

УДК 621.311.1

Н.В. Головка*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка***ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ**

Однією з актуальних задач сучасного суспільства є пошук альтернативних джерел енергії. На даний момент цивілізоване людство постає перед проблемою нестачі природних ресурсів. За деякими найбільш песимістичними прогнозами усі запаси нафти можуть вичерпатися вже у 2020 році, а природного газу – у 2050 році. Це обумовлює необхідність пошуку нових альтернативних джерел енергії, які б могли замінити нафту і газ. Прикладом такого палива може служити водень H_2 . Водень можна окислювати до води з безпосереднім перетворенням хімічної енергії в електричну. Таке перетворення може бути здійснене у паливних елементах. Паливні елементи екологічно безпечні і мають ККД до 80%, тоді як двигуни внутрішнього згоряння забруднюють довкілля і ККД їх досягає не більше 30%. Паливні елементи не містять рухомих деталей і абсолютно безшумні.

Багато вчених називають водень «паливом ХХІ століття», здатним вирішити енергетичні та екологічні проблеми, пов'язані як з викидом отруйних речовин в атмосферу, так і з накопиченням двоокису вуглецю, що призводить до порушення біоценозу.

Паливний елемент – електрохімічний пристрій, що подібний до гальванічного елемента, але відмінний від нього тим, що речовини для електрохімічної реакції подаються в нього ззовні – на відміну від обмеженої кількості енергії, запасеної в гальванічному елементі або акумуляторі.

Паливні елементи здійснюють перетворення хімічної енергії палива в електрику, минаючи малоефективні, що йдуть з великими втратами, процеси горіння. Це електрохімічний пристрій, який в результаті вискоефективного горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію.

Подібно існуванню різних типів двигунів внутрішнього згоряння, існують різні типи паливних елементів – вибір відповідного типу паливного елемента залежить від його застосування.

Паливні елементи діляться на високотемпературні і низькотемпературні. Низькотемпературні паливні елементи вимагають у якості палива відносно чистий водень. Це означає, що потрібна обробка палива для перетворення первинного палива (такого як природний газ) в чистий водень. Цей процес споживає додаткову енергію і вимагає спеціального обладнання. Високотемпературні паливні елементи не потребують цієї додаткової процедури, так як вони можуть здійснювати «внутрішнє перетворення» палива при підвищених температурах, що означає відсутність необхідності вкладання грошей у водневу інфраструктуру.

Твердооксидний паливний елемент. Твердооксидні паливні елементи – різновид паливних елементів, електролітом в яких є керамічний матеріал (наприклад, на базі діоксиду цирконію). Ці елементи працюють при дуже високій температурі (700-

1000°C) і застосовується в основному для стаціонарних установок потужністю від 1 кВт і вище. Їх відпрацьовані газы можуть бути використані для приведення в дії газової турбіни, щоб підвищити загальний коефіцієнт корисної дії. ККД такої гібридної установки може досягати 70 %.

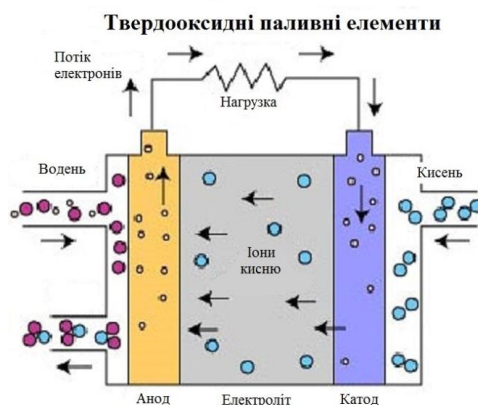
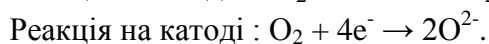
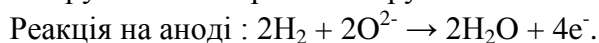


Рис. 1. Твердооксидний паливний елемент [2]

У цих паливних елементах іони кисню проходять через твердий оксид, який використовується в якості електроліту, і при високій температурі реагують з воднем на аноді. Хоча в твердооксидних паливних елементах необхідна висока робоча температура (що вимагає спеціальних керамічних матеріалів), зате вони не потребують такого дорогого каталізатора, як платина (на відміну від паливних елементів з протонно-обмінною мембраною). Це також означає, що твердооксидні паливні елементи не отруюються монооксидом вуглецю, і в них можуть використовуватися різні види палива. Твердооксидні паливні елементи можуть працювати на метані, пропані, бутані, біогазі.

Носієм заряду в паливних елементах даного типу є іон кисню. На катоді відбувається поділ молекул кисню з повітря на іон кисню і чотири електрони. Іони кисню проходять по електроліту і об'єднуються з воднем, при цьому утворюється чотири вільних електрона. Електрони прямують по зовнішній електричного кола, при цьому генерується електричний струм і тепло.



Комбінування високотемпературного паливного елемента з турбіною дозволяє створити гібридний паливний елемент для підвищення ККД генерування електричної енергії до 75 %.

Твердооксидні паливні елементи працюють при дуже високих температурах, в результаті чого потрібен значний час для досягнення оптимальних робочих умов, при цьому система повільніше реагує на зміну витрати енергії.

Прямий метанольний паливний елемент. Прямий метанольний паливний елемент – це різновид паливного елемента з протоннообмінною мембраною, в якому паливо, метанол, попередньо не розкладається з виділенням водню, а безпосередньо використовується в паливному елементі. Робота паливних елементів цього типу заснована на реакції окислення метанолу на каталізаторі в діоксид вуглецю.

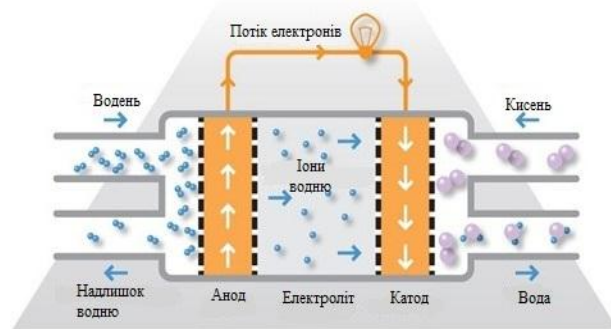


Рис. 2. Прямий метанольний паливний елемент [2]

Вода виділяється на катоді. Протони (H^+) проходять через протінообмінну мембрану до катода, де вони реагують з киснем і утворюють воду. Електрони проходять через зовнішній ланцюг від анода до катода, постачаючи енергією зовнішнє навантаження.

Реакції на аноді: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$.

Реакції на катоді: $1.5\text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$.

Загальна реакція елемента: $\text{CH}_3\text{OH} + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Були проведені випробування в температурному діапазоні 50-120 °С. Завдяки низьким робочим температурам і відсутності необхідності використання перетворювача, паливні елементи з прямим окисненням метанолу є кращим кандидатом для застосування як у мобільних телефонах та інших товарах широкого вжитку, так і в двигунах автомобілів. Перевагою даного типу паливних елементів є невеликі габарити, завдяки використанню рідкого палива, і відсутність необхідності використання перетворювача.

Фосфорнокислий паливний елемент. Паливні елементи на основі фосфорної (ортофосфорної) кислоти стали першими паливними елементами для комерційного використання. Даний процес був розроблений у середині 1960-х рр. Випробування проводилися з 1970-х рр. З того часу була збільшена стабільність, робочі показники і знижена вартість.

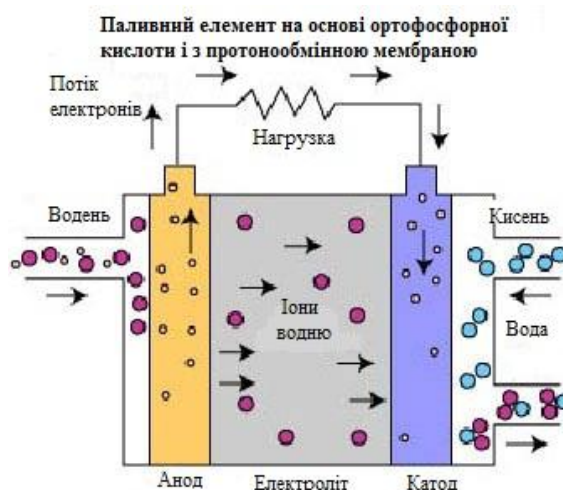
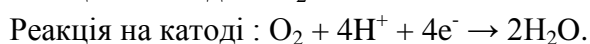
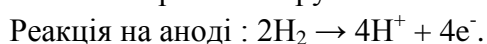


Рис. 3. Паливний елемент на основі ортофосфорної кислоти і з протінообмінною мембраною [2]

Паливні елементи на основі фосфорної (ортофосфорної) кислоти використовують електроліт на основі ортофосфорної кислоти (H_3PO_4) з концентрацією до 100 %. Іонна провідність ортофосфорної кислоти є низькою при низьких температурах, з цієї причини ці паливні елементи використовуються при температурах до 150-220 °С.

Носієм заряду в паливних елементах даного типу є водень (H^+ , протон). Схожий процес відбувається в паливних елементах з мембраною обміну протонів, в яких водень, що підводиться до анода, розділяється на протони й електрони. Протони проходять по електроліту і об'єднуються з киснем, які добувають з повітря, на катоді з утворенням води. Електрони прямують по зовнішній електричного кола, при цьому генерується електричний струм. Нижче представлені реакції, в результаті яких генерується електричний струм і тепло.



ККД паливних елементів на основі фосфорної (ортофосфорної) кислоти складає більше 40 % при генерації електричної енергії. При комбінованому виробництві теплової та електричної енергії, загальний ККД становить близько 85 %. Крім цього, враховуючи робочі температури, побічне тепло може бути використано для нагріву води і генерації пари атмосферного тиску.

Лужний паливний елемент. Лужні паливні елементи – одні з найефективніших елементів, що використовуються для генерації електрики, ефективність вироблення електроенергії доходить до 70%.

У лужних паливних елементах використовується електроліт, тобто водний розчин гідроксиду калію, що міститься в пористій стабілізованій матриці. Концентрація гідроксиду калію може змінюватися в залежності від робочої температури паливного елемента, діапазон якої варіюється від 65 °С до 220 °С. Носієм заряду є гідроксильний іон (OH^-), рухомий від катода до анода, де він вступає в реакцію з воднем, виробляючи воду й електрони.

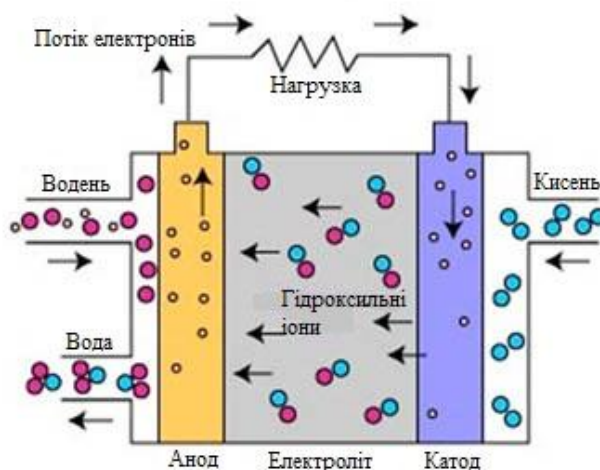
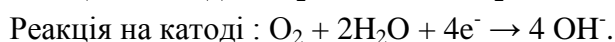
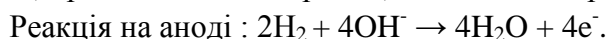


Рис. 4. Лужний паливний елемент [2]

Вода, отримана на аноді, рухається назад до катода, знову генеруючи там гідроксильні іони. В результаті цього ряду реакцій, що проходять в паливному елементі, проводиться електрика і, як побічний продукт, тепло :



Перевагою лужних паливних елементів є те, що ці паливні елементи – найдешевші у виробництві, оскільки каталізатором, який необхідний на електродах, може бути будь-яка з речовин, дешевших ніж ті, що використовуються в якості каталізаторів для інших паливних елементів. Лужні паливні елементи працюють при відносно низькій температурі і є одними з найефективніших паливних елементів – такі характеристики можуть відповідно сприяти прискоренню генерації харчування і високої ефективності палива.

Одна з характерних особливостей лужних паливних елементів – висока чутливість до CO_2 , яка може міститися в паливі або повітрі. CO_2 вступає в реакцію з електролітом, швидко отруює його, і сильно знижує ефективність паливного елемента.

Карбонатний паливний елемент. Паливні елементи з розплавленим карбонатним електролітом є високотемпературними паливними елементами. Висока робоча температура дозволяє безпосередньо використовувати природний газ без паливного процесора і паливного газу з низькою теплотворною здатністю палива виробничих процесів і з інших джерел.

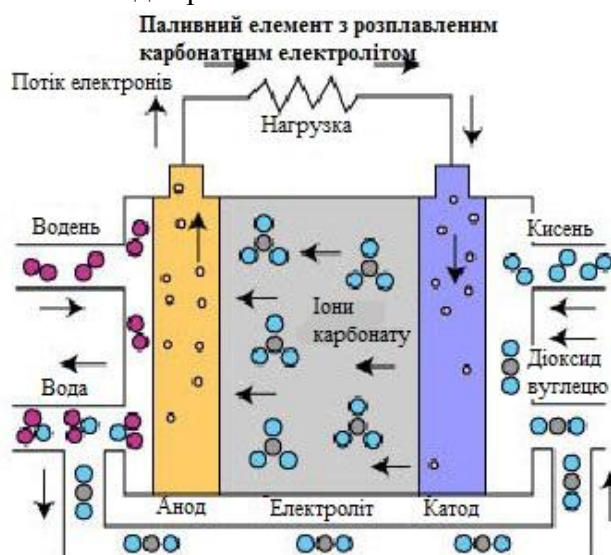


Рис. 5. Паливний елемент з розплавленим карбонатним електролітом [2]

Дані елементи використовують електроліт з суміші розплавлених карбонатних солей. В даний час застосовується два типи сумішей : карбонат літію і карбонат калію або карбонат літію і карбонат натрію. Для розплаву карбонатних солей і досягнення високого ступеня рухливості іонів в електроліті, робота паливних елементів з розплавленим карбонатним електролітом відбувається при високих температурах ($650\text{ }^\circ\text{C}$). ККД варіюється в межах 60-80 %.

При нагріванні до температури $650\text{ }^\circ\text{C}$, солі стають провідником для іонів карбонату (CO_3^{2-}). Дані іони проходять від катода на анод, де відбувається об'єднання

з воднем з утворенням води, діоксиду вуглецю і вільних електронів. Дані електрони направляються по зовнішній електричного кола назад на катод, при цьому генерується електричний струм, а в якості побічного продукту - тепло.

Реакція на аноді : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$.

Реакція на катоді : $\text{CO}_2 + 1.5\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$.

Загальна реакція елемента : $\text{H}_2 + 1.5\text{O}_2 + \text{CO}_2$ (катод) $\rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (анод).

Області застосування паливних елементів.

- Застосування паливних елементів у системах телекомунікації.

Внаслідок швидкого розповсюдження систем бездротового зв'язку в усьому світі, а також зростання соціально-економічних вигод технології мобільних телефонів, необхідність надійного і економічного резервного електроживлення придбала визначальне значення. Збитки електромережі протягом року внаслідок поганих погодних умов, стихійних лих або обмеженої потужності мережі являють собою постійну складну проблему для операторів мережі.

- Застосування паливних елементів у мережах зв'язку.

Мережі зв'язку потребують надійних рішень в області резервного електроживлення, які можуть функціонувати протягом декількох годин або декількох днів в надзвичайних ситуаціях, якщо електромережа перестала бути доступною.

При наявності незначного числа рухомих деталей, а також відсутності зниження потужності в режимі очікування, інноваційна технологія паливних осередків пропонує привабливе рішення в порівнянні з існуючими зараз системами резервного електроживлення.

- Застосування паливних елементів у мережах передачі даних.

Надійне електроживлення для мереж передачі даних, таких як мережі високошвидкісної передачі даних і оптико-волоконні магістралі, має ключове значення у всьому світі. Інформація, передана по таких мережах, містить критично важливі дані для таких установ, як банки, авіакомпанії або медичні центри. Відключення електроживлення в таких мережах не тільки становить небезпеку для переданої інформації, а й, як правило, призводить до значних фінансових втрат. Надійні інноваційні установки на паливних комірках, що забезпечують резервне електроживлення, надають надійність, необхідну для забезпечення безперервного електроживлення.

- Застосування паливних елементів у системах безпеки.

Найкращі ретельно розроблені системи безпеки будівель та системи зв'язку надійні лише настільки, наскільки надійно електроживлення, яке підтримує їх роботу. У той час як більшість систем включає деякі типи систем резервного безперебійного живлення для короткострокових втрат потужності, вони не створюють умови для більш тривалих перерв у роботі електромережі, які можуть мати місце після стихійних лих або терактів. Це може стати критично важливим питанням для багатьох корпоративних і державних установ.

- Застосування паливних елементів у комунально-побутовому опаленні і електрогенерації.

На твердооксидних паливних комірках побудовані надійні, енергетично ефективні і не дають шкідливих викидів теплоенергетичні установки для вироблення електроенергії та тепла з широко доступного природного газу та відновлювальних джерел палива. Ці інноваційні установки використовуються на самих різних ринках, від домашнього вироблення електрики до поставок електроенергії у віддалені райони, а також в якості допоміжних джерел живлення.

Паливні елементи також використовуються в:

1. Стационарних додатках
 - виробництво електричної енергії (на електричних станціях);
 - аварійні джерела енергії;
 - автономне електропостачання.
2. Транспорті
 - електромобілі, автотранспорт;
 - морський транспорт;
 - залізничний транспорт, гірська та шахтна техніка;
 - допоміжний транспорт (складські навантажувачі, аеродромна техніка).
3. Бортовому живленні
 - авіація, космос;
 - підводні човни, морський транспорт.
4. Мобільних пристроях
 - портативна електроніка;
 - живлення стільникових телефонів;
 - зарядні пристрої для армії.

Література

1. <http://www.strf.ru/>
2. http://www.intech-gmbh.ru/energy_units.php#advantages

***Анотація.** Головка Н.В. Фізичні основи паливних елементів та перспективи їх використання. В статті розглянуто деякі види паливних елементів, принцип їх роботи та перспективи використання.*

***Ключові слова:** енергетика, паливний елемент, іони, електроліт.*

***Аннотация.** Головка Н.В. Физические основы топливных элементов и перспективы их использования. В статье рассмотрены некоторые виды топливных элементов, принцип их работы и перспективы использования.*

***Ключевые слова:** энергетика, топливный элемент, ионы, электролит.*

***Abstract.** Golovko N.V. Physical bases of fuel elements and prospect of their use. In the article some types of fuel elements, the principle of their work and prospects of use.*

***Key words:** power, fuel element, ions, electrolyte.*