

УДК 621.352.6(045)

І.І. Войтко, канд. хім. наук

ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЯК ЕФЕКТИВНІ ЗАСОБИ ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Інститут екології та дизайну НАУ, e-mail: ied@nau.edu.ua

Розглянуто літературні джерела щодо застосування паливних елементів і можливість використання їх як самостійних ефективних генераторів електричної енергії, зокрема, в космічній техніці. Показано, що найбільш перспективний шлях їх розвитку полягає через створення гібридних енергетичних систем.

Вступ

Новітня історія означена тим, що запаси невідтворюваних видів енергоносіїв, особливо вуглеводневої сировини, які накопичила природа, будуть вичерпані. Тому вчені всього світу незабаром працюють як над залученням альтернативних джерел енергії, так і над більш ефективним використанням сировини, яка ще залишилася в надрах Землі. Ця проблема особливо актуальна для України.

Ефективність паливних елементів

Особливу увагу привертають паливні елементи (ПЕ), які, завдяки їх спроможності безпосередньо перетворювали енергію органічного палива в електричну, різко підносять ефективність його використання. Це пояснюється тим, що в традиційному ланцюгу генерації електричної енергії хімічна енергія палива $\xrightarrow{\text{I}}$ теплова енергія $\xrightarrow{\text{II}}$ механічна енергія $\xrightarrow{\text{III}}$ електрична енергія знімається стадія I і, що особливо важливо, стадія II.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) η перетворення теплоти в механічну роботу лімітується згідно з теоремою Карно. Головним чином завдяки цьому, ККД теплових пристроїв становить:

- парових машин 4–8 %;
- потужних теплових електростанцій 30 %;
- двигунів внутрішнього згорання 40–50 %.

Коефіцієнт корисної дії ПЕ зараз становить 70–80 %, а теоретично може досягти 100 %. Це пояснюється тим, що на відміну від теплових машин, де відбувається хаотичний обмін електронами між частинками палива й окисника (звичайний процес горіння), в ПЕ проходить упорядкований перехід електронів через електричний ланцюг (процес електрохімічного горіння).

Тому ПЕ можна визначити як гальванічні елементи, в яких матеріал безперервно підводиться до електродів, що призводить до постійної генерації електричної енергії.

Термодинамічний ККД ПЕ визначається, як і для теплових машин, відношенням корисної ро-

боти, яку може дати елемент ($A_{\text{max}} = -\Delta G$), до теплового ефекту реакції:

$$\eta = \frac{-\Delta G}{-\Delta H} = \frac{\Delta H - T\Delta S}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H}. \quad (1)$$

З аналізу рівняння (1) випливає, що термодинамічний ККД ПЕ залежить від величини і знаку зміни ентропії реакції ΔS .

При ентальпії реакції $\Delta H < 0$ можливі два випадки: $\Delta S < 0$, $\eta < 1$. Частина теплоти розсіюється в навколишній простір. Якщо $\Delta S > 0$, то $\eta > 1$, тобто для виконання корисної роботи використовується частина теплоти, що поглинається із зовнішнього середовища [1; 2].

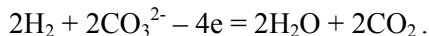
Класифікація і застосування паливних елементів

На сьогодні відомо багато різноманітних ПЕ, які класифікують за назвою реагентів (повітряно-водневі, киснево-гідразинові тощо), за типом іонного провідника (водні розчини електролітів, розплави і твердооксидні електроліти). За робочою температурою всі ПЕ поділяють на низькотемпературні (до 100 °С), середньотемпературні (100–250 °С) та високотемпературні (500–1000 °С).

У системі електрохімічної енергетики паливні елементи знайшли певне застосування, проте в перспективі діапазон їх використання значно розшириться. Це – велика енергетика, транспорт, а в комбінації з електролітичними комітками і акумулювання електричної енергії.

Першими електрохімічними енергетичними установками (ЕЕУ) були генератори, створені на основі середньотемпературних киснево-водневих ПЕ з лужним електролітом. Через велику вартість електродів таких ПЕ, виготовлених із цінних металів, цей тип ЕЕУ має обмежене застосування (космонавтика, військова техніка, інші спеціальні галузі). Прикладом такої ЕЕУ є силова установка космічного корабля “Аполлон”, характеристики якої наведені в табл. 1 (рядок 1). Ця установка складається з трьох батарей ПЕ, систем криогенного зберігання кисню і водню, терморегулювання, відводу і зберігання продуктів реакції та керування.

Саме тому на катод разом з окисником у цьому випадку подається вуглекислий газ. На аноді відбувається окиснення водню з віддачею електронів.



Робоча температура КРПЕ дещо нижча, ніж у ТОПЕ – 650 °С.

Високотемпературні паливні елементи в гібридних системах когенерації енергії

Електрохімічні енергетичні установки на основі високотемпературних ПЕ дозволяють здійснювати когенерацію енергії, тобто одночасне виробництво електро- і теплової енергії. Так, компанія SWPC ще в 1997 р. запустила в Нідерландах когенераційну установку потужністю 110 кВт електроенергії і 64 кВт тепла у вигляді гарячої води для міської мережі. Система пропрацювала 14 000 год операційного часу, вміст NO_x, SO_x, CO і вуглеводнів у викидах був нижчий за один проміле, що на порядки менше в порівнянні з викидами теплових електростанцій.

У 2000 р. компанією SWPC виконано контракт на поставку для компанії Norske Shell (Норвегія) і Ontario Power Generation (Канада) потужніших версій цих установок (табл. 1, рядок 5). Згідно з замовленням Департаменту енергетики США (DOE) планується створити мегаватну установку на базі ТОПЕ під тиском вартістю 1300–1500 доларів за 1 кВт встановленої потужності (табл. 1, рядок 6).

Дослідження останніх років довели, що найбільш ефективним шляхом упровадження високотемпературних ПЕ в енергетику є їх поєднання з газовими турбінами (ГТ) у так звані гібридні цикли.

У гібридному циклі ТОПЕ/ГТ (рис. 2) паливні елементи, виробляючи основну частину (близько 80 %) електричної енергії всієї установки, одночасно виконують роль своєрідної топки для ГТ.

Гази, які виходять з ТОПЕ, надходять до турбіни, де виробляється решта електроенергії, і далі охолоджуються в рекуператорі.

Симбіоз високотемпературних ПЕ з газовими турбінами призводить до екстремально високої ефективності роботи енергосистем. Якщо окремо працююча газова турбіна має мережний електричний ККД близько 30 %, то цей показник для гібридного циклу ТОПЕ/ГТ досягає 70 %, а для потужних систем – навіть 80%. Різке підвищення ефективності використання палива в гібридних циклах пояснюється тим, що в них основну частку електричної енергії виробляють ПЕ.

Саме тому значно зменшуються втрати енергії, які виникають при горінні палива в звичайній топці згідно з теоремою Карно.

При роботі індивідуальних ГТ, у топці втрачається 33 % теплотворної здатності палива, в той час як при використанні гібридного циклу ТОПЕ/ГТ сума втрат на конверсію природного газу і проведення електрохімічних реакцій становить лише 17–18 %.

Паливні елементи є центральною ланкою прогресивних технологій когенерації і тригенерації: одночасного одержання електричної енергії, тепла і холоду.

Їх цінність полягає в можливості гнучкого використання енергії палива в комунальному господарстві залежно від зовнішньої температури, тобто від пори року і навіть часу доби.

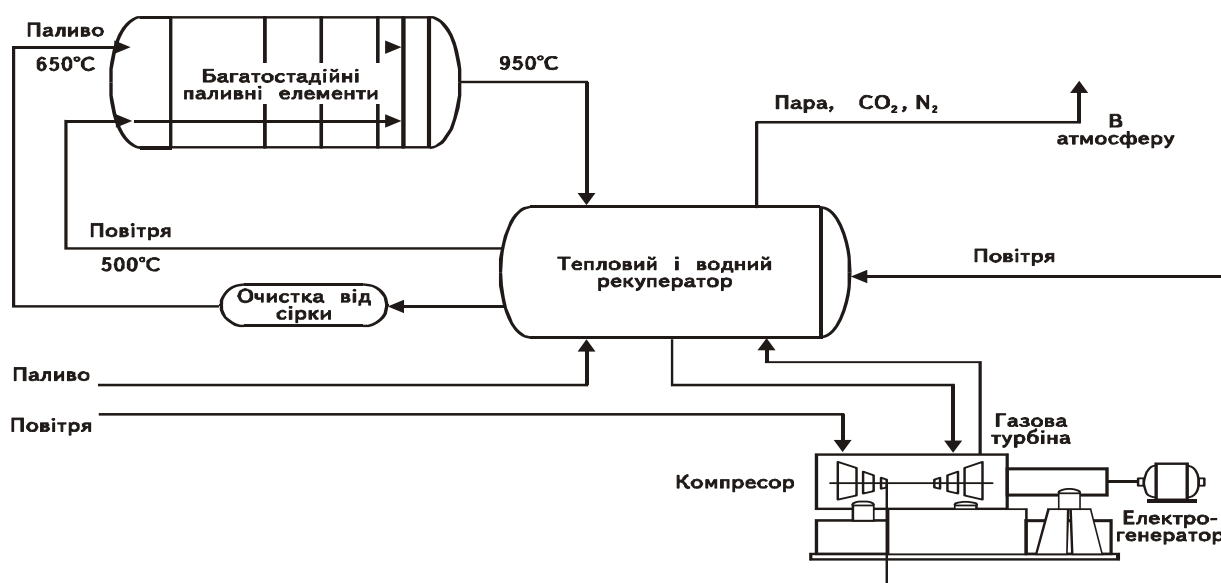


Рис. 2. Принципова схема гібридного циклу ТОПЕ/ГТ

Таблиця 2

Проектні показники гібридних систем за програмою DOE – NETL

Етап програми	Термін виконання, р.	Потужність, МВт	Електричний ККД, %	
			ПЕ на природному газі	ПЕ на вугіллі
Короткотерміновий	2003 – 2005	До 1	Більше 60	45
Середньотерміновий	2010	До 20	70	53
Довготерміновий	2015	До 30	80	60

Показником важливості гібридних установок для енергетики є той факт, що DOE через свій науково-дослідний підрозділ Національну енергетичну технологічну лабораторію (NETL) у 1997 р. розробив програму їх розвитку, вибрав і фінансує п'ять найбільш перспективних альтернативних проектів.

До виконання програми залучені сім найбільш потужних розробників ПЕ і ГТ, які повинні реалізувати її в три етапи (табл. 2).

Гібридні системи ПЕ / ГТ найбільш ефективно використовувати поблизу споживачів електричної та теплової енергії. При цьому установки потужністю до 500 кВт призначаються для забезпечення житлових приміщень, офісів, концертних і спортивних залів тощо, потужністю 0,5–5 МВт – для об'єктів середньої промисловості, потужністю 5–50 МВт – для великих підприємств. Прогнозується, що вартість установок для систем потужністю 200–300 кВт буде становити 1300–1500 доларів США за 1 кВт установленної потужності і зменшуватися з ростом масштабу установок.

Висновки

Паливні елементи, які до тепер мали обмежене застосування (космічна і військова техніка, інші спеціальні галузі), найближчим часом можуть здійснити прорив у велику енергетику. Найбільш перспективним шляхом їх широкомасштабного впровадження в енергетику є створення

гібридних з газовими турбінами систем ко- і тригенерації енергії. У такий спосіб досягається максимальна у порівнянні з існуючими генераторами енергії ефективність використання вуглеводневої сировини і найближчий рівень шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Список літератури

1. *Антропов Л.И.* Теоретическая электрохимия. – М.: Высш. шк., 1975. – 568 с.
2. *Коровин Н.В.* Электрохимическая энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 263 с.
3. *Macchi E. Campanari S.* Potential developments for gas microturbines. Hybrid cycles and trigeneration // Cogeneration and on-site power production. – 2001. – Vol. 2, issue 2. – P. 41–49.
4. *Campanari S.* Thermodynamic analysis of parametric analysis of tubur SOFC module // Journal of Power Sources. – 2000. – Vol. 92. – P. 26–34.
5. *Smits D.* Large utilities tem solid oxide systems. Modern Power System. Germany Supplement. – 2000. – P. 27–30.
6. *Broun R.J., Gaggioli R.A., Dunbar W.R.* Iprovements of a molten carbonate Fuel cell power plant via energy analysis // ASME Journal of Energy Resources Technology. – 1999. – Vol. 121. – P. 277–285.
7. *Barker T.* Technologies converge : fuel cell meets gas turbine//Turbomachinery international. – 2000. – № 1. – P. 20–23.

Стаття надійшла до редакції 02.09.04.

И.И. Войтко

Топливные элементы как эффективные средства использования химических энергоносителей

Рассмотрены литературные источники, касающиеся применения топливных элементов, и возможность использования их как самостоятельных генераторов электроэнергии, в частности, в космической технике. Показано, что наиболее перспективный путь их развития проходит через создание гибридных энергетических систем.

I.I. Voytko

Fuel cells as effective means of chemical power source

The sources of literature related to fuel cells application had been analyzed. Conclusion had been made that they can be used as independent power supplies (sources), particularly in the field of aerospace. Although the most progressive way of their development as expected created hybrid energy systems.