

ВОДЕНЬ: ПОНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА ПЕРСПЕКТИВА

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Тенденція екологічно створеної енергії за рахунок впровадження у використання зеленого та блакитного водню. Водень як стимулюючий елемент для впровадження більш змінних відновлюваних джерел енергії при переході до енергетичних систем завтрашнього дня. Проблеми та переваги на шляху переходу до «водневої енергетики».

Ключові слова: електроенергетика, водень.

Abstract

The trend of green energy generated through the introduction of green and blue hydrogen. Hydrogen as a stimulating element for the introduction of more variable renewable energy sources in the transition to tomorrow's energy systems. Problems and advantages on the way to the transition to "hydrogen energy".

Keywords: electric power, hydrogen.

Вступ

Водень може допомогти вирішити різні критичні енергетичні проблеми. Він пропонує способи декарбонізувати цілу низку секторів - включаючи інтенсивний та тривалий транспорт, хімікати та залізо та сталь - де важко суттєво зменшити викиди. Це також може допомогти покращити якість повітря та посилити енергетичну безпеку[1]. Крім того, це підвищує гнучкість в енергосистемах та дозволяє проаналізувати потенційні шляхи до майбутнього чистого енергоносія, що підтримує водень, зазначивши, що водень може відігравати головну роль у майбутньому з чистою енергією з огляду на довгострокові стратегії[2].

Результати дослідження

Водень є універсальним щодо постачання та використання, це безкоштовний носій енергії, який може вироблятися багатьма джерелами, також він є одним із варіантів зберігання енергії відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та у перспективі може стати найдешевшим варіантом для зберігання великих кількостей електроенергії протягом днів, тижнів і навіть місяців. Водневі та водородні палива можуть транспортувати енергію з ВДЕ на великі відстані.

Сьогодні переважна більшість водню виробляється з викопного палива без уловлювання CO₂. Це рішення з найменшими витратами на виробництво водню сьогодні, але воно не є стійким. Реакція викидів водню з пари має коефіцієнт викидів близько 285 грам CO₂ на кіловат-годину (кВт / год) (9,5 кілограми CO₂ на кілограм водню), а газифікація вугілля має коефіцієнт викидів близько 675 грам CO₂ на кіловат водню, що враховує використання енергії та викиди технологічних процесів. Тому, для застосування енергетичного переходу необхідне інше джерело чистого водню[3].

Блакитний водень – отриманий з води за допомогою ВДЕ, нове рішення, так як вартість його отримання від поновлюваних джерел енергії стрімко зменшується. Він пропонує перспективу наступності для виробників викопного палива, і це може допомогти відповідати цілям клімату за прийнятну ціну. Виробництво великого обсягу блакитного водню може бути важливим для підтримки зростаючого попиту на нього, а також для початку світових та регіональних ланцюгів постачання водню та одержуваних водню палив, слід враховувати деякі аспекти:

- виробництво і використання водню без центрального блоку управління можуть збільшити CO₂ викиди по порівнянні з безпосереднім використанням викопного палива із-за втрати ефективності використання енергії ланцюга;
- очікується, що коефіцієнт корисної дії CO₂ у кращому випадку сягне 85-95%, що означає, що

5-15% усіх CO₂ витікають;

- CO₂ може зберігатися під землею, як це підтверджено декількома проектами-мегатонами;
- важливо створити системи моніторингу, звітності та верифікації, щоб забезпечити максимальну швидкість захоплення, зберігання та правильне врахування залишків викидів. Також важливо враховувати ефективність зберігання, коли лише геологічні утворення пропонують життєздатну перспективу нейтральності вуглецю.
- вкопні інвестиції у сферу споживання вуглецю можуть перенести обмежений капітал від розгортання відновлюваної енергії до вкопного палива. Зважаючи на значне збільшення темпів розгортання відновлюваної енергії, необхідних для досягнення цілей скорочення викидів до 2030 року, це може бути не найефективнішим використанням обмежених фінансових ресурсів.

Водень пропонує перспективу нового товару, яким можна торгувати. Справа в тому, що зелений водень – створений завдяки конверсії природного газу, може бути перетворений в синтетичний природний газ (використовуючи CO₂ в процесі біоенергетичного спалювання або від прямого захоплення повітря) та поставляється на ринки, використовуючи існуючу інфраструктуру, і що природний газ може бути перетворений на водень з низьким вмістом вуглецю. Таким чином, перехід до водневої економіки пропонує нові економічні перспективи для країн та регіонів, які сьогодні покладаються на експорт вкопного палива для значної частини своїх національних доходів. Це також може допомогти створити нові експортні можливості для країн з багатими відновлюваними енергетичними ресурсами[4,5].

У деяких частинах світу створена значна інфраструктура для передачі та розподілення природного газу. Така інфраструктура може бути використана для полегшення доставки водню, а також виступає великим і недорогим джерелом накопичувальних потужностей. Однак масштаби інших трубопровідних систем обмежені, і вони не дають широкої основи для швидкого збільшення масштабу розгортання водню.

Спільне використання інфраструктури природного газу для водню та природного газу може бути безпрограшною перехідною стратегією. Що стосується водню, це дозволить збільшити масштаб виробництва відновлюваних джерел енергії та електролізерної промисловості, використовуючи великий існуючий попит та його ланцюг поставок, зокрема інфраструктуру газопроводів[3]. Це, в свою чергу, може допомогти посилити роль природного газу як палива з низьким вмістом вуглецю.

Там, де є трубопроводи, перспективи очевидні. Однак перевезення водню вимагає або зрідження - що означає значні втрати енергії, - або перетворення водню в інші носії, наприклад, аміак, метанол та рідкі органічні носії водню. Це призводить до значних втрат[6]. Транспортування водню по газових мережах та проблеми пов'язані з цим вказані у таблиці 1.

Таблиця 1 – Проблеми та характеристики впровадження переходу до водневого постачання

Хар-ка	Рідина	Метанол	Аміак
Виклики	<ul style="list-style-type: none">•Вимагає дуже низької температури (близько -250 °C)•Висока потреба в енергії для охолодження / зрідження•Вимагає зниження витрат на зрідження•Зрідження в даний час споживає близько 45% енергії, яку приносить H₂•Складно для тривалого зберігання•Потрібен контроль закипання (0,2% -0,3% d⁻¹ у вантажівці)•Ризик витоку	<ul style="list-style-type: none">•Потрібне високотемпературне джерело тепла для дегідрування (вище 300 °C, до 300 кілопаскалів)•Тепло, необхідне для дегідрування, становить близько 30% від загальної кількості H₂, що надходить у метанол•Оскільки метанол з молекулярною масою 98,19 грам на моль¹ несе лише три молекули H₂ від гідрогенізації толуолу, інфраструктура поводження має тенденцію бути великою	<ul style="list-style-type: none">•Нижча реакційна здатність порівняно до вуглеводнів•Потребує лікування через токсичність та гострий запах•Лікування та управління сертифікованими інженерами•Споживає дуже високий запас енергії у разі дегідрування (близько 13% H₂ енергії) та очищення

Продовження таблиці 1.

Переваги	<ul style="list-style-type: none"> •Висока чистота •Не потребує дегідрування та очищення 	<ul style="list-style-type: none"> •Можна зберігати в рідкому стані без охолодження (мінімальні втрати під час транспортування) •Існуюча інфраструктура зберігання • чинні норми • Без втрат 	<ul style="list-style-type: none"> •Можливе для прямого використання •Потенційно бути найдешевшим енергоносієм •Існуюча інфраструктура та регулювання NH₃
Розвиток	<ul style="list-style-type: none"> •Невеликий масштаб: етап застосування •Великі масштаби: розвиток інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> • Демонстраційний етап 	<ul style="list-style-type: none"> •Етап досліджень та розробок •Частково увійшов до демонстраційної стадії
Необхідні дії	<ul style="list-style-type: none"> •Регулювання навантаження / вивантаження транспорту •Розробка двигунів H₂ •Підвищення енергоефективності у зрідженні 	<ul style="list-style-type: none"> •Каталізатори як для гідрування, так і для дегідрування •Енергоефективне дегідрування 	<ul style="list-style-type: none"> •Висока енергоефективність у синтезі •Паливна камера з прямим NH₃

Висновки

Виробництво зеленого водню з ВДЕ є сьогодні єдиним варіантом стійкого постачання на довгострокову перспективу. Постачання зеленого водню є конкурентоспроможним в оптимальних умовах, і його конкурентоспроможність поступово поширюватиметься в найближчі десятиліття. Особлива увага заслуговує на низьку вартість відновлюваної енергії, зниження витрат та підвищення ефективності електролізерів, а також на аспекти інтеграції енергосистеми. Блакитний водень із викопного палива також може грати роль перехідного рішення, особливо, коли існують дешеві запаси викопного палива, де є місця для зберігання та де існує система трубопроводів природного газу, яка може бути перетворена на водень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aakko-Saksa, P.T., Cook, C., Kiviaho, J., Repo, T., 2018. Liquid organic hydrogen carriers for transportation and storing of renewable energy – Review and discussion. *J. Power Sources* 396, 803–823. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.04.011>
2. Petro Lezhniuk, Vyacheslav Komar, Serhii Kravchuk, Volodymyr Netrebskiy, Vladyslav Lesko, *Optimal Integration of Photoelectric Stations in Electric Networks*, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019, 209.
3. Glenk, G., Reichelstein, S., 2019. *Economics of converting renewable power to hydrogen*. *Nat. Energy* 4, 216–222. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0326-1>
4. Lezhniuk, P., Teptya, V., Komar V., Rubanenko O., *Principle of Least Action in Models and Algorithms of Optimisation States Power System, Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*, pp. 173-176.
5. О.О. Рубаненко, В.П. Янович, І.О. Гунько, 2019, Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності, *Вісник Хмельницького національного університету* – № 5(277). – С. 264-269.
6. О. В. Burykin, J. V. Malohulko, К. О. Povstianko, *Optimization of connection schemes and operating modes for renewable energy sources in local electric systems*, *Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки* 2019. №5. С. 270-274.

Урода Анастасія Богданівна — студентка групи ЕСМ-19м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bd_2015@ukr.net

Лесько Владислав Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Leskovlad@ukr.net

Науковий керівник: **Лесько Владислав Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Uroda Anastasia Bogdanivna - student group ESM-19m, Department of Electricity and electro, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. e-mail: bd_2015@ukr.net.

Lesko Vladislav Alexandrovich - Ph.D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia.