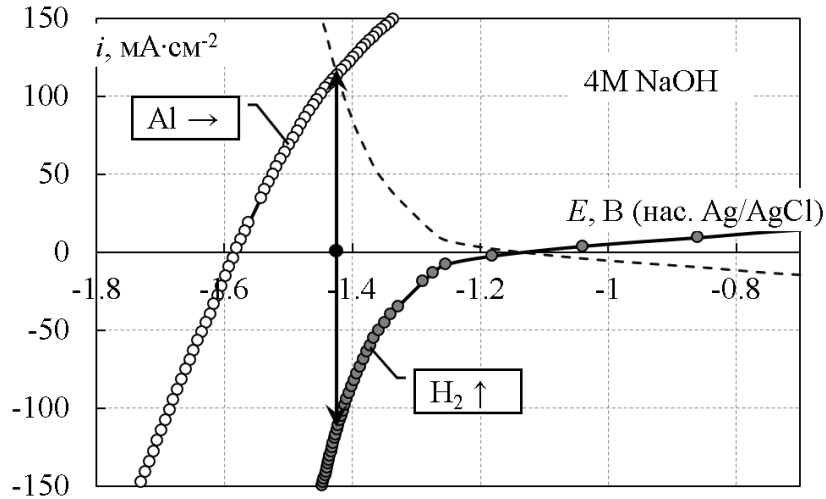


Рис. 1. Поляризаційні криві виділення H<sub>2</sub> на нікелевому електроді та розчинення алюмінію в 4М розчині NaOH. Стрілками позначено густина струму короткого замикання електродів

На рис. 2 наведено зміну густини струму та питомої потужності, яка генерується у відкритій за масопереносом системі.

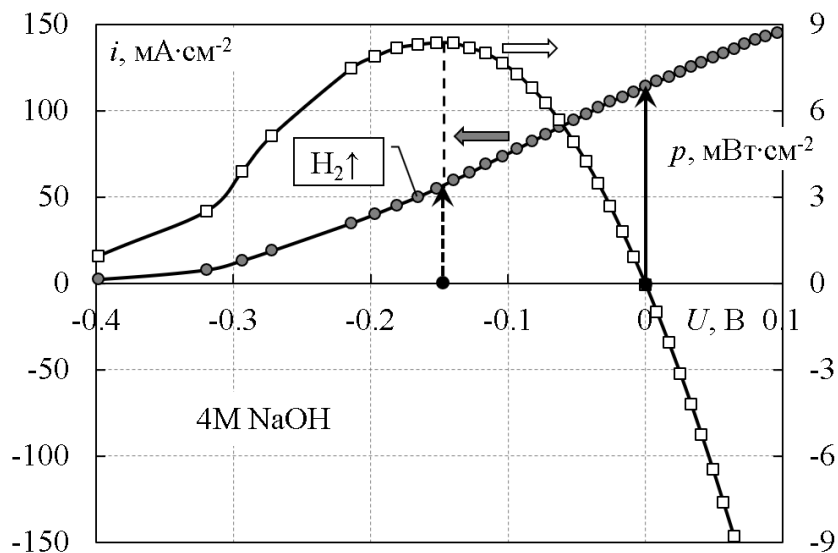


Рис. 2. Зміна густини струму та згенерованої питомої потужності в залежності від напруги на електрохімічній комірі

Стрілками на рис. 2 позначена густина струму виділення водню при короткому замиканні електродів ( $U = 0$ ), та при максимумі потужності, що може використовуватися для живлення зовнішніх пристроїв ( $U = -0,15$  В).

Значення потужності  $P$ , яка генерується одночасно з процесом виділення водню, визначається як добуток  $P = I \cdot U = i \cdot S \cdot U = p \cdot S$ , де  $I$  - сила струму, А;  $i$  - густина струму, А·см<sup>-2</sup>;  $p$  – питома потужність, мВт·см<sup>-2</sup>;  $S$  - площа електроду, см<sup>2</sup>;  $U$  – відповідна величина напруги, В.

Послідовне підключення декількох електрохімічних комірок дозволяє сформуванню системи будь якої напруги, а змінюючи поверхню електродів можна регулювати потужність.

Таким чином, в результаті проведених досліджень у відкритій за масопереносом системі показана можливість виділення чистого водню з паралельною генерацією електроенергії, питома потужність якої, наприклад, у розчині 4М NaOH може досягати 7 мВт·см<sup>-2</sup>.

Робота виконана в рамках перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет» (НДР № БФ/17-2021, № держреєстрації 0121U112807).

#### Література:

1. Tee S. Y. et al. Recent progress in energy-driven water splitting // *Advanced science*. – 2017. – Vol. 4, No. 5. – P. 1600337. DOI: 10.1002/advs.201600337.
2. Karchiyappan T. A review on hydrogen energy production from electrochemical system: benefits and challenges // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2019. – Vol. 41, No. 7. – P. 902-909. DOI: 10.1080/15567036.2018.1520368.
3. Gong Y. et al. Perspective of hydrogen energy and recent progress in electrocatalytic water splitting // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2018. – Vol. 43, No. 3. – P. 282-296. DOI: 10.1016/j.cjche.2022.02.010.
4. Anantharaj S. et al. Precision and correctness in the evaluation of electrocatalytic water splitting: revisiting activity parameters with a critical assessment // *Energy & Environmental Science*. – 2018. – Vol. 11, No. 4. – P. 744-771. DOI:10.1039/C7EE03457A
5. Ho C. Y. Hydrolytic reaction of waste aluminum foils for high efficiency of hydrogen generation // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – T. 42, №. 31. – P. 19622-19628. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.06.104.
6. Xiao F., Yang R., Liu Z. Active aluminum composites and their hydrogen generation via hydrolysis reaction: A review // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, No. 1. – P. 365-386. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.241.
7. Bairachnyi V. et al. Using aluminum alloys in the electrochemical hydrogen production // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 6. – P. 299-304. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.10.108.
8. Nefedov V. et al. Electrochemical production of hydrogen in reactors with reduced energy costs // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2023. – Vol. 1156. – 012034. DOI 10.1088/1755-1315/1156/1/012034.