

УДК 620.9

К.С. Швець, магістрант
Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД ВОДНЕВИХ ДЖЕРЕЛ

Анотація. У цій статті розглядаються парадигми водневої енергетики з акцентом на методах синтезу та проблемах зберігання. Воднева енергетика провіщає трансформаційні зрушення в транспортному та енергетичному секторах, пропонуючи значний потенціал декарбонізації. Електромобілі на паливних елементах використовують водень, реагуючи з киснем для виробництва електроенергії та води. Незважаючи на свою багатообіцяючу перспективу, воднева технологія стикається з проблемами розвитку інфраструктури для транспортування, зберігання та заправки, а також ефективності виробництва. Методи виробництва включають реформування природного газу, електроліз води та газифікацію біомаси. Подолання технічних та інфраструктурних бар'єрів має важливе значення для повної реалізації потенціалу водневої енергетики.

Ключові слова. Методи синтезу водню, Проблеми зберігання водню, Транспортні засоби на водневих паливних елементах, Потенціал водневої декарбонізації, Ефективність виробництва водню, Перехід до водневої енергетики, Виробництво та розподіл водню.

Вступ. Хоча водень існує у великій кількості на Землі як елемент, він переважно зустрічається у складі інших сполук, таких як вода (H_2O) або метан (CH_4), що зумовлює необхідність видобутку чистого водню (H_2) для використання в електромобілях, що працюють на паливних елементах. Використання водню як джерела енергії означає фундаментальний зсув як для транспортного, так і для енергетичного секторів, надаючи можливість прискорити зусилля з декарбонізації цих галузей шляхом їхньої інтеграції. Незважаючи на поточну мінімальну частку відновлюваної енергетики в транспортному секторі, відбуваються значні трансформації, особливо в сегменті комерційних автомобілів, зумовлені появою транспортних засобів на водневих двигунах. Однак розвиток водневої енергетики стикається з проблемами у розробці та розгортанні транспортної інфраструктури, сховищ та заправних станцій, що перешкоджає її широкому впровадженню як альтернативного джерела енергії.

Мета роботи. Запропонувати вичерпні визначення та детальні пояснення відповідних аспектів водневої енергетики.

Матеріал і результати дослідження.

Водень можна виробляти з різних вітчизняних ресурсів, включаючи викопне паливо, біомасу та електроліз води з отриманням електроенергії. Вплив на довкілля та енергоефективність водню залежить від способу його виробництва. Наразі реалізується кілька проектів, спрямованих на зменшення витрат, пов'язаних з виробництвом водню.

Існує кілька способів виробництва водню:

- **Реформування/газифікація природного газу:** Синтез-газ - суміш водню, монооксиду вуглецю та невеликої кількості вуглекислого газу - утворюється в результаті реакції природного газу з високотемпературною парою. Чадний газ реагує з водою, утворюючи додатковий водень. Цей метод є найдешевшим, найефективнішим і найпоширенішим. Реформування природного газу за допомогою пари забезпечує більшу

частину водню, що виробляється в США щорічно. Включення в процес уловлювання та зберігання вуглецю дозволяє виробляти водень з меншими викидами вуглекислого газу.

- Синтез-газ також може бути створений шляхом реакції вугілля або біомаси з високотемпературною парою і киснем у газифікаторі під тиском. Це перетворює вугілля або біомасу на газоподібні компоненти - процес, який називається газифікацією. Отриманий синтез-газ містить водень і монооксид вуглецю, який реагує з парою для відокремлення водню.

- Електроліз: Електричний струм розщеплює воду на водень і кисень. Якщо електроенергія виробляється з відновлюваних джерел, таких як сонячна або вітрова енергія, то водень, що утворюється, також вважається відновлюваним і має численні переваги щодо викидів. Проекти з виробництва водню з електроенергії набирають обертів, використовуючи надлишок відновлюваної електроенергії, коли вона доступна, для виробництва водню шляхом електролізу.

- Реформування рідини, отриманої з біомаси: Відновлюване рідке паливо, таке як етанол, реагує з високотемпературною парою для отримання водню поблизу місця кінцевого використання.

- Мікробна конверсія біомаси: Біомаса перетворюється на багату на цукор сировину, яку можна ферментувати для отримання водню.

Кілька методів виробництва водню знаходяться в стадії розробки:

- Термохімічне розщеплення води: Високі температури, що генеруються сонячними концентраторами або ядерними реакторами, спричиняють хімічні реакції, які розщеплюють воду з утворенням водню.

- Фотобіологічне розщеплення води: Мікроби, такі як зелені водорості, споживають воду в присутності сонячного світла і виробляють водень як побічний продукт.

- Фотоелектрохімічне розділення води: Фотоелектрохімічні системи виробляють водень з води за допомогою спеціальних напівпровідників та енергії сонячного світла.

Розглянувши висвітлені вище способи виробництва водню, можна отримати систему класифікації водню за кольорами по способу його виробництва, таблиця 1.

Таблиця 1. Кольорова класифікація водню за методом його отримання (виробництва)

Колір водню	Метод виробництва
Білий	Природний водень
Чорний	Використання кам'яного вугілля
Сірий	Використання природного газу без уловлювання CO ₂
Жовтий	Вказують на водень, вироблений електролізом за допомогою електроенергії, яка надходить із змішаних джерел залежно від доступності.
Червоний	Виробляється шляхом високотемпературного каталітичного розщеплення води з використанням ядерної енергії як джерела енергії.
Рожевий	Отримують з використанням ядерної енергії та тепла шляхом комбінованого хімічного термічного електролізу розщеплення води
Зелений	Виробництво за допомогою електролізу, з використанням відновлюваної електроенергії
Фіолетовий	Отримують з використанням ядерної енергії та тепла шляхом комбінованого хімічного термічного електролізу розщеплення води
Блакитний	Викиди, що утворюються в процесі парового риформінгу, вловлюються та зберігаються під землею за допомогою

Колір водню	Метод виробництва
	промислового уловлювання та зберігання вуглецю (CSS), щоб він не розсівався в атмосфері.
Бірюзовий	Термічне розщеплення метану шляхом піролізу метану.
Коричневий	Використання бурого вугілля

Зберігання та розподіл водню. Після того, як водень виробляється та очищується, він потребує безпечних методів розподілу та зберігання. Водень можна зберігати як у газоподібному, так і в рідкому стані, залежно від його застосування. Рідкий водень з температурою кипіння $-252,9^{\circ}\text{C}$ вимагає наднизьких температурних умов для безпечного зберігання або органічного зв'язування. І навпаки, зберігання газоподібного водню при температурі навколишнього середовища вимагає систем високого тиску для досягнення щільності енергії, порівнянної з криогенним зберіганням. Слід зазначити, що газоподібний водень можна зберігати протягом тривалих періодів без погіршення якості, а існуючу газову інфраструктуру можна перепрофілювати. Однак його об'ємна щільність енергії при атмосферному тиску залишається відносно низькою порівняно з традиційними джерелами енергії, такими як природний газ або нафта. Резервуари або трубопроводи високого тиску полегшують розподіл газоподібного водню до кінцевих споживачів, пропонуючи гнучкість у транспортуванні автомобільними, залізничними або морськими шляхами без необхідності створення нової інфраструктури. Крім того, змішування водню з природним газом дозволяє транспортувати його існуючими трубопроводами з мінімальними модифікаціями, хоча при перевищенні 40% частки водню може виникнути потреба в заміні компонентів. Зберігання та розподіл водню на місці вимагає суворих протоколів безпеки та випробувань, особливо щодо резервуарів високого тиску та систем заправних станцій. Забезпечення цілісності компонентів і навчання працівників поводженню з воднем ще більше посилюють заходи безпеки.

Висновок. У цій статті було розглянуто парадигми водневої енергетики, декілька методів синтезу водню, проблематику зберігання. Використання водневої енергетики представляє собою перехід до нової парадигми для транспортного та енергетичного секторів з потенціалом для декарбонізації. Процес використання водню в електромобілях на паливних елементах передбачає його відокремлення з інших сполук та реакцію з киснем, створюючи електроенергію та воду. Хоча технологія водневої енергетики має великий потенціал, її впровадження стикається з декількома викликами, такими як розробка інфраструктури для транспортування, зберігання та заправки водню, а також підвищення ефективності виробництва. Проте, існують різні методи виробництва водню, включаючи реформування природного газу, електроліз води та газифікацію біомаси. Для реалізації повного потенціалу водневої енергетики необхідно подолати технічні та інфраструктурні перешкоди, а також забезпечити ефективне виробництво та дистрибуцію.

Список використаної літератури.

1. Al-Baghdadi, Maher. "An Overview of Hydrogen as an Alternative Fuel." Encyclopedia, 2020, URL: <https://encyclopedia.pub/1574> (Дата звернення 22.04.2023).
2. Jankowski, Antoni, and Mirosław Kowalski. "Alternative fuel in the combustion process of combustion engines." Journal of KONBiN, vol. 48, no. 1, 2018, pp. 55-81.
3. Hydrogen services for clear future. TUV SUD. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen> (Дата звернення 22.04.2023).

4. Pandey, Bhoopendra, et al. "Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of the art review." International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 47, 2019, pp. 384-415.

Науковий керівник: д-р. техн. наук, проф. С.В. Бойченко

UDC 620.9

K. Shvets, master student
Department of Automation of electrical and mechatronic complexes
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

REVIEW OF HYDROGEN SOURCES

Abstract. *This article discusses hydrogen energy paradigms with a focus on synthesis methods and storage issues. Hydrogen energy heralds transformational shifts in the transportation and energy sectors, offering significant decarbonization potential. Fuel cell electric vehicles use hydrogen to react with oxygen to produce electricity and water. Despite its promising prospects, hydrogen technology faces challenges in developing infrastructure for transportation, storage and refueling, as well as production efficiency. Production methods include natural gas reforming, water electrolysis, and biomass gasification. Overcoming technical and infrastructural barriers is essential to fully realize the potential of hydrogen energy.*

Keywords. *Hydrogen synthesis methods, Hydrogen storage problems, Hydrogen fuel cell vehicles, Hydrogen decarbonization potential, Hydrogen production efficiency, Transition to hydrogen energy, Hydrogen production and distribution.*

References

1. Al-Baghdadi, Maher. "Overview of hydrogen as an alternative fuel". Encyclopedia, 2020, URL: <https://encyclopedia.pub/1574> (date of access:12.04.2024)
2. Jankowski, Antoni, and Mirosław Kowalski. "Alternative fuel in the combustion process of internal combustion engines". KONBiN Journal, vol. 48, no. 1, 2018, pp. 55-81.
3. Hydrogen services for a clear future. TUV SUD. [Online]. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen> (date of access:12.04.2024)
4. Pandey, Bhupendra, et al. "Recent Progress in Thermochemical Methods for the Production of Hydrogen Gas from Biomass: A review of the current state of the art". International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 47, 2019, pp. 384-415.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences, prof. Sergii Boichenko