

ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ – АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

FUEL CELLS ARE AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY



*Березина Наталія Олександрівна, кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: [nataberezina380@gmail.com](mailto:nataberezina380@gmail.com), тел. +380636914132*

<https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>



*Мудрак Клавдія Василівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: [klav@ukr.net](mailto:klav@ukr.net), тел. +380632188034,*

<https://orcid.org/0000-0002-0340-4399>

**Анотація.** Виготовлення електроенергії станціями, що працюють на вугіллі, природному газі, бензині, або інших носіях енергії, виконується за схемою: хімічна енергія палива – теплова енергія – енергія руху – електроенергія. В паливних елементах хімічна енергія перетворюється в електричну, уникаючи проміжних етапів. При цьому отримується значний вигаш як у матеріалах, так і в енергії. Дані пристрої – хімічні джерела струму довгострокової дії. Вони є екологічно чистими. Використання їх в автомобілебудуванні також суттєво знижує шкідливі викиди в довкілля. Існують дві сфери застосування ПЕ: автономна і велика енергетика. Зокрема, ПЕ можуть вирішити актуальну сьогодні проблему накопичення енергії: добові і тижневі коливання навантаження енергосистем помітно знижують їх ефективність і вимагають так званих маневрових потужностей. Один з варіантів електрохімічного накопичувача енергії - паливний елемент в поєднанні з електролізерами і газгольдерами (сховищами для великих кількостей газу). Найбільші вигоди обіцяє використання ПЕ в автомобілі. Тут, як ніде, позначається компактність ПЕ. Серед всіх видів ПЕ наразі знайшли найбільше застосування ПЕ з полімерною протонобмінною мембраною як електроліту (PEMFC). Вони використовуються в транспорті (майже 100% всіх автомобілів, що працюють на водні). Сегмент паливних елементів з фосфорною кислотою в якості електроліту (PAFC) вважається самим «зрілим» серед всіх технологій паливних елементів. Переваги: – низькі вимоги до чистоти палива; великий ресурс роботи. Основний акцент в їх застосуванні – великі стаціонарні джерела теплової та електричної енергії. ПЕ на основі розплавленого карбонату (MCFC) відрізняються високою ефективністю перетворення палива – електричний ККД сягає 60 %.

Новим напрямком є виробництво електричної енергії за допомогою мікроорганізмів у біопаливних елементах. При цьому вирішуються питання розширення сировинної бази відновлювальних й економічно вигідних джерел енергії (стічні води, відходи промисловості та сільського господарства).

**Ключові слова:** паливні елементи, водневі автомобілі, відновлювальна енергетика.

*Наш світ занурений в величезний океан енергії, ми летимо в нескінченному просторі з незбагненою швидкістю. Все навколо обертається, рухається - все енергія. Перед нами грандіозне завдання - знайти способи видобутку цієї енергії. Тоді, витягуючи її з цього невичерпного джерела, людство буде просуватися вперед гігантськими кроками (1891).*

Нікола Тесла

### Вступ

Гострими, як ніколи, проблемами сьогодення стали економія палива (зменшення використання нафти), наявність резервних джерел енергії при виході з ладу основних.

Суттєвим вирішенням зазначених викликів є використання і подальший розвиток альтернативного, до того ж екологічно чистого джерела енергії – паливних елементів (ПЕ).

Електрохімічні елементи, в яких хімічна енергія певних матеріалів безпосередньо перетворюється в електричну, широко застосовуються. Це батарейки, акумулятори; їх коефіцієнт корисної дії (ККД) близький до 100%. Якщо замість металів використати звичайні палива (горючі матеріали) і перетворити їх потенційну енергію в електричну – отримаємо «паливні елементи». Принцип їх дії аналогічний принципу дії електрохімічних елементів. Тільки електроди ПЕ не приймають участь у процесі вироблення енергії, вони слугують каталізаторами, не змінюючись у процесі роботи елемента, і не обмежують строк його служби. ПЕ працюють як звичайні гальванічні елементи, але речовини, що окислюються і відновлюються на електродах, не є конструктивними складовими елемента і зберігаються поза ним. Коли виникає потреба в електроенергії, реагенти подаються до електродів роздільно і безперервно. Окисником найчастіше є кисень, паливо вибирають довільно. В ПЕ прямої дії це вугілля, а посередньої дії – продукти переробки вугілля та нафти, різні горючі гази. На аноді відбувається окислення палива, а на катоді – відновлення окисника. Завдяки цьому створюється різниця потенціалів, і при замиканні кола виникає електричний струм. В лабораторних умовах експериментальні ПЕ мали ККД 80-90%.

Все створене природою працює з максимальним ККД. Біологічний ПЕ міститься в кожній живій клітині. Процес сполучення водню з киснем є основою біоенергетики організму [1]. Традиційні ж способи отримання тепла і електроенергії з вуглеводневого палива дозволяють використати лише близько третини енергії, що міститься в паливі [2].

### Основна частина

Для автономного використання ПЕ основними є питомі характеристики і зручність експлуатації. Вартість виробленої енергії не є основним показником. Для великої ж енергетики вирішальним чинником є економічність. Установки повинні бути довговічними, не містити дорогих матеріалів і використовувати природне паливо при мінімальних витратах на підготовку. При безпосередньому отриманні електроенергії з палива економія останнього складає близько 50%.

Вперше ідея використання ПЕ у великій енергетиці була сформульована німецьким вченим В.Освальдом у 1894 році. Пізніше отримала розвиток ідея створення ефективних джерел автономної енергії на основі паливного елемента. Після цього робилися неодноразові спроби використовувати як активну речовину в ПЕ вугілля. У 30-ті роки німецький дослідник Е. Бауер створив лабораторний прототип ПЕ з твердим електролітом для прямого анодного окислення вугілля. У цей же час досліджувалися киснево-водневі ПЕ.

До якісного стрибка у розвитку цього джерела енергії призвели нові ідеї, матеріали і технології у результаті оборонних досліджень [3].

У 1958 році в Англії Ф.Бекон створив першу киснево-водневу установку потужністю 5кВт [4]. Вона була громіздкою через використання високого тиску газів (2 – 4МПа). З 1955 року в США К. Кордеш розробляв низькотемпературні киснево-водневі ПЕ. У них використовувалися вугільні електроди з платиновими каталізаторами. У Німеччині Е. Юст працював над створенням неплатинових каталізаторів. Перше практичне застосування ПЕ знайшли на космічних кораблях «Аполлон». Вони були основними енергоустановками для живлення бортової апаратури і забезпечували космонавтів водою і теплом. Основними областями використання автономних установок з ПЕ були військові і військово-морські застосування. В кінці 60-х років обсяг досліджень з ПЕ скоротився, а після 80-х знову зріс стосовно великої енергетики. Фірмою VARTA розроблені ПЕ з використанням двосторонніх газодифузійних електродів. Електроди такого типу називають «Янус». Фірма Siemens розробила

електроди з питомою потужністю до 90Вт/кг. У США роботи з киснево-водневим елементом проводить United Technology Corp. Відновлювані джерела енергії (сонце і вітер) відрізняються розрідненістю. Їх серйозне використання, без якого в майбутньому не обійтись, нереальне без емних акумуляторів, що запасують енергію в тій чи іншій формі.

**Перше покоління ПЕ.** Найбільшої технологічної досконалості досягли середньотемпературні ПЕ першого покоління, що працюють при температурі 200 – 230°C на рідкому паливі, природному газі або на технічному водні (продукті конверсії органічного палива, що містить незначні домішки окису вуглецю). Одна з таких електростанцій введена в дію в штаті Каліфорнія у 1991 році. Вона складається з вісімнадцяти батарей масою по 18 т кожна і розміщується в корпусі діаметром трохи більше 2м і висотою близько 5м. Продумана процедура заміни батареї за допомогою рамної конструкції рухається по рейках. Дві електростанції на ПЕ США поставили в Японію. Перша з них була запущена ще на початку 1983 року. Експлуатаційні показники станції відповідали розрахунковим. Вона працювала з навантаженням від 25 до 80% від номінальної. ККД сягав 30 – 37%. Це близько до сучасних великих ТЕС. Зараз у різних районах США випробовуються невеликі теплофікаційні установки потужністю по 40кВт з коефіцієнтом використання палива близько 80%. Вони можуть нагрівати воду до 130°C і розміщуються в пральнях, спортивних комплексах, на пунктах зв'язку і т. д. Екологічна чистота електростанцій на ПЕ дозволяє розміщувати їх безпосередньо в містах. Перша паливна електростанція в Нью-Йорку, потужністю 4,5 МВт, зайняла територію в 1,3 га. Тепер для нових станцій з потужністю в два з половиною рази більшою потрібен майданчик розміром 30х60м. Будуються кілька демонстраційних електростанцій потужністю по 11МВт. Вражають терміни будівництва електростанцій (7 місяців) і площа (30х60м), займана електростанцією. Розрахунковий термін служби нових електростанцій - 30 років.

**Друге і третє покоління ПЕ.** Кращі характеристики мають модульні установки потужністю 5 МВт зі середньо температурними паливними елементами другого покоління. Вони працюють при температурах 650 – 700°C. Їх аноди роблять зі спечених частинок нікелю та хрому, катоди - зі спеченого і окисненого алюмінію, а електролітом служить розплав суміші карбонатів літію та калію. Підвищена температура допомагає вирішити дві великі електрохімічні проблеми: знизити токсичність каталізатора окисом вуглецю; підвищити ефективність процесу відновлення окиснювача на катоді. Ще ефективнішими високотемпературні паливні елементи третього покоління з електролітом з твердих оксидів (в основному – двоокису цирконію). Їх робоча температура – до 1000°C. ККД енергоустановок з такими ПЕ близький до 50%. Тут в якості палива придатні й продукти газифікації твердого вугілля із значним вмістом окису вуглецю. Не менш важливо, що побічне тепло високотемпературних установок можна використовувати для виробництва пари, що призводить у рух турбіни електрогенераторів. Фірма Vestingaus займається паливними елементами на твердих оксидах з 1958 року. Вона розробляє енергоустановки потужністю 25 –200 кВт, в яких можна використовувати газоподібне паливо з вугілля. Інша американська фірма Engelgurd проектує паливні елементи потужністю 50кВт, які працюють на метанолі з фосфорною кислотою в якості електроліту. У створення ПЕ включається все більше фірм в усьому світі. Американська United Technology і японська Toshiba утворили корпорацію International Fuel Cells. У Європі паливними елементами займаються бельгійсько-нідерландський консорціум Elenko, західнонімецька фірма Siemens, італійська Fiat, англійська Jonson Metju.

#### **Будова та класифікація ПЕ.**

Паливний елемент складається з багатьох десятків комірок, кожна приблизно в сантиметр завтовшки. Кожна комірка складається з двох електродів, розділених електролітом. На анод підводиться паливо (водень), на катод — окисник (кисень повітря). Водень не згоряє, хімічна реакція окиснення відбувається при низькій температурі в присутності каталізатора. Мета роботи пристрою – використовуючи цю реакцію, розділити позитивний і негативний заряди в просторі й створити між ними напругу. Тому електроліт, який заповнює простір між електродами, повинен мати здатність пропускати крізь себе іони водню і не пропускати електрони. На аноді водень розпадається на електрони і протони, далі протони проходять крізь шар електроліту, досягають катоду і, з'єднуючись із киснем, утворюють воду. Однак у питаннях отримання якісного й недорогого електроліту наука поки що зазнає труднощів. Полімерний електроліт американської фірми «Дюпон» коштує близько 700 євро за м<sup>2</sup>, а на батарею для середнього автомобіля потрібно десятки квадратних метрів такого матеріалу. Ученими ведуться інтенсивні дослідження з метою здешевлення цього матеріалу й використання його при температурах 150 – 200°C.

В залежності від областей робочих температур розрізняють низькотемпературні (до 150°C), середньотемпературні (170 – 350°C) і високотемпературні (500 – 1100°C) паливні елементи. Температура є вирішальним фактором для визначення сфери застосування Тиск, при якому діють робочі речовини, може бути в межах 1 – 100 бар. Важливе значення має матеріал, з якого виготовлений електрод. Швидкість реакції пропорційна поверхні електрода, тому часто використовують пористі електроди із вугілля чи металокераміки. Для ще більшого підвищення швидкості протікання реакції на пористі електроди наносять каталітично активні благородні метали, такі як платина чи паладій. Не дивлячись на це, проблема електродів вирішена сьогодні лише для воднево-кисневих паливних елементів. Інші речовини, що мають технічний інтерес, потребують застосування більш високих температур.

У сучасних паливних елементах по вказаним вище причинам спалюють в основному водень. Та їх виготовлення обходиться ще дорого. Для більш широкого розповсюдження таких ПЕ потрібні електроди, що не мають у своєму складі платину. Паливний елемент дає напругу до 0.9 В. Вода, що утворюється в ході реакції придатна для вживання. Так що подібний «агрегат гримучого газу» може слугувати в космічних кораблях і підводних човнах джерелом і енергії, і води.

Численні дослідження проводились також із системами метанол – кисень і метанол – повітря. Не дивлячись на те, що у якості каталізаторів були застосовані благородні метали, на метанольному електроді реакція протікала доволі повільно, так що напруга елемента не перевищувала 0.5 В.

Для хімічної промисловості цікавий паливний елемент на амальгамі натрію. В процесі електролізу хлориду натрію для отримання хлору і їдкого натру при використанні ртутного методу утворюється сплав, що має натрій та ртуть, тобто амальгама натрію. Якщо цей проміжний продукт використати в паливних елементах, що вже діють за низьких температур, то можна зекономити до 30% енергії, що необхідна для електролізу. Оскільки заводи, що пов'язані з електролізом розчинів хлоридів лужних металів потребують дуже багато електроенергії, рішення, яке б усіх задовольняло, могло призвести до значного економічного ефекту.

Майже ідеальним паливом для електрохімічних елементів є гідразин, не дивлячись на його токсичність. Його можна використовувати як джерело водню для водне – кисневих елементів та безпосередньо окиснювати на аноді до води та азоту. Гідразин хімічно більш активний ніж метанол, так що у цьому випадку відпадає необхідність у використанні благородних металів у якості каталізаторів. Але, на жаль, гідразин дуже дорогий. Його вартість варто було б знизити у багато разів, аби наблизити до ціни на бензин.

Відносно дешеvu електроенергію можна отримати, застосовуючи в ПЕ такі дешеві енергоносії, як вуглеводні. Мається на увазі, що доволі непоганою комбінацією буде суміш природного газу з повітрям. На жаль, всі ці речовини недостатньо активні, тому для якісної роботи вуглеводневих паливних елементів необхідне підвищення температури, тиск і присутність каталізаторів. У високотемпературних елементах швидкості реакцій і за відсутності каталізаторів достатньо високі, але тут на перший план виступають інші труднощі. При використанні у якості електролітів лужно-карбонатних розплавів виникає проблема вибору матеріалу для реактора, тому що розплави чинять сильну корозійну дію. Якщо використовувати тверді електроліти, то відпадає необхідність захисту від корозії, але при цьому значно падає напруга, а ККД не перевищує 40%. Саме тому на сучасному рівні знань і технологій найбільш перспективним варіантом паливних елементів лишається воднево-кисневий елемент. Вуглеводні можна використовувати тільки в тому випадку, якщо їх перед цим дегідрувати.

ПЕ поділяються за видом електроліту (мембрани). Електроліт буває рідким або твердим, лужним, сольовим чи кислотним, а мембрана – полімерною, керамічною; вони мають бути іонопровідними при робочій температурі [5].

Паливний елемент з полімерною протонобмінною мембраною – PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Відновлювачем виступає чистий водень, причому максимально допустима частка домішок окису вуглецю – 10 – 100 мг/кг. Такі елементи працюють за доволі низьких температур – до 100°C, мають високу щільність енергії, а також забезпечують можливість швидко змінювати потужність. В даний час спостерігається стрімкий розвиток цієї технології, зокрема, в автомобільній галузі.

ПЕ, в якому в якості електроліту використовується рідка фосфорна кислота – PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) – виробляє теплоту чи електроенергію з ККД більше 50%, а робочі температури



знаходять в межах 90 – 250°C. PAFC застосовуються на великих стаціонарних об'єктах (до 11МВт) Працюють ці паливні елементи на водні, однак, вимоги по його чистоті значно менш суворі, ніж в разі використання протонобмінної мембрани в якості електроліту. У більшості випадків водень отримують з природного газу або біогазу. ККД по електроенергії оцінюється в 37 – 42% , а при використанні відведеної теплової енергії – 85%. Пористі електроди виготовляються із суміші каталізаторів і вуглецевополімерної зв'язки. Недоліки: – наявність дорогіших металів в якості каталізатора; – корозія електродів; – довгий старт; – низька густина струму та енергії. Також ведуться дослідження по застосуванню PAFC в автомобілях. Світовим лідером з використання технології вважається американська компанія UTC Power (США).

ПЕ на основі розплавленого карбонату (солі натрію, калію або літію) – MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) – так само, як і паливні елементи з твердим керамічним електролітом функціонують при високих температурах – 600 – 1000°C. Недолік MCFC полягає в тому, що вони не можуть працювати на чистому водні, а високі температури і хімічні реакції призводять до корозії і прискорюють процес зносу елементів конструкції.

Ще одне застосування в розробці паливних елементів – це створення редокс-елементів. В цих елементах відбувається спроба реалізації замкнутих матеріальних та енергетичних циклів, тобто перетворити продукти, що утворюються в паливному елементі шляхом звичайних хімічних реакцій знову в початкові речовини, придатні для отримання енергії у цьому ж елементі.

Зовсім інші варіанти паливних елементів представляють інтерес для медицини. Забезпечення енергією генераторів серцевих ритмів від чужих організму електронних чи електрохімічних джерел струму дуже складне. Вихід знайдений в тому, щоб струм вироблявся біогальванічними паливними елементами, безпосередньо в організмі, а електродами слугували магній і подрібнена платина. Елемент імплантується прямо у м'яз, тому його потужність залежить від м'язової діяльності і інтенсивності потоку крові. Таким чином, чим більше фізичне навантаження, тим більша напруга елемента і тим сильніше активізуються скорочення м'язів серця (все відбувається як при нормальній роботі серця). Такий елемент працюватиме 6 - 16 років.

Для подальшого широкого впровадження ПЕ, поряд зі здешевленням компонентів, потрібно очікувати нових ідей. Так, великі сподівання покладають на нанотехнології. Революційною може бути також концепція біопаливних елементів. Згідно оновленої Енергетичної стратегії України, у 2030 р. понад 10% від загальної встановленої потужності припадатиме на відновлювальну енергетику. Біотехнологічне генерування електричної енергії дозволить використовувати механізми біоелектрохімічного перетворення речовини та енергії мікроорганізмів, реалізувати спосіб альтернативного безвідходного отримання електричної енергії [6].

**Основні проблеми ПЕ.** Як і будь-яке хімічне джерело струму, ПЕ характеризується напругою, потужністю і терміном служби. Відомо, що поляризація електродів зростає зі збільшенням густини струму ( $i$ ), тобто струму, віднесеного до одиниці площі поверхні електрода ( $S$ ):  $i = I/S$ .

Отже, за такого самого струму можна знизити його густину та поляризацію, застосовуючи високопористі електроди, що мають високорозвинену поверхню (до 100 –150 м<sup>2</sup>/г). Для прискорення реакцій до пористих електродів додають каталізатори. Зазначимо, що найширше використовуються каталізатори на основі платини, паладію, нікелю, золота та деяких металовмісних напівпровідникових матеріалів. У процесі роботи характеристики паливного елемента поступово погіршуються, що зумовлено дезактивацією та зношуванням каталізаторів, корозією основ електродів, зміною їхньої структури тощо. У відділі гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України розроблено стабільно діючий лабораторний зразок ПЕ з використанням як палива — сірководню, окисника — кисню повітря, електроліту — морської води та каталізатора — кластерів металів [7]. Враховуючи накопичені експериментальні дані, сподіваємося, що у паливних елементах цього типу можна буде використовувати сірководень, який міститься у відходах хімічної та нафтохімічної промисловості. Також відомі величезні його запаси у Чорному морі. Цікаво, мабуть, і те, що майбутні водневі автомобілі зможуть працювати, образно кажучи, на мікроорганізмах. Американці знайшли цілу низку штамів, які беруть водень з деяких цукрів, що їх ферментативно одержують із поновлюваної рослинної біомаси. Причому з дуже високим виходом — до 50% водню. У подальшому дослідники збираються «привчити» ці штами «харчуватися» целюлозою, крохмалю тощо.

### Висновки і рекомендації

Застосування ПЕ на даному етапі раціонально і розумно там, де необхідні малі потужності (біля 100 Вт) при довгостроковій роботі, відсутній догляд і неможливе забезпечення електроенергією від звичайних мереж. Такими об'єктами можуть бути ретрансляційні телевізійні та радіостанції, метеорологічні станції, маяки та інші сигнальні споруди. Крім того, їх уже застосовують для дорожньо-транспортних засобів. Крім енергетичних переваг і зниження шуму від руху автомобілів, таке рішення має і екологічний інтерес. ПЕ не виділяють токсичні гази і не забруднюють навколишнє середовище [8].

### Перелік посилань

1. Кузьмінський Є.В. Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії. Фото-, термо- та біопаливні елементи/ Є.В. Кузьмінський, Г.Я. Колбасов, Я.Ю. Гевтуль, Н.Б. Голуб– Чернівці: Рута. – 2003. – 95 с.
2. Кузьмінський Є. В. Паливні елементи. І. Сучасний стан розроблення / Є. В. Кузьмінський, К.О. Щурська, І.А. Самаруха - Відновлювана енергетика. – 2013. – № 1. – С. 90-96.
3. Васильєв О.Д. Керамічні паливні комірки: український досвід / О.Д. Васильєв, В.Ю. Баклан, Ф.В. Макордей - Вісник Одеського національного університету. – 2010. – Хімія. – Т. 15, вип. 3.– С. 98–106.
4. Bagotsky, V. S. Fuel Cells: Problems and Solutions – Hoboken: Wiley, 2009. – 320 p.
5. Михайлів, М. І. Створення локальних джерел електроенергії на базі паливних комірок / М. І. Михайлів, П. В. Савуляк - Нафтогазова енергетика. - 2012. - № 1. - С. 101-112.
6. Самаруха І.А. Біотехнологічне отримання електричної енергії за використання асоціації хемоорганотрофних мікроорганізмів [Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук]: / І.А. Самаруха - Київ – 2016 - 25С.
7. Патент України № 67065, міжнародний патент WO 2004/144430 A2.
8. Троц А.А. Екологічне джерело живлення / А.А. Троц, М.Ф. Богомолів. - Міжнародна конференція «Крамаровські читання». – 2017. – С. 47 – 50.

### FUEL CELLS ARE AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY

**Berezina Nataliya O.**, candidate of chemical sciences, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: [nataberezina380@gmail.com](mailto:nataberezina380@gmail.com). tel. [+380636914132](tel:+380636914132), <https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>

**Mudrak Klavdiya V.**, candidate of chemical sciences, associate professor, National Transport University, professor department of road building materials and chemistry, e-mail: [klav@ukr.net](mailto:klav@ukr.net), tel. [+380632188034](tel:+380632188034), <https://orcid.org/0000-0002-0340-4399>

**Abstract.** Electricity production by stations operating on coal, natural gas, gasoline, or other energy carriers is carried out according to the scheme: chemical energy of fuel - thermal energy - energy of motion - electricity. Chemical energy in fuel cells is converted into electrical energy, avoiding intermediate stages. At the same time, a significant gain is obtained both in materials and in energy. These devices are long-term chemical current sources. They are environmentally friendly. Their use in the automotive industry also significantly reduces harmful emissions into the environment. There are two areas of PE application: autonomous and large power generation. In particular, FSs can solve today's pressing problem of energy storage: daily and weekly load fluctuations of power systems significantly reduce their efficiency and require so-called maneuvering capacities. One of the options for electrochemical energy storage is a fuel cell in combination with electrolyzers and gas holders (storage for large quantities of gas). The use of PE in a car promises the greatest benefits. Here, like nowhere else, the compactness of PE is indicated. Among all types of FS, FS with a polymer proton exchange membrane as an electrolyte (PEMFC) has currently found the greatest use. They are used in transport (almost 100% of all cars running on hydrogen). The segment of fuel cells with phosphoric acid as an electrolyte (PAFC) is considered the most "mature" among all fuel cell technologies. Advantages: - low requirements for fuel purity; a large resource of work. The main emphasis in their application is large stationary sources of thermal and electrical energy. FSs based on molten carbonate (MCFC) are characterized by high fuel conversion efficiency - electrical efficiency reaches 60%.

A new direction is the production of electrical energy with the help of microorganisms in biofuel cells. At the same time, the issue of expanding the raw material base of renewable and economically profitable energy sources (wastewater, industrial and agricultural waste) is being resolved.

**Keywords:** fuel cells, hydrogen cars, renewable energy.

#### References

1. Kuzminskyi Ye.V.(2003) Netradytsiini elektrokhimichni systemy peretvorennia enerhii. Foto-, termo- ta biopalyvni elementy/ Ye.V. Kuzminskyi, H.Ia. Kolbasov, Ya.Iu. Tevtul, N.B. Holub– Chernivtsi: Ruta. – 2003. – 95 s. [in Ukrainian].
2. Kuzminskyi Ye. V. (2013) Palyvni elementy. I. Suchasnyi stan rozroblennia / Ye. V. Kuzminskyi, K.O. Shchurska, I.A. Samarukha - Vidnovliuvana enerhetyka. – 2013. – № 1. – S. 90-96. [in Ukrainian].
3. Vasyliiev O.D.(2010) Keramichni palyvni komirky: ukrainskyi dosvid / O.D. Vasyliiev, V.Iu. Baklan, F.V. Makordei - Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. – 2010. – Khimiia. – T. 15, vyp. 3.– S. 98–106. [in Ukrainian].
4. Bagotsky, V. S.(2009) Fuel Cells: Problems and Solutions – Hoboken: Wiley, 2009. – 320 p. [in English].
5. Mykhailiv, M. I.(2012) Stvorennia lokalnykh dzherel elektroenerhii na bazi palyvnykh komirok / M. I. Mykhailiv, P. V. Savuliak - Naftohazova enerhetyka. - 2012. - № 1. - S. 101-112. [in Ukrainian].
6. Samarukha I.A. (2016) Biotekhnolohichne otrymannia elektrychnoi enerhii za vykorystannia asotsiatsii khemoorhanotrofnykh mikroorhanizmiv [Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk]: / I.A. Samarukha - Kyiv – 2016 - 25s. [in Ukrainian].
7. Patent Ukrainy № 67065, mizhnarodnyi patent WO 2004/144430 A2. [in Ukrainian].
8. Trots A.A. (2017)Ekolohichne dzherelo zhyvlennia / A.A. Trots, M.F. Bohomolov. - Mizhnarodna konferentsiia «Kramarovski chytannia». – 2017. – S. 47 – 50. [in Ukrainian].