

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вступ. Сьогодні енергетична потреба драматично зростає. Більшість енергетичних ресурсів досі базується на викопному паливі — вугіллі, нафті та природному газі. Використання цих джерел енергії призводить до викидів великої кількості парникових газів, які є причиною глобального потепління, забруднення повітря та води, а також провокують низку проблем зі здоров'ям у населення. Альтернативою є відновлювані джерела, однак для їх ефективного використання потрібні нові способи зберігання і перетворення енергії. Одним з найбільш перспективних варіантів є паливні елементи (ПЕ).

Паливні елементи є пристроями, які перетворюють хімічну енергію палива (наприклад, водню або метанолу) в електричну енергію безпосередньо, без проміжного перетворення в теплову енергію. Це дозволяє уникнути багатьох викидів, властивих традиційним двигунам внутрішнього згоряння або турбінам, а також досягти високого коефіцієнта корисної дії (ККД). Хоча ПЕ вважаються екологічно чистішими порівняно з традиційними системами виробництва енергії, вони також мають певні екологічні аспекти, пов'язані з етапами виробництва, експлуатації та утилізації. У цьому огляді розглянуто основні типи паливних елементів, їхні переваги та недоліки, а також їх вплив на навколишнє середовище.

Результати дослідження. Виділяють наступні типи паливних елементів:

1. *Протонно-обмінні мембранні паливні елементи (Proton Exchange Membrane Fuel Cell – PEMFC).* Це один із найпоширеніших видів ПЕ, який використовується в транспортних засобах, портативних пристроях та малих електростанціях. Є низькотемпературним паливним елементом, який використовує водень як паливо і працює при температурі 70–90°C. На етапі виробництва потрібні дорогі каталізатори, зокрема платина, що впливає на вартість і енергетичні витрати на добування та обробку. Під час експлуатації водень подається на анод, де він розщеплюється на протони та електрони. Протони проходять через мембрану до катода, а електрони створюють електричний струм. Побічним продуктом є лише вода, що є значною екологічною перевагою. Однак виробництво водню залишається енергоємним процесом, особливо якщо використовуються невідновлювані джерела енергії. Під час утилізації PEMFC слід звертати увагу на рециркулювання платинопотримуючих матеріалів для зниження екологічного сліду. Оскільки платина є дорогим матеріалом і вимагає значних витрат на видобуток і обробку, вартість виробництва PEMFC є високою.

2. *Лужні паливні елементи (Alkaline Fuel Cell – AFC)* використовують водний розчин лугу (найчастіше КОН) як електроліт. Основною перевагою AFC є можливість використання нікелевих або інших недорогих каталізаторів замість платини, що знижує вартість виробництва. Виробництво таких елементів вимагає високої чистоти матеріалів, оскільки AFC чутливий до вмісту CO₂, що може утворювати карбонатні відкладення та знижувати ефективність. Під час експлуатації водень розщеплюється на аноді, утворюючи іони гідроксиду, які далі реагують на катоді, утворюючи воду. Під час утилізації основним завданням є безпечне видалення або переробка лужного електроліту.

3. *Фосфорнокислотні паливні елементи (Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC)* працюють при середніх температурах (близько 150–200°C), що дозволяє використовувати їх для комбінованого виробництва тепла і електроенергії. Вони використовують фосфорну кислоту як електроліт, яка є стійкою до забруднення оксидом вуглецю. PAFC застосовуються в комерційних та промислових установках завдяки їхній здатності ефективно використовувати побічне тепло для опалення. PAFC є стійкими до CO, що дозволяє використовувати природний газ або інші вуглеводневі палива.

4. *Паливні елементи з розплавленим карбонатом (Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC)* працюють при високих температурах (550–700°C) і використовують розплавлені солі карбонату літію і калію як електроліт. Високі температури дозволяють їм працювати з різними паливами, включаючи природний газ, біогаз та водень. Однією з ключових особливостей MCFC є здатність використовувати CO₂ як окислювач на катоді, що робить їх придатними для вловлювання вуглецю та зниження викидів CO₂. Основними обмеженнями MCFC є висока температура роботи, яка призводить до корозії і обмежує вибір матеріалів для конструкції. Через складність у виробництві та експлуатації MCFC зазвичай використовуються в стаціонарних електростанціях, де можна отримати додаткову енергію за рахунок тепла від вихлопних газів.

5. *Твердоокисні паливні елементи (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC)* працюють при температурі від 600 до 1000°C і мають дуже високий ККД. Вони використовують твердий електроліт з оксиду ітрію, стабілізованого цирконієм, що дозволяє уникнути проблем із витоків рідких електролітів. SOFC можуть працювати на різних видах палива, включаючи біогаз, природний газ і навіть тверді види палива після попередньої обробки. Висока температура дозволяє SOFC досягати високої ефективності, а також використовувати тепло для когенерації. Основними недоліками є висока вартість матеріалів, необхідних для роботи при високих температурах, а також тривалий час запуску. На етапі утилізації особлива увага приділяється переробці та утилізації металів, які використовувалися для виготовлення анода і катода, що можуть містити дорогі елементи.

6. *Метанолові паливні елементи (Direct Alcohol Fuel Cell – DAFC)* працюють на метанолі або етанолі, які окислюються на аноді, що робить ці елементи привабливими для портативних пристроїв. Виробництво DAFC включає дорогі каталізатори на основі платини та рутенію, які захищають електроди від отруєння CO. Під час експлуатації метанол або етанол реагує з водою на аноді, виділяючи електрони та утворюючи CO₂, що є побічним продуктом. Однак перехід палива через мембрану може призвести до змішаного потенціалу та знизити продуктивність. Утилізація DAFC вимагає видалення токсичних компонентів, зокрема метанолу, який є легкозаймистим і токсичним для навколишнього середовища.

Очевидно, що використання раніше розглянутих типів паливних елементів для виробництва електроенергії чи комбінованого виробництва тепла та електроенергії, а також для живлення різних транспортних засобів, призвело до суттєвого зниження екологічного впливу. Іншими словами, це забезпечило значні екологічні переваги, що підтверджується різними дослідженнями оцінки життєвого циклу (LCA). Екологічні впливи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Нормалізовані екологічні впливи для різних систем паливних елементів

Показник екологічного впливу	PEM 2 кВт	SOFC 125 кВт	MCFC 500 кВт	μ-GT 100 кВт
Потенціал глобального потепління, кг CO ₂ -eq	0.752	0.523	0.549	0.736
Виснаження стратосферного озону, мкг CFC-11-eq	0.204	0.142	4.11	0.280
Утворення твердих часток, мг PM _{2.5} -eq	189	83.3	135	99.8
Фотохімічне утворення оксидантів, мг NO _x -eq	716	516	445	1243
Потенціал кислотних дощів, мг SO ₂ -eq	700	330	506	798
Потенціал евтрофікації прісних вод, мг P-eq	21.8	12.1	9.81	6.99
Дефіцит мінеральних ресурсів, г Cu-eq	2.20	0.830	0.612	0.509
Дефіцит викопних ресурсів, кг oil-eq	0.263	0.184	0.187	0.259
Споживання води, л води	204	101	85.4	61.9
Сумарне споживання ексергії, MJex	12.225	8.509	8.845	11.878

На жаль, оскільки сучасні системи паливних елементів мають різну природу, принципи роботи, специфікації, типи палива, умови експлуатації тощо, важко отримати уніфіковане порівняння між цими системами. Один із підходів, який можна застосувати, — порівняти різні системи паливних елементів та мікрогазотурбінні установки (μ-GT) щодо генерації електроенергії, та порівняти різні екологічні впливи. Як показано в таблиці 1, майже в усіх категоріях екологічного впливу паливні елементи є більш екологічно чистими та менш шкідливими для навколишнього середовища порівняно з традиційними системами генерації енергії. Порівняння паливних елементів між собою показало, що MCFC і SOFC є відносно більш екологічно чистими порівняно з PEMFC у більшості категорій. Це може бути зумовлено використанням високочистого водню як палива, а також дорогоцінного платинового каталізатора.

Висновки. Розробка більш екологічно чистих матеріалів, вдосконалення технологій переробки експлуатація з урахуванням особливостей кожного з типів ПЕ та достатня увага вивченню їх життєвого циклу можуть зменшити загальний вплив паливних елементів на довкілля.