УДК 662.7
DOI:10.62717/3083-7057-2026-1-020

Баранов М.В.,
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
ORCID 0009-0008-9378-9990
E-mail:m.baranov@khai.edu

Губін С.В.,
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
ORCID 0000-0003-3182-1840
E-mail:s.gubin@khai.edu

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ КАТАЛІЗАТОРІВ УНІФІКОВАНИХ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. Уніфікований регенеративний паливний елемент (УРПЕ) - це електрохімічний пристрій, що може працювати як електролізер і як паливний елемент, забезпечуючи накопичення енергії з відновлюваних джерел. Надлишкова електроенергія використовується для виробництва водню, який згодом перетворюється назад в електроенергію. Це підвищує стабільність і надійність енергосистем, але широке впровадження обмежене високою вартістю. Основною проблемою є використання коштовних благородних металів і недостатня стабільність дешевших каталізаторів. У роботі узагальнено сучасні дослідження, розглянуто механізми деградації та визначено перспективні напрями підвищення ефективності й довговічності УРПЕ.
Ключові слова: Уніфікований регенеративний паливний елемент, воднева енергетика, електроліз, паливні елементи, каталізатори.

M. Baranov,
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
ORCID 0009-0008-9378-9990
E-mail:m.baranov@khai.edu

S. Gubin,
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
ORCID 0000-0003-3182-1840
E-mail:s.gubin@khai.edu

CURRENT STATE AND CHALLENGES OF CATALYSTS FOR UNITIZED REGENERATIVE FUEL CELLS

Annotations. A unified regenerative fuel cell (URFC) is an electrochemical device that can function both as an electrolyzer and as a fuel cell, enabling energy storage from renewable sources. Excess electricity is used to produce hydrogen, which is subsequently converted back into electricity. This enhances the stability and reliability of power systems, but widespread adoption is limited by high costs. The main challenges are the use of expensive noble metals and the insufficient stability of cheaper catalysts. This paper summarizes current research, examines degradation mechanisms, and identifies promising directions for improving the efficiency and durability of UREF.
Keywords: Unitized regenerative fuel cell, hydrogen energy, electrolysis, fuel cells, catalysts.

Уніфіковані регенеративні паливні елементи (УРПЕ) є перспективною технологією для накопичення енергії у системах, що базуються на відновлюваних джерелах. Їх ключовою особливістю є здатність працювати як у режимі електролізера, так і в режимі паливного елемента, що забезпечує перетворення надлишкової електроенергії у водень та його використанням для генерації електроенергії [1]. Завдяки функціональній інтеграції двох процесів в одному пристрої підвищується гнучкість, компактність за певного збереження ефективності енергетичних систем, а також зменшується їхня структурна складність [2].

Незважаючи на значний потенціал, широке впровадження УРПЕ обмежується значною вартістю та зменшенням ефективності від розподілених існуючих систем [3]. Основною причиною є використання благородних металів, зокрема платини, іридію та рутенію, які забезпечують необхідну біфункціональну каталізаторну активність у реверсивних умовах роботи [4]. Водночас такі каталізатори схильні до деградації під час циклічного перемикання між режимами електролізу та генерації електроенергії, що негативно впливає на довговічність [5].

До основних механізмів деградації належать корозія матеріалів, розчинення та агломерація наночастинок каталізатора, а також руйнування вуглецевих носіїв при високих потенціалах [6]. Додатково ефективність системи знижується через повільну кінетику реакцій виділення та відновлення кисню, що потребує високої перенапруги.

Сучасні дослідження зосереджені на підвищенні ефективності та стабільності УРПЕ шляхом оптимізації складу, структури та конфігурації каталізаторів, а також пошуку альтернативних матеріалів на основі неблагородних металів і нових носіїв [7]. Перспективним напрямом є створення біфункціональних каталізаторів із підвищеною стійкістю до деградації та покращеними кінетичними характеристиками.

Таким чином, подальший розвиток УРПЕ пов'язаний із розв'язанням проблем вартості, довговічності та підвищеної енергетичної ефективності, що є ключовими умовами їх широкого застосування у водневій енергетиці.

Бібліографічні посилання

1. Wang S, Weber AZ, Peng X. Advances and prospects to achieve high-performing and durable proton-exchange-membrane unitized regenerative fuel cells. Curr Opin Electrochem 2023:101340. https://doi.org/10.1016/j.coelec.2023.101340.
2. Wang Y, Leung DYC, Xuan J, Wang H. A review on unitized regenerative fuel cell technologies, part-A: unitized regenerative proton exchange membrane fuel cells. Renew Sustain Energy Rev 2016; 65:961–77. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.046.
3. Li C, Liu Z, Xu Z. Advanced regenerative fuel cells: characteristics and application. Highl Sci Eng Technol 2023;52:253–7. https://doi.org/10.54097/hset.v52i.8902.
4. Chen G, Delafuente DA, Sarangapani S, Mallouk TE. Combinatorial discovery of bifunctional oxygen reduction — water oxidation electrocatalysts for regenerative fuel cells. Catal Today 2001;67:341–55. https://doi.org/10.1016/S0920-5861(01)00327-3.
5. Martens I, Vamvakeros A, Martinez N, Chattot R, Pusa J, Blanco MV, et al. Imaging heterogeneous electrocatalyst stability and decoupling degradation mechanisms in operating hydrogen fuel cells. ACS Energy Lett 2021;6:2742–9. https://doi.org/10.1021/acsenergylett.1c00718.
6. Yano H, Watanabe M, Iiyama A, Uchida H. Particle-size effect of Pt cathode catalysts on durability in fuel cells. Nano Energy 2016;29:323–33. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.02.016.
7. Park S, Shao Y, Liu J, Wang Y. Oxygen electrocatalysts for water electrolyzers and reversible fuel cells: status and perspective. Energy Environ Sci 2012;5:9331–44. https://doi.org/10.1039/C2EE22554A.