

УДК 681.2; 541.13; 621.35; 614.71 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-3

**Богомолів М.Ф.<sup>1</sup>, Троць А.А.<sup>2</sup>, Симолюк В.П.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет

## АВТОНОМНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ НА ВОДІ

*В даній статті розглянуто результати наукових пошуків та досліджень з питань отримання самодостатнього джерела електричної енергії при здійсненні високотемпературного електролізу водяної пари та її взаємодії із атмосферою. Так, побічними продуктами процесу є спонтанне виділення в навколишнє середовище молекулярного кисню і водню. Цей процес відбувається за рахунок різниці концентрацій кисню і водню в парах води та вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є можливим і достатнім для потреб живлення електричних пристроїв різного ступеня складності.*

*Дуже важливим при створенні енергетично позитивних генераторів є те, що в процесі їх функціонування можна отримувати додаткові об'єми концентрованої кисню і водню. Враховуючи необхідність у збільшенні потреби запасів кисню в медичних закладах, пов'язаних із захворюваністю населення на Ковід-19, а також потреб водню як палива, цей фактор заслуговує на особливу увагу.*

**Ключові слова:** паливний елемент; електролізер; оборотний осередок електролізу і паливних елементів; камера спалювання, медичний кисень, водень, електрохімічний пристрій, хімічне джерело струму, низькотемпературний електроліз води.

**Постановка проблеми.** Останнім часом дуже гостро постала проблема альтернативних джерел палива. Причиною цього слугувала сукупність факторів:

1. Підвищене використання нафти в промисловості, що призвело до сильного зменшення її запасів.
2. Погіршення екології внаслідок спалювання гігантських кількостей різноманітних видів палива. Це суттєво підвищило кількість викидів окису і двоокису вуглецю.
3. Збільшення кількості фабрик, заводів та підприємств.
4. Вирубування лісів у великих кількостях.

Ці всі фактори зумовлюють активний пошук альтернатив у енергетиці.

Перспективною альтернативою двигунам внутрішнього згорання є електричні двигун. Вони компактні, економічні, простіші за конструкцією і у них дуже високий ККД. Але постає питання накопичення та збереження енергії. Очевидним варіантом є акумулятори, але на даний момент вони далекі від ідеалу. Зокрема самі поширені з них – літій-іонні мають низку проблем:

1. Низька щільність енергії.
2. Погана робота і зменшення ємності в умовах низьких температур.
3. Відносно швидка втрата ємності.
4. Великий термін заряджання.

Але існує вигідна альтернатива – паливні елементи. Паливний елемент – електрохімічний пристрій, який перетворює енергію хімічної реакції в електричну, при цьому реагенти подаються у нього зовні.

Паливні елементи екологічні і не потребують тривалої зарядки, а можуть бути просто швидко заправлені. Їх ККД доволі високий і може сягати 80%, вони надійні і не містять великої кількості елементів.

Дуже затребуваними на даний час є результати наукових пошуків та досліджень з питань отримання самодостатнього джерела електричної енергії при здійсненні високотемпературного електролізу водяної пари та її взаємодії із атмосферою. Як відомо, при цьому побічними продуктами процесу є спонтанне виділення в навколишнє середовище молекулярного кисню і водню. Цей процес відбувається за рахунок різниці концентрацій кисню і водню в парах води та вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є можливим і достатнім для потреб живлення електричних пристроїв різного ступеня складності.

Дуже важливим при створенні енергетично позитивних генераторів є те, що в процесі їх функціонування можна отримувати додаткові об'єми концентрованого кисню і водню. Враховуючи необхідність у збільшенні потреби запасів кисню в медичних закладах, пов'язаних із захворюваністю населення на Ковід-19, а також потреб водню як палива, цей фактор заслуговує на особливу увагу.

**Аналіз останніх досліджень.** У світовій практиці електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги та зменшення розміру системи [7] і, в якійсь мірі, її вартості.

Для цієї мети можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди [8], так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів [7].

Слід підкреслити, що, хоча каталітична активність платини і металів платинової групи в системах з ТПЕ достатня для їх використання як для виділення водню і кисню в процесі електролізу, але для окислення та відновлення в процесі генерації струму в паливному елементі, виникає низка проблем [1, 7, 8], в тому числі водного «менеджменту», обумовленого гідروفобно-гідрофільними характеристиками електродів [7].

Дослідження можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів, а саме, електролізер-паливного елемента самодостатнього замкненого циклу з характеристиками електричної напруги і електричного струму, придатних для живлення широкого спектру пристроїв, лягли в основу даної роботи.

#### **Викладення основного матеріалу.**

Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Вони здійснюють пряме перетворення енергії палива в електрику минаючи малоефективні, що йдуть з великими втратами, процеси горіння. Це електрохімічний пристрій високоефективного «холодного» горіння палива для безпосереднього вироблення електроенергії.

Електрична енергія, що виробляється такими пристроями є екологічно чистою і по своїх електричних характеристиках задовольняє вимогам, що висуваються до джерел живлення [9, 10, 11, 12, 14].

Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм.

Енергія при електролізі витрачається на підвищення енергії Гіббса системи в процесі утворення цільових продуктів і частково розсіюється у вигляді теплоти при подоланні опорів в електролізері та інших ділянках електричного кола. Досліджуючи продукти, що виділяються в електроді, при електролізі кислот, основ і солей, встановили, що у катодів завжди виділяються метали та водень, а у анода кислотні залишки або гідроксильні групи [1, 2, 8, 9, 15, 16, 17, 18], які потім піддаються подальшим змінам.

Розглянемо більш детально процеси, що протікають при електролізі. Відомо, що існують провідники першого роду, де електрика переноситься за допомогою електронів, і провідники другого роду, коли електрика переноситься іонами. Електрони вступають у взаємодію з іонами в місцях електричного ланцюга, де провідник першого роду межує з провідником другого роду [1, 2, 8, 9, 17, 18]. Таким чином, відбуваються електрохімічні процеси.

Електрохімічні процеси, що протікають у електродах при електролізі, перш за все, будуть залежні від співвідношення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. З кількох можливих процесів буде протікати той, здійснення якого пов'язане з мінімальною втратою енергії [9]. Якщо балон з чистим киснем з'єднати через кисневу твердо електролітну систему (SEO<sub>2</sub>) з балоном H<sub>2</sub>O (пара), то виникне потенціал згідно рівнянню Нернста [9]:

$$E_{O_2} = kT \ln \frac{100\%_{O_2}}{30\%_{O_2}}, \quad (1)$$

із зарядом на клеммах (рис.1).

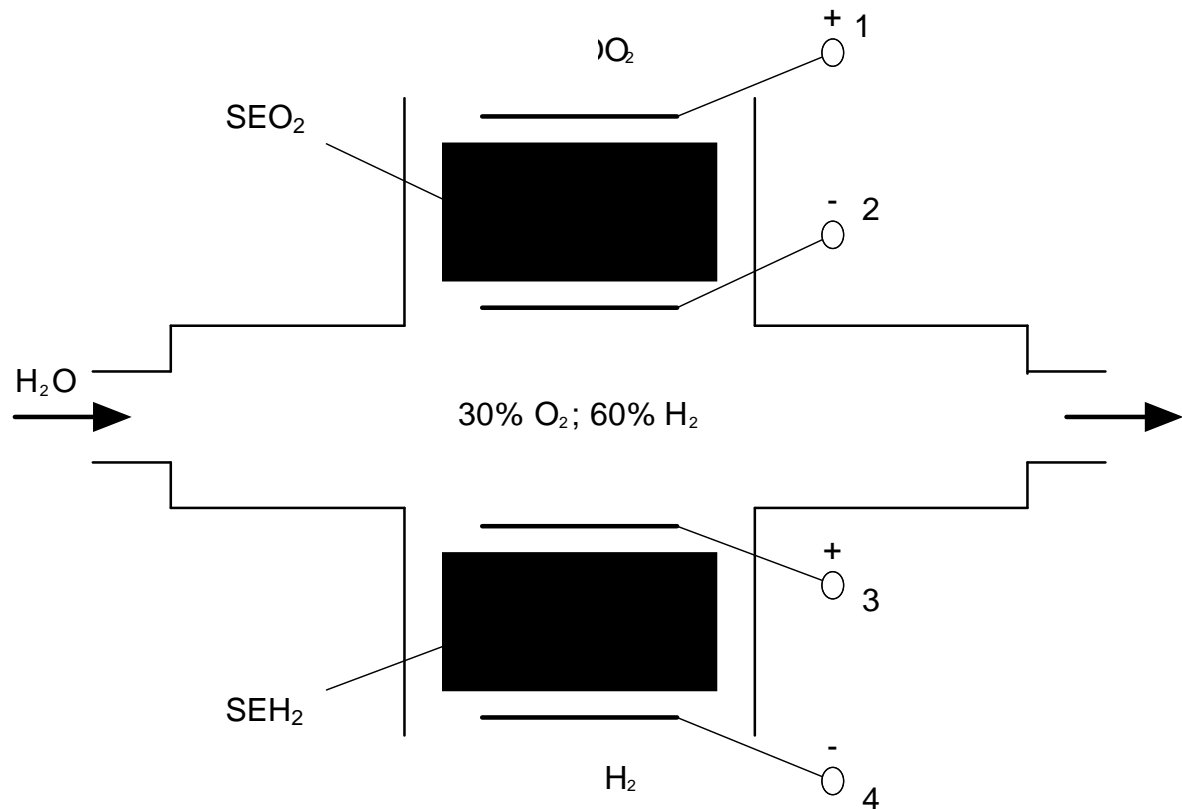


Рис. 1. Схема паливного елемента.

З іншої сторони, з'єднуємо балон чистого водню через твердо електrolітну водневу систему ( $SEH_2$ ) з балоном того ж  $H_2O$  (пара), то отримаємо потенціал згідно рівнянню Нернста:

$$E_{H_2} = kT \ln \frac{100\%_{H_2}}{60\%_{H_2}}. \quad (2)$$

Потенціали  $EO_2$  і  $EH_2$  - різнополюсні. При підключенні клеми 1 до клеми 4, а клеми 2 до клеми 3, електричне коло замкнеться зі сталим струмом. При цьому із балонів водню і кисню буде відкачуватись, відповідно, водень і кисень в середовище водяної пари.

Якщо схему (рис. 1) з'єднати з повітрям, то через  $SEO_2$  із середовища водяної пари в повітря буде відкачуватись кисень, а через систему  $SEH_2$  в повітря буде відкачуватись водень. При цьому відповідні розрахунки потенціалів електродів мають вигляд:

$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (3)$$

При використанні в якості твердого полімерного електrolіту (SPE) мембрани MF-4SK і електродів по спеціальній технології, суттєво підвищуються вольт-амперні характеристики паливного елемента і суттєво знижується робоча температура. При цьому технологія виготовлення блоку паливного елемента (електrolізер – паливний елемент) стає посекційною з простою системою складання.

Протонно провідні мембрани дозволяють реалізувати процес електrolізу води в низькотемпературному режимі. Блок відкачування водню з води при цьому можна використати як окремий пристрій.

Згідно рівняння Нернста на електродах водневого елемента виникає electromotive force:

$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (4)$$

де,  $E$  - напруга Нернста;  $\phi_1, \phi_2$  - потенціали електродів 1 і 2;  $R$  - газова стала;  $T$  - температура;  $n$  - кількість електронів, що йде на іонізацію однієї молекули;  $F$  - постійна Фарадея;  $C_1, C_2$  - концентрації вимірювального газу, відповідно, на 1 і 2 електродах.

**Результат.** Після відповідних інженерних розрахунків (в даній роботі не наведені), та з метою проведення експерименту і практичного використання результатів досліджень, була розроблена схема та створені дослідні зразки пристрою низькотемпературного електрохімічного джерела живлення малої потужності, які показали позитивні результати, що належним чином співпадають з теоретичними розрахунками (рис.2).



Рис. 2. Дослідний зразок блоку джерела живлення

**Висновки.** Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Це електрохімічний пристрій в результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію. Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм. В роботі досліджені можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів. Розроблені конструктивні рішення електролізерів-генераторів. Робота направлена на створення нових джерел живлення на базі воднево-кисневої паливної суміші.

Перевагами розроблених пристроїв є простота конструкції, відсутність механічних рухомих деталей, вузлів та елементів, простота при експлуатації та технічному обслуговуванні, відносно невеликі розміри і вага, висока надійність та значний ресурс роботи.

Практично, такі пристрої можуть використовуватись у якості автономних джерел електричного живлення, джерел отримання екологічно чистого молекулярного кисню, водню. Їх застосування може бути пов'язане із такими сферами вжитку, як медична техніка та невідкладна медична допомога, прилади і пристрої, що працюють у вакуумі, радіаційному опроміненні, електронна промисловість, екологія, туризм.

На даний час електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги й зменшення розміру системи і, в якійсь мірі, її вартості.

Для цієї цілі можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди, так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів.

Протоннопровідні мембрани дозволяють реалізувати процес електролізу води в низькотемпературному режимі. Блоки відкачування водню та кисню з води, при цьому, можна використовувати як окремі пристрої.

### Інформаційні джерела

1. Ahn J., Ledjeff K. Patent Hermanyu № P4027655.4, 1990.
2. Heinzl, A, Mahlendorf, F, Derieth, T, Bandlamudi, G, Beckhaus, P, and Kreuz, C. Development of highly filled graphite compounds as bipolar plate material for low and high temperature PEM fuel cells. Canada: N. p., 2006. Web.
3. Mahlendorf F., Meyer T., Heinzl A. Application of Stabilized Lithium Metal Powder (SLMP ®) in Silicon Anodes for Advanced Lithium-Sulfur Batteries. ECS Meeting Abstracts. DOI:10.1149/MA2020-022405mtgabs.
4. P. Podleschny, U. Rost, R. Muntean, G. Marginean, A. Heinzl, V. Peinecke, I. Radev, M. Muhler, M. Brodmann, Investigation of Carbon Nanofiber-supported Electrocatalysts with Ultra-low Platinum Loading for the Use in PEM Fuel Cells. Wiley Online Library. First published: 27 September 2018. <https://doi.org/10.1002/fuce.201700220>
5. Jalalpoor, D. ; Göhl, D. ; Paciok, P.\* ; Heggen, M.\* ; Knossalla, J. ; Radev, I. ; Peinecke, V. ; Weidenthaler, C. ; Mayrhofer, K. J. J. (Corresponding author)\* ; Ledendecker, M. ; Schüth, F. The Impact of Antimony on the Performance of Antimony Doped Tin Oxide Supported Platinum for the Oxygen Reduction Reaction. IOP Publishing Bristol. Journal of the Electrochemical Society 168(2), 024502- (2021) [10.1149/1945-7111/abd830]. <http://hdl.handle.net/2128/28110> doi: 10.1149/1945-7111/abd830.
6. Hong Nhan Nong, Tobias Reier, Hyung-Suk Oh, Manuel Gliech, Paul Paciok, Thu Ha Thi Vu, Detre Teschner, Marc Heggen, Valeri Petkov, Robert Schlögl, Travis Jones & Peter Strasser. A unique oxygen ligand environment facilitates water oxidation in hole-doped IrNiOx core-shell electrocatalysts. Nature Catalysis. 2018-10-08. Journal-article. DOI: 10.1038/s41929-018-0153-y. Part of ISSN: 2520-1158.
7. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Hroc. of 18th Int. Power Soures Symp. Strafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.
8. Katalytycheskye sloj dlya obratnoy yacheky elektrolyzer-toplyvnyy element na osnove tverdoho polymernoho elektrolyta. . M.A. Tsyркун, E.K. Lyutykova, V.N. Fateev, V.D. Rusanov. Elektrokhymyya 2000, tom. 36. № 5. s. 613-616.
9. Chebotyn V.N., Perfyl'ev M.V. Elektrokhymyya tverdykh elektrolytov. – M.: Khymyya, 1978 – 312 s.
10. Mikaela Görlin, Petko Chernev, Paul Paciok, Cheuk-Wai Tai, Jorge Ferreira de Araújo, Tobias Reier, Marc Heggen, Rafal Dunin-Borkowski, Peter Strasser and Holger Dau. Formation of Unexpectedly Active Ni-Fe Oxygen Evolution Electrocatalysts by Physically Mixing Ni and Fe Oxyhydroxides. Chemical Communications. 2018. Journal-article. DOI: 10.1039/c8cc06410e. Part of ISSN: 1359-7345.
11. Paul Paciok, Maximilian Schalenbach, Marcelo Carmo, Detlef Stolten. On the mobility of carbon-supported platinum nanoparticles towards unveiling cathode degradation in water electrolysis.

Journal of Power. Sources. 2017. journal-article. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.07.033. EID: 2-s2.0-85027997211.

12. Fateev V.N., Frydman A.A., Baranov Y.E. / *Электрохимия*. 1994. Т. 30. S. 1256.

13. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11-th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.

14. Elektrokhimichnyy elektrolizer vodyanoyi pary yak al'ternatyvne dzherelo zhyvlennya. Trots A.A., Skitsyuk V.I. / *Visnyk NTUU «KPI»*. Seriya prykladobuduvannya. – 2013. Vyp. 46 – S. 170 – 176.

15. M.F. Bogomolov, A.A. Trots, V.L. Goncharuk. Development of ecological source power supply for radio electronic devices. Measuring and computing devices in technological processes № 3' 2015. ISSN 2219-9365. 174-179 S.

16. Marcus D. Pohl, Sandra Haschke, Daniel Göhl, Olga Kasian, Julien Bachmann, Karl J. J. Mayrhofer and Ioannis Katsounaros. Extension of the Rotating Disk Electrode Method to Thin Samples of Non-Disk Shape. *Journal of The Electrochemical Society*. 2019-10. journal-article. DOI: 10.1149/2.0951914jes. Part of ISSN: 0013-4651.

17. Daniel Göhl, Aaron Garg, Paul Paciok, Karl J. J. Mayrhofer, Marc Heggen, Yang Shao-Horn, Rafal E. Dunin-Borkowski, Yuriy Román-Leshkov & Marc Ledendecker. Engineering stable electrocatalysts by synergistic stabilization between carbide cores and Pt shells. *Nature Materials*. 2019. journal-article. DOI: 10.1038/s41563-019-0555-5. Part of ISSN: 1476-1122.

18. Barat S, Giehl C, Kohsakowski S, Peinecke V, Schäffler M, Segets D. On the State and Stability of Fuel Cell Catalyst Inks. Preprint from ChemRxiv, 09 Jun 2021. DOI: 10.26434/chemrxiv.13125401. v4.

**Богомолів М.Ф.<sup>1</sup>, Троць А.А.<sup>2</sup>, Симолюк В.П.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Национальний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сикорського

<sup>2</sup>Национальний університет біоресурсів і природопотреблення України

<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет

## АВТОНОМНИЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ НА ВОДЕ

*В данной статье рассмотрены результаты научных изысканий и исследований по вопросам получения самодостаточного источника электрической энергии при осуществлении высокотемпературного электролиза водяного пара и его взаимодействия с атмосферой. Так, побочными продуктами процесса является спонтанное выделение в окружающую среду молекулярного кислорода и водорода. Этот процесс происходит за счет разности концентраций кислорода и водорода в парах воды и содержания этих компонентов в воздухе. Электрохимический процесс получения электрического тока при этом возможен и достаточен для нужд питания электрических устройств разной степени сложности.*

*Очень важно при создании энергетически положительных генераторов то, что в процессе их функционирования можно получать дополнительные объемы концентрированного кислорода и водорода. Учитывая необходимость в увеличении потребности запасов кислорода в медицинских учреждениях, связанных с заболеваемостью населения Ковид-19, а также потребностей водорода как топлива, этот фактор заслуживает особого внимания.*

**Ключевые слова:** топливный элемент; электролизер; обратная ячейка электролиза и топливных элементов; камера сжигания, медицинский кислород, водород, электрохимическое устройство, химический источник тока, низкотемпературный электролиз воды.

**Mykola Bogomolov<sup>1</sup>, Adam Trots<sup>2</sup>, Volodymyr Symoniuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

<sup>3</sup>Lutsk National Technical Universit

## AUTONOMOUS POWER SOURCE

*This article considers the results of scientific research and studies on obtaining a self-sufficient source of electricity in the implementation of high-temperature electrolysis of water vapor and its interaction with the atmosphere. Thus, the by-products of the process are the spontaneous release into*

*the environment of molecular oxygen and hydrogen. This process is due to the difference between the concentrations of oxygen and hydrogen in water vapor and the content of these components in the air. The electrochemical process of obtaining electric current is possible and sufficient for the power supply of electrical devices of varying complexity.*

*It is very important when creating energy-positive generators that in the process of their operation it is possible to obtain additional volumes of concentrated oxygen and hydrogen. Given the need to increase the need for oxygen supplies in medical facilities related to the incidence of Kovid-19, as well as the needs of hydrogen as a fuel, this factor deserves special attention.*

**Keywords:** *fuel cell; electrolyzer; reversible cell of electrolysis and fuel cells; combustion chamber, medical oxygen, hydrogen, electrochemical device, chemical current source, low-temperature electrolysis of water.*