

УДК 662.769.2

Ю. Б. Басараба¹, Т. М. Засадний²¹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ² Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

ПАЛИВНІ КОМІРКИ – ОСНОВА ЕЛЕКТРО ТА ТЕПЛО ЕНЕРГЕТИКИ МАЙБУТЬОГО

Наведено об'єми споживання вуглеводневого палива та можливі наслідки нераціонального їх використання. Вказано альтернативний напрям розвитку енергетики та використання вуглеводнів. Особливу увагу приділено паливним коміркам пристроям прямого перетворення хімічної енергії палива (водню) в теплову та електричну. Висвітлено основні проблеми паливних комірок, вказано досягнення українських вчених та основні завдання, які необхідно вирішити у цій галузі.

Ключові слова: паливна комірка, воднева енергія, водень.

Постійне нарощування економічного потенціалу призводить до збільшення споживання енергії. Це обумовлює збільшення використання не відновлюваних природних горючих корисних копалин частка споживання яких становить [1]: нафти – 39 %, вугілля – 22 %, газу – 23 %, ядерного пального – 7 %. І головна проблема у тому, що запаси їх обмежені. Тільки 9 % припадає на відновлювані джерела енергії. За теперішніх темпів споживання вуглеводнів згідно прогнозів нафти і газу вистачить приблизно на 100 років, вугілля на 400 років. Зазначимо, що при добуванні нафти і газу потрібно заглиблюватися на глибину до 6000 м, що потребує постійного удосконалення технології буріння та інтенсифікації роботи свердловин. Закінчується ера широких та легкодоступних покладів вугілля, а однією з проблем ядерної енергетики є захоронення радіоактивних відходів, поширення ядерної зброї, ядерний тероризм. Основним споживачем нафтопродуктів є автомобільний транспорт та хімічна промисловість. Внаслідок цього у світі щорічно разом з нафтопродуктами сплюється близько $4 \cdot 10^7$ т сірки, що у перерахунку на продукти згорання складає приблизно $8 \cdot 10^7$ т оксиду сірки (SO_2), або $1,2 \cdot 10^8$ т сірчаної кислоти і призводить до випадання «кислотних дощів» та зростання захворювання населення [2]. Не є секретом, що залежність економік в основному від видобутку вуглеводнів з часом призведе до економічної та екологічної катастрофи. Інтенсивне використання біопалива, зокрема біодизеля, призведе до виснаження ґрунтів технічними культурами. Як наслідок зменшення кількості продуктів харчування і їх нестача у майбутньому.

З метою ефективного використання природних вуглеводнів необхідно створювати нові підходи до використання вже наявних енергоресурсів та розвивати альтернативну енергетику, зокрема водневу. Одним з напрямів водневої енергетики, який найбільше привертає увагу дослідників, конструкторів, промисловості та інвесторів є паливні комірки [3-6]. Паливна комірка (електрохімічний генератор) – це хімічне джерело живлення, яке виробляє електроенергію, тепло та воду внаслідок електрохімічної реакції окислення водню. При цьому відбувається пряме перетворення хімічної енергії палива в електричну енергію. Основною відмінністю паливної комірки від інших хімічних джерел струму є: по-перше – вони працюють до тих пір поки подається паливо, по-друге – вони не потребують перезарядки. При використанні тільки електричної енергії коефіцієнт корисної дії становить 40-50 %, а при використанні і електричної, і теплової енергії досягає 90 %. При використанні в якості палива чистого водню продуктом реакції є чиста вода; при використанні інших видів палива є незначні викиди оксидів вуглецю та азоту.

Історія розвитку. У 1800 році англійські вчені Вільям Нікольсон (*William Nicholson*) і Ентоні Карлейль (*Anthony Carlisle*) описали процес використання електроенергії для розкладу води на кисень і водень. Вільям Гроув (*William Robert Grove*) у 1939 році зробив пристрій з двох платинових електродів, які були занурені у розчин сірчаної кислоти в якому відбувалася реакція зворотна до електролізу води. Водень і кисень утворювали молекули води без горіння з виділенням тепла і електричного струму. Цей пристрій, який Гроув назвав «газовою батареєю», був першим паливним елементом. Сама назва «паливні комірки» (анг. *fuel cell*) була висловлена через п'ятдесят років хіміками Мондом та Лангером, які спробували отримати електроенергію з вугілля, використовуючи повітря та промисловий вугільний газ.

Активне використання технології паливних елементів почалося після Другої світової війни і пов'язане воно було з освоєнням космічного простору. Розробники НАСА (*National Aeronautic and Space Administration, NASA*) використали паливні елементи в якості джерела електричної енергії, тепла та води у космічних апаратах «Apollo», «Gemini», «Skylab» та кораблях багаторазового використання «Space Shuttle». У Радянському Союзі у рамках програми РКК «Енергія-Буран» була розроблена і пройшла успішні випробування установка «Фотон» потужністю 16 кВт і коефіцієнтом корисної дії 65 % (при потужності 10 кВт) [1].

На даний час на ринку представлено декілька фірм виробників паливних елементів.

UTC Power (<http://www.utcfuelcells.com/>) – підрозділ американської компанії *United Technologies Corporation*. Ця фірма виробляє паливні елементи для транспортних засобів (використовуються в експериментальних зразках автомобілів марок Nissan, Hyundai, BMW, автобусів Thor Industries та Irisbus), космічних кораблів Space Shuttle, а також паливні елементи, призначені для стаціонарного використання. Американська компанія FuelCell Energy (<http://www.fuelcellenergy.com/>) представляє на ринку паливні елементи моделей DFC 300A, DFC 1500, DFC 3000 потужністю відповідно 250, 1000, 2000 кВт, виконані на основі технології MCFC. В усьому світі встановлено близько 30 паливних елементів DFC 300A. Дані моделі встановлені наприклад, у штаб-квартирі Департаменту енергетики і водопостачання Лос-Анджелеса, на заводі Mercedes-Benz в Тускалузі (Алабама). Крім США, такі елементи встановлені на різних об'єктах в Німеччині, Іспанії та Японії. Компанія Siemens Westinghouse Power Corp. (<http://www.siemenswestinghouse.com/>) більше 40 років займається дослідженням паливних елементів на основі технології SOFC. Перша у світі гібридна твердо тільна оксидна установка була змонтована компанією Siemens Westinghouse Power Corp. в Каліфорнійському університеті і запущена в тестову експлуатацію в травні 2000 року. Потужність установки складала 220 кВт, з них 200 кВт – потужність паливного елемента технології SOFC і 20 кВт – потужність мікротурбінного електрогенератора. Америко-італійська компанія Nuvera Fuel Cells (<http://www.nuvera.com/>) випускає стаціонарні паливні елементи на основі технології PEM для житлових та комерційних будівель, а також паливні елементи для автомобілів. Компанія випускає паливні елементи моделі H2E потужністю 1-6 кВт, в яких в якості палива використовується чистий водень. Цей вид палива використовують моделі Forza потужністю від 160 кВт до декількох МВт. Також випускаються паливні елементи моделі Avanti потужністю 4 кВт, в яких паливом служить природний газ.

Принцип роботи. Принцип роботи паливної комірки продемонстровано на прикладі *твердо-оксидної паливної комірки (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC)* [5-11] яка найбільш повно задовольняє усі вимоги (економічні показники), які ставляться до енергоустановок промислового використання, з одного боку, і є найдоцільнішою для виробництва в Україні з огляду на наявність власного родовища піску-циркону, скандію, рідкісноземельних елементів та власних елементах технології [12].

Паливна комірка (рис. 1) складається з двох електродів розділених між собою твердим керамічним електролітом. На один електрод (анод) подається паливо (водень), на другий (катод) – окисник (кисень). Реакція окислення водню відбувається на аноді без горіння у присутності каталізатора. Тверді електроліти на основі оксидів металів – це речовини в яких електропровідність здійснюється рухом іонів якогось одного знаку катіонами або аніонами. Іони пересуваються по вільним позиціям у структурі речовини, розділеним невисокими потенціальними бар'єрами [13]. Незважаючи на те, що відомо багато оксидів які володіють як кисневою так і водневою провідністю при підвищених температурах реальні паливні комірки на даний час розроблені тільки з електролітом на основі діоксиду цирконію ZrO_2 стабілізованого оксидами Y_2O_3 , Sc_2O_3 , CeO_2 [5, 11], які утворюють з ним тверді розчини і забезпечують ефективну іонну провідність по кисневим вакансіям при температурах від 800 до 1000°C. В якості катоду використовують пористі електроди на основі $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ або $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_3$ [5]. Анодом служить пористий електрод на основі NiO та скандій стабілізованого ZrO_2 . Як правило керамічні паливні комірки працюють при температурі 800-1000°C. Є два шляхи зниження робочої температури паливних комірок. Перший – використання альтернативних твердих електролітів з високою іонною провідністю зокрема на основі $La(Sr)Ga(Mg, Co, Fe)O_{3-\delta}$ [14-17], $Ce(Y)SrO_{2-\delta}$ [18], композитні електроліти $La(Sr)Ga(Mg)O_{3-\delta} - CeGdO_{2-\delta}$ [19], які працюють при температурі 600-800°C. Другий – використання традиційних електролітів у вигляді тонких плівок [20].

В якості палива SOFC можуть використовувати природний газ, синтетичний газ, біогаз, шахтний газ – метан, газ з відпрацьованих нафтових і газових свердловин, метанол, етанол. При

цьому в твердо оксидних паливних комірках відбувається попередня конверсія [21] цих палив і реальним паливом є все ж таки водень. Але оскільки конверсія відбувається безпосередньо у паливній комірці, то формально паливом вважають саме вказані вище горючі речовини. Ці паливні комірочки є досить перспективними оскільки можуть використовувати каталізатори, які не належать до металів групи платини. В якості каталізаторів можуть бути на аноді – нікель, на катоді змішані оксиди кобальту, марганцю, хрому. За рахунок високо потенціального тепла продуктів реакції легко вмонтовуються у різні енергетичні цикли. Коефіцієнт корисної дії по електроенергії складає 55-60 %, а при використанні в установках комбінованого циклу – до 85 %. Електроди та електроліт безпосередньої участі у хімічній реакції не беруть, а отже не зношуються. Паливна комірочка буде працювати поки паливо і окислювач подають до електродів. Після припинення подачі палива, розмикання зовнішнього кола або припинення руху іонів паливна комірочка припиняє роботу.

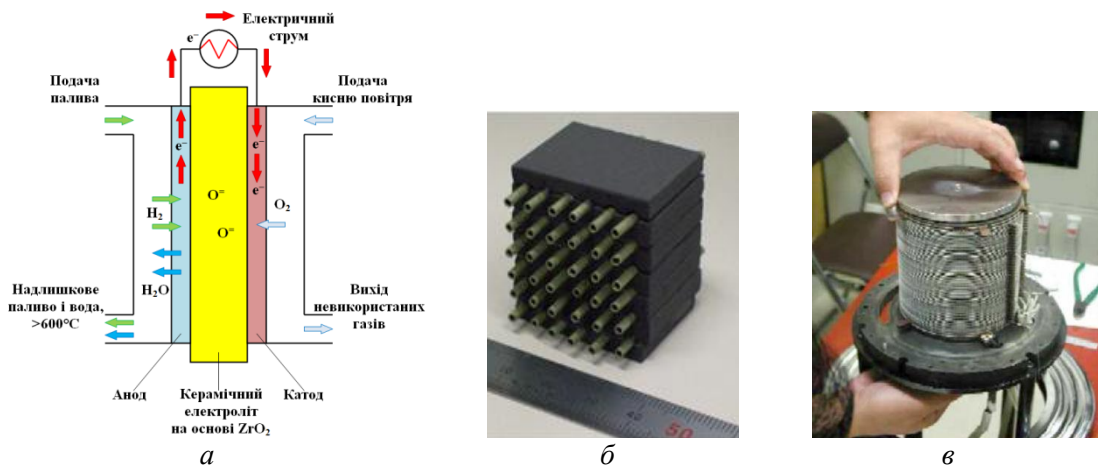


Рис. 1 – Твердо-оксидна паливна комірочка на основі цирконієвої кераміки: а – схема, б – трубчатий [22] та в – планарний [5] тип.

Електрохімія. На аноді молекули водню іонізуються: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Електрони через зовнішнє коло рухаються до катоду. На катод подають кисень який іонізується на поверхні катод-електроліт: $\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$. Іони кисню дифундують через розігрітий керамічний електроліт і взаємодіють іонами водню на поверхні електроліт-анод, у результаті чого утворюється вода і виділяється тепло: $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$. Загальна реакція у паливній комірці: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + Q + E$. Значення електрорушійної сили паливної комірочки залежить від температури і парціальних тисків учасників реакції. За рівнянням Нернста електрорушійна сила дорівнює [23]:

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \cdot \ln \frac{p_{\text{O}_2}^{0.5} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,5 - 0,9 \text{ В}$$

де: $E_0 = \frac{\Delta G_0}{2F}$, ΔG_0 – зміна енергії Гіббса в результаті перебігу хімічної реакції за нормальних умов, F – стала Фарадея, R – універсальна газова стала; T – температура; p_{H_2} , $p_{\text{H}_2\text{O}}$, p_{O_2} – парціальні тиски водню, води та кисню в окислювачі та паливі.

Причому залежність від тиску є незначною. Збільшення тиску газів від 1 до 10 атм збільшує електрорушійну силу приблизно на 0.1 В. Однак при цьому виникає небезпека утворення вибухонебезпечної суміші водню і кисню з наступним вибухом установки. Тому робочі тиски не перевищують 1-3 атм.

При проходженні струму через паливну комірочку напруга дорівнює: $U = E - I \cdot R - A - K$

де: I – сила струму через паливну комірочку опір якої дорівнює R ; A і K – перенапруга реакції на аноді, де відбувається окислення палива, і на катоді де відбувається відновлення окислювача, E – електрорушійна сила.

Слід відмітити, оскільки не має проміжної стадії генерації теплоти, то для паливних комірочок не має термодинамічного обмеження коефіцієнта корисної дії. Коефіцієнт корисної дії паливної комірочки задається рівнянням [11]:

$$\eta = \frac{nF(E_0 - IR_c)\alpha}{\Delta H}$$

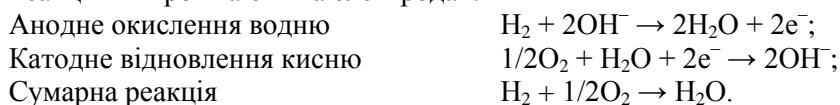
де E_0 – напруга розімкненого кола; n – число електронів на молекулу реагенту; F – стала Фарадея; ΔH – зміна ентальпії при перебігу хімічної реакції; R_c – опір комірки; I – сила струму через паливну комірку; α – коефіцієнт який залежить від виду палива яке використовується.

Основні типи паливних комірок. Крім твердо-оксидних паливних комірок в залежності від типу електроліту розрізняють наступні види паливних комірок.

Лужні паливні комірки (Alkaline Fuel Cell – AFC) [11, 24-27] – перші з усіх типів паливних комірок. Суттєвою їх перевагою є те, що в них використовується електроліт (водний розчин гідроксиду калію КОН), який володіє найбільшою іонною провідністю з усіх відомих електролітів, а також, те, що вони володіють високою кінетикою відновлення кисню, більш ніж у п'ять раз перевищуючи активність катодної реакції у кислотних воднево-повітряних паливних комірках з платиновим електричним каталізатором. Практичний наслідок цього – більш високий ККД (може перевищувати 60 %), ніж в інших низькотемпературних паливних комірках при тій же густині струму, або більш висока густина струму (і питома потужність) при однаковому ККД. Це має досить суттєве значення при розробці енергетичних установок на основі AFC – більш тривалий час їх роботи при однаковій кількості реагентів, у порівнянні з батареєю твердо полімерних паливних комірок. Перевагою AFC є також те, що реакції окислення палива (водню) на аноді і відновлення кисню на катоді можуть протікати на недорогих електричних каталізаторах без використання в них металів платинової групи.

В якості електроліту використовують концентрований 85 % мас. розчин гідроксиду калію (КОН) у паливних елементах, які працюють при високих температурах (вище 250°C), і менш концентрований (35-50 % мас.) – для роботи за низьких температур (нижче 100°C). Відновлення кисню у лужному середовищі відбувається набагато швидше, ніж у кислому середовищі як у паливних комірках на протон-обмінних мембранах. Отже, стає можливим використовувати в доповнення до каталізаторів з благородних металів, інші каталізатори, наприклад, нікель, срібло, оксиди металів, шпінелі.

Реакції які протікають на електродах:



Провідними іонами у AFC є іони гідроксиду (OH^-). В якості палива може бути використаний тільки чистий водень, а в якості окислювача – чистий кисень. Монооксид вуглецю (CO) отруєє каталізатор, двооксид вуглецю реагує з електролітом (КОН) з утворенням K_2CO_3 (тверда сіль), змінюючи таким чином склад електроліту. Навіть незначна кількість CO_2 у повітрі призводять до пошкодження лужної паливної комірки.

При цьому утворюються карбонати у відповідності з реакцією: $CO_2 + 2OH^- \rightarrow (CO_3)^{2-} + H_2O$.

У перших космічних AFC електроліт містився у матриці. Подальші розробки використовували циркуляцію електроліту, а рідина могла бути використаною для охолодження паливних комірок. Практичні проблеми економічно ефективного видалення CO_2 з повітря, яке подається на катод, обмежує практичне використання лужних паливних комірок у літаках, на підводних човнах і танках.

Її електроди виготовляють з пористих активованих платиною нікелевих пластин, що забезпечує високу розвинутість поверхні і високу електро каталітичну активність електродів на які подають водень та кисень. Між електродами знаходиться водний розчин лугу і діафрагма з азбестової тканини, яка їх розділяє. Розчин лугу адсорбується азбестовою пластинкою до якої щільно притиснуті пористі електроди. Лужні паливні комірки інтенсивно розроблялися у рамках космічних програм і до сих пір є основними у цій області. Недоліками цих паливних комірок є необхідність використання великої кількості благородних металів для активації електродів, висока чутливість каталізаторів до каталітичних ядів, певна нестійкість електроліту, а саме неможливість використання повітря в якості окислювача (через взаємодію лугу з діоксидом вуглецю) і вимивання утвореною водою лугу з азбестової матриці, невеликий ресурс (для установки «Фотон» він склав 5000 годин). Це робить недоцільним їх використання в енергетиці.

Однією з різновидностей лужних паливних комірок є металогідридні паливні комірки [26, 27], які на аноді в якості каталізаторів використовують метало гідриди на основі $LaNi_5$.

Паливні комірки на протон-обмінних мембранах або з твердим полімерним електролітом (Proton Exchange Membrane Fuel Cell – PEMFC) [11,28-30] – мають високу питому густину енергії, їхньою перевагою є низька маса та об'єм у порівнянні з іншими паливними

комірками. Вони використовують твердий полімер в якості електроліту і пористі вуглецеві електроди активовані платиновим каталізатором. Паливні комірки з полімерним електролітом працюють при відносно низьких температурах близько 80°C. Низькі температури дозволяють їм швидко стартувати і як результат менший знос елементів та довговічність. Однак вони потребують каталізаторів з групи благородних металів (типово платину) [29] для розділення електронів та протонів водню, що додає їм вартості. Платинові каталізатори є дуже чутливими до забруднення моно оксидом вуглецю CO, використовуючи його необхідно мати в наявності додатковий реактор для зменшення CO у паливі якщо водень отримується зі спирту або вуглеводневого палива. Це також збільшує вартість. На даний час розробники розглядають платино-рутенієві каталізатори які менш чутливі до CO. Паливні комірки з твердим полімерним електролітом головним чином використовують в автотранспорті і у деяких випадках для стаціонарного використання. Через їх швидкий старт (запуск), сприятливе відношення потужності до маси, дані паливні комірки придатні для використання у пасажирському транспорті такому, як автомобілі та автобуси.

Значний бар'єр до використання цих паливних комірок є зберігання водню. Більшість транспорту на паливних комірках працюють на чистому водні і повинні мати запаси водню на борту у стисненому вигляді у спеціальних резервуарах. Через низьку густину енергії важко зберігати достатню кількість водню на борту для транспортних засобів при подорожі на ті самі дистанції у порівнянні з транспортом який в якості палива використовує бензин. Висока густина рідких палив таких як метанол, етанол, природний газ, скраплений нафтовий газ, бензин можуть бути використані як паливо, але транспортні засоби повинні оснащуватися пристроєм, який буде перетворювати їх на водень. Це призводить до зростання вартості та умов зберігання. Риформер також виділяє діоксид вуглецю (парниковий газ).

Розробка паливних комірок на протон-обмінних мембранах була розпочата компанією «General Electric» у кінці 50-х років минулого століття. Протон провідні мембрани – це полімерні матеріали з іоногенними (такими що дисоціюють на іони) групами, які утворюють водо нерозчинні іонообмінні мембрани за рахунок просторової зшивки полімерних ланцюжків. На даний момент використовують фторовані і перфторовані тверді полімерні електроліти, які володіють відносно низьким опором, високою механічною міцністю і найбільшою хімічною стійкістю. Хоча мембрана і тонка (~120 мкм) вона володіє низькою газопроникністю і зменшує ймовірність змішування вибухонебезпечних реагентів у порівнянні з AFC. В якості електричних каталізаторів застосовують платину та інші метали групи платини на вуглецевому носії. Електричний контакт, підвід газів і відвід утвореної води здійснюють за рахунок щільного притискання пористих провідників струму з вуглеграфітової тканини або паперу.

Екологічна чистота, висока питома енергія, низька інерційність робить ці паливні комірки перспективними не тільки у космосі і підводному флоті але й у побуті і у першу чергу для транспортних засобів. В Канаді створені і проходять випробування автобуси на паливних елементах потужністю 250 кВт і коефіцієнтом корисної дії енергоустановки 55 % зі зберіганням водню у стисненому вигляді. Низькі робочі температури і високий коефіцієнт корисної дії роблять ці паливні комірки перспективними для децентралізованого енергопостачання, для отримання електроенергії з природного газу з попередньою конверсією. Великий інтерес становить створення зворотного пристрою електролізер – паливна комірка. Подальший розвиток цього типу паливних комірок пов'язаний зі зниженням вартості твердого полімерного електроліту та розходу платинових металів, кількість яких зменшена до 0.6 мг/см² у порівнянні з 10 мг/см² на початку 60 – х років. Певною проблемою є чутливість електричних каталізаторів до оксиду вуглецю, який присутній у конверсійному водні.

Фосфорно-кислотні паливні комірки (Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC) [11] – використовують рідку фосфорну кислоту в якості електроліту. Кислоту розміщують у термостійкій матриці з карбиду кремнію та тефлону. В якості електродів використовують пористий вуглець з платиновим каталізатором. Цей тип паливних комірок використовується у стаціонарних генераторах енергії, але деякі використовують і для транспорту, наприклад, в автобусах. Фосфорно-кислотні паливні комірки є дорогими. Вони потребують використання дорогих платинових каталізаторів, які підвищують вартість паливної комірки.

Паливні комірки на розплавлених карбонатах (Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC) [11, 31-33] – на сучасному етапі розроблені установки які в якості палива використовують природний газ та вугілля і використовуються для отримання електроенергії в комунальному господарстві, промисловості і для військових цілей. Паливні комірки на розплавлених карбонатах є

високотемпературними паливними комірками. Вони використовують електроліт який складається з суміші розплавлених солей карбонатів $\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$ або $\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$ [29], які знаходяться в пористій матриці з хімічно інертного керамічного літій алюмінієвого оксиду (LiAlO_2) [29]. Паливні комірки на розплавлених карбонатах можуть досягати ефективності близько 60 %, значно більше ніж 37–42 % для фосфорно-кислотних паливних комірок (табл. 1). З використанням тепла, яке виробляється коміркою ефективність може сягати 85 %.

На відміну від лужних, фосфорно-кислотних та паливних комірок з полімерним електролітом, *MCFC* не потребують зовнішнього риформера для перетворення вуглеводневого палива у водень. Через високу температуру при якій працює *MCFC* це паливо конвертується на водень у середині паливної комірки у процесі її роботи при внутрішньому риформінгу, що також зменшує вартість.

Таблиця 1

Основні типи паливних комірок

Тип	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Електроліт	Розчин гідроксиду калію	Твердий органічний полімер з перфторсульфоново ї кислоти	Рідка фосфорна кислота	Карбонати калію або натрію	Твердий електроліт на основі оксиду цирконію
Каталізатор	Платина, нікель/оксиди нікелю	Платина	Платина	Нікель/оксиди нікелю та літію	Нікель
Діючі іони	OH^-	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Робоча температура, °C	50-200	30-100	180-220	600-700	700-1000
Паливо	Водень	Водень	Водень	Водень, природний газ	Водень, природний газ
Окислювач	Чистий кисень, повітря	Чистий кисень, повітря	Чистий кисень, повітря	Чистий кисень, повітря	Чистий кисень, повітря
Чутливі до	CO_2 , Hg, Cl, S	CO, S, Cl	CO, S, Cl	S, Cl	S, Cl
ККД, %	60-65	35-50	35-40	50-60	50-65

Паливні комірки на розплавлених карбонатах не схильні до забруднення моно оксидом та діоксидом вуглецю – вони можуть використовувати оксиди вуглецю як паливо. Так як вони мають більшу опірність до забруднення домішками ніж паливні комірки інших типів дослідники вважають що вони будуть здатні до внутрішнього риформінгу вугілля, за умови що буде зроблено їх стійкішими до домішок таких як сірка і дрібних частинок які є результатом конвертування вугілля, забруднених викопних палив у водень. Високі температури при яких ці комірки працюють і корозійний електроліт який вони використовують призводить до розчинення NiO катода, корозію пластини сепаратора, розтріскування матриці [29], що прискорює вихід з ладу паливної комірки та зменшення ресурсу.

На даний час дослідники та науковці вивчають корозійно-стійкі матеріали для деталей паливних комірок і вдосконалюють конструкцію що збільшить ресурс без зниження експлуатаційних характеристик.

Досягнення українських вчених. В Україні паливні комірки пов'язують з ім'ям Оганеса Давтяна, який започаткував відповідну діяльність в Одеському університеті ім. І.Мечнікова у 1953 році. Там була створена лужна паливна комірка потужністю 200 Вт, яка працювала при температурі 170°C.

У відділі гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України розроблено стабільно діючий лабораторний зразок паливної комірки з використанням як: палива – сірководню, окислювача – кисню повітря, електроліту – морської води та каталізатора – кластерів металів. Інститутом проблем матеріалознавства розроблено твердо

оксидні паливні комірки, які в якості палива використовують природний газ. Фахівці Інституту високомолекулярних сполук виготовили першу українську модель полімерної протон-обмінної паливної комірки з електролізером, тобто з виробництвом водню з води. Модель розплавлено-карбонатної паливної комірки з системою підготовки природного газу виготовлена, також, в Інституті вугільних енерготехнологій.

Висновки

Паливні комірки визнані одним з найвищих пріоритетів світу, розвитком якого опікуються перші особи розвинених країн та усього Європейського Союзу. Лідерами у впровадженні паливно-комірчанних технологій є Канада, США, Японія та Німеччина. Конгрес США на забезпечення енергетичної незалежності своєї країни ще у 2001 році прийняв закон S.883, який зобов'язує уряд перевести до 2011 року живлення урядових установ з існуючих джерел живлення на паливно-комірчані станції, та перевести увесь парк автомобілів та автобусів на паливно-комірчані двигуни. Причому наголошується, що постачальниками вказаного обладнання мають бути виключно виробники США. Майбутнє паливних комірок безумовно пов'язане з питанням про джерела палива. Тому необхідна тісна співпраця між паливно-комірчаною промисловістю та енергетичною промисловістю зокрема нафтогазовою.

Основні завдання, які необхідно вирішувати є:

- оптимізація паливних сумішей та розробка систем очистки і підготовки палива;
- газифікація твердих та рідких видів палива;
- популяризація паливних комірок та досягнень українських вчених;
- створення необхідної законодавчої бази;
- підготовка навчальних, наукових та інженерних працівників.

І слід пам'ятати, що енергетична незалежність держави залежить не від кількості видобутих вуглеводнів, а від раціонального їх використання!

1. *Виноградов Д.В.* Современное состояние водородной энергетики // Вопросы атомной науки и техники.-2006.-№ 1. - С. 153-155.
2. *Харлампиди Х.Э.* Сераорганические соединения нефти, методы очистки и модификации // Соровский образовательный журнал.-2000.- № 7.-С.42-46.
3. *Дудник О.Ю., Корчевий, Майстренко О. та ін.* Энергетика на основі паливних елементів – стратегія на випередження // Энергетика та електрифікація.-2000.-№ 5.-С.45-51.
4. *Дудник А.Н., Соколовская И.С., Лохманец Ю.В.* Получение водорода на установке для испытаный топливных элементов // Экотехнологии и ресурсосбережение.-2007.-№ 5.-3-10.
5. *Mizutani Ya., Hisada K., Ukai K., Sumi H., Yokoyama M., Nakamura Ya., Yamamoto O.* From rare-earth doped zirconia to 1 kW solid oxide fuel cell system // J. Alloys and Compounds.-2006.- Vol.408-412.-P.518-524.
6. *Inagaki T., Nishiwaki F., Kanou J. et al.* Demonstration of high efficiency intermediate-temperature solid oxide fuel cell based on lanthanum gallate electrolyte // J. Alloys and Compounds.-2006.- Vol.408-412.-P.512-517.
7. *Suzuki T., Fanahashi Y., Yamaguchi T., Fujishiro Y., Awano M.* Fabrication and characterization of micro tubular SOFCs for advanced ceramic reactors // J. Alloys and Compounds.-2008.- Vol.451.- P.632-635.
8. *Harumi Yo., Natsuko S., Teruhira H., Katsuhiko Ya., Brito M.E., Haruo K.* Thermodynamic and kinetic consideration on degradations in solid oxide cathodes // J. Alloys and Compounds.-2008.- Vol.452.-P.41-47.
9. *Laukaitis G., Dudonis J.* Microstructure of gadolinium doped ceria oxide thin films formed by electron beam deposition // J. Alloys and Compounds.-2008.- Vol.459.-P.320-327.
10. *Jia L., Lü Zh., Huang X., Liu Zh., Chen K., Sha X., Li G., Su W.* Preparation of YSZ film by EPD and its application in SOFCs // J. Alloys and Compounds.-2006.- Vol.424.-P.299-303.
11. *Steele Brian C.H., Heinzl A.* Materials for fuel cell technologies // Nature.-2001.- Vol.414.-P.345-352.
12. *Васильев А.Д., Акимов Г.Я., Коваль А.Я.* Циркониевая керамика и её перспективы в Украине // Огнеупоры и техническая керамика.-2000.-№ 10.-С.2-5.
13. *Укше Е.А., Букун Н.Г.* Твёрдые электролиты.-М.-1977.

14. *Ishikawa H., Enoki M., Ishihara T., Akiyama T.* Self-propagating high-temperature synthesis of $\text{La}(\text{Sr})\text{Ga}(\text{Mg})\text{O}_{3-\delta}$ for electrolyte of solid oxide fuel cells // *J. Alloys and Compounds.*-2007.- Vol.430.-P.246-251.
15. *Ishihara T., Ando M., Enoki M., Takita Yu.* Oxide ion conductivity in $\text{La}(\text{Sr})\text{Ga}(\text{Fe},\text{Mg})\text{O}_3$ and its application for solid oxide fuel cells // *J. Alloys and Compounds.*-2006.- Vol.408-412.-P.507-511.
16. *Laukaitis G., Dudonis J.* Microstructure of gadolinium doped ceria oxide thin films formed by electron beam deposition // *J. Alloys and Compounds.*-2008.- Vol.459.-P.320-327.
17. *Ishikawa H., Enoki M., Ishihara T., Akiyama T.* Mechanically activated self-propagating high-temperature synthesis of $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ as an electrolyte for SOFC // *J. Alloys and Compounds.*-2009.- Vol.488.-P.238-242.
18. *Zheng Y., Wu L., Gu H. et al.* The effect of Sr on the properties of Y-doped ceria electrolyte for IT-SOFCs // *J. Alloys and Compounds.*-2009.- Vol.486.-P.586-589.
19. *Li Sh., Li Zh., Bergman B.* Lanthanum gallate and ceria composite as electrolyte for solid oxide fuel cells // *J. Alloys and Compounds.*-2010.- Vol.492.-P.392-395.
20. *Jia L., Lu Zh., Huang X. et al.* Preparation of YSZ film by EPD and its application in SOFCs // *J. Alloys and Compounds.*-2006.- Vol.424.-P.299-303.
21. *Loredana D.R., Tiziano M., Maria F.C., Paolo F.* Design of $\text{Rh}@ \text{Ce}_{0.2}\text{Zr}_{0.8}\text{O}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ nanocomposite for ethanol steam reforming // *J. Alloys and Compounds.*-2008.- Vol.451.-P.516-520.
22. *Suzuki T., Funahashi Y., Yamaguchi T. et al.* Fabrication and characterization of micro tubular SOFCs for advanced ceramic reactors // *J. Alloys and Compounds.*-2008.- Vol.451.-P.632-635.
23. *Gao D., Guo R.* Structural and electrochemical properties of yttrium-doped barium zirconate by addition of CuO // *J. Alloys and Compounds.*-2010.- Vol.493.-P.288-293.
24. *Hu W. K., Noreus D.* R are-earth-based AB5-type hydrogen storage alloys as hydrogen electrode catalysts in alkaline fuel cells // *J. Alloys and Compounds.*-2003.- Vol.356-357.-P.734-737.
25. *Chen Y., Sequeira C., Allen T., Chen C.P.* Electro-catalytic abilities of hydrogen storage alloy as anode electrocatalyst of alkaline fuel cell // *J. Alloys and Compounds.*-2005.- Vol.404-406.-P.661-664.
26. *Chen Y., Wang X., Chen L., Chen Ch., Wang Q., Sequeira Cesar A.C.* Electrochemical properties of rare-earth based hydrogen storage alloy for replacing Pt as the anode electrocatalyst in AFC // *J. Alloys and Compounds.*-2006.- Vol.421.-P.223-227.
27. *Wang X.H., Chen Y., Pan H.G. et al.* Electrochemical properties of $\text{Ml}(\text{NiCoMnCu})_5$ used as an alkaline fuel cell anode // *J. Alloys and Compounds.*-1999.- Vol.293-295.-P.833-837.
28. *Leontyev I.N., Guterman V.E., Pakhomova E.B. et al.* XRD and electrochemical investigation of particle size effects in platinum-cobalt cathode electrocatalysts for oxygen reduction // *J. Alloys and Compounds.*-2010.- Vol.500.-P.241-246.
29. *Wu H., Wexler D., Wang G.* Pt_xNi alloy nanoparticles as cathode catalyst for PEM fuel cells with enhanced catalytic activity // *J. Alloys and Compounds.*-2009.- Vol.488.-P.195-198.
30. *Wilson P.R., R.C. Bowman Jr., Mora J.L., Reiter J.W.* Operation of a PEM fuel cell with $\text{LaNi}_{4.8}\text{Sn}_{0.2}$ hydride beds // *J. Alloys and Compounds.*-2007.- Vol.446-447.-P.676-680.
31. *Wee J.-H., Song D.-J., Jun Ch.-S. et al.* Evaluation of $\text{Ni-Ni}_3\text{Al}(5 \text{ wt. } \%) - \text{Al}(3 \text{ wt. } \%)$ as an anode electrode for molten carbonate fuel cell. Part I: Creep and sintering resistance // *J. Alloys and Compounds.*-2005.- Vol.390.-P.155-160.
32. *Wee J.-H., Song D.-J., Jun Ch.-S. et al.* Evaluation of $\text{Ni-Ni}_3\text{Al}(5 \text{ wt. } \%) - \text{Al}(3 \text{ wt. } \%)$ as an anode electrode for molten carbonate fuel cell. Part II: wetting ability and performance in unit cell operation // *J. Alloys and Compounds.*-2005.- Vol.390.-P.161-167.
33. *Ham H.Ch., Maganyuk A. P., Han J. et al.* Preparation of Ni-Al alloys at reduced temperature for fuel cell applications // *J. Alloys and Compounds.*-2007.- Vol.446-447.-P.733-737.