

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Д. Г. Бобро, к.ф.-м.н., провідний науковий співробітник відділу критичної інфраструктури, енергетичної та екологічної безпеки центру безпекових досліджень НІСД

В аналітичній записці проаналізовано проблеми та перспективи розвитку водневої енергетики в Україні з урахуванням світового та європейського досвіду. Запропоновано першочергові кроки щодо формування державної політики з питань розвитку виробництва, транспортування та використання водню.

Висновки і рекомендації

Для України водень є перспективним паливом, яке за умов жорсткого дотримання вимог техніки безпеки може замінити вуглеводневі джерела енергії та зменшити рівень енергетичної залежності країни. Основним завданням на цьому шляху є забезпечення достатньо високої ефективності виробництва, транспортування та зберігання водню, розробка конкурентоспроможних енергоустановок з його використання, у т.ч. для добового і сезонного балансування електроенергетичної системи України. Зважаючи на наявний науковий потенціал, ці завдання можуть бути вирішені в Україні вже у найближчій перспективі.

З урахуванням рекомендацій Міжнародного енергетичного агентства «Майбутнє водню» та Водневої стратегії ЄС **рекомендується:**

1. Кабінету Міністрів України опрацювати з Європейською Комісією можливість виробництва в Україні рожевого водню, отриманого за рахунок електролізу з використанням атомної енергії.

2. Міністерству енергетики України із залученням Національної академії наук України:

опрацювати можливість використання магістральних і розподільних газових мереж для перекачки метано-водневих сумішей, обґрунтувавши безпечні концентрації водню в цих сумішах та визначивши, які матеріали доцільно використовувати для підвищення безпеки транспортування водню;

опрацювати можливість використання рідких органічних носіїв водню (ЛОНС-технологій) для зберігання і транспортування водню та створення прямих паливних елементів ЛОНС для водневого палива.

Обґрунтування

У 2019 - 2020 рр. Європейська Комісія представила три стратегічних документи, направлених на суттєве підвищення ефективності використання ресурсів, боротьбу з глобальним потеплінням, скорочення забруднення, що охоплює всі сектори економіки – транспорт, енергетику, промисловість, сільське господарство, будівництво тощо:

(1) Європейський зелений курс (The European Green Deal), метою якого є перетворення Європи до 2050 року на перший кліматично нейтральний континент;

(2) Стратегія ЄС з інтеграції енергетичної системи (EU Strategy for Energy System Integration), направлена на підвищення енергоефективності економіки ЄС за рахунок створення інтегральної системи енергозабезпечення, яка об'єднує в єдине ціле різні джерела енергії, інфраструктуру, споживачів і передбачає широке і ефективне використання місцевих джерел енергії, а також ширше застосування електроенергії;

(3) Воднева стратегія ЄС (EU Hydrogen Strategy)¹, яка передбачає широке використання водню як енергоносія для тих галузей, які не можна електрифікувати, і має на меті доведення до нуля викидів вуглекислого газу промисловими об'єктами, транспортом, енергетикою, будівництвом тощо.

Проте, за даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА)² наразі 99% водню отримується з викопних видів палива, а його глобальне вироблення становить близько 70 млн. тонн. Так, 6% світового виробництва природного газу та 2% вугілля спрямовуються на виробництво водню шляхом парового риформінгу метану та газифікації вугілля. Це так званий *сірий* та в залежності від типу використаного вугілля *бурий/чорний* водень. На сьогодні сірий водень становить більшу частину продукції і дає близько 9,3 кг CO₂ на 1 кг водню. Як наслідок, виробництво водню призводить до викидів близько 830 млн. тонн вуглекислого газу на рік, що еквівалентно викидам Великої Британії та Індонезії разом. Якщо за допомогою систем уловлювання, утилізації та зберігання вуглецю CCUS (Carbon capture, utilization and storage) вилучити CO₂ з сірого водню (наразі ефективність цих систем складає до 80-90%), то такий водень називають *блакитним*.

Шляхом електролізу отримують *зелений* та *рожевий* водень, які виробляються, відповідно, за рахунок відновлюваних джерел енергії (в основному енергії сонця і вітру) та атомної енергії.

Пріоритетом для ЄС є зелений водень, для виробництва якого в ЄС з 2020 по 2024 рік планується встановити електролізери загальною потужністю не менше 6 ГВт, що забезпечить виробництво до 1 млн. тонн водню на рік. З 2025 по 2030 рік планується довести потужність електролізерів до 40 ГВт, а річне виробництво водню до 10 млн. тонн. До 2050 року виробництво та застосування водню має зрости ще більше. Зокрема передбачається, що він застосовуватиметься як засіб добового і сезонного балансування електроенергетичної системи, яка базується на відновлюваних джерелах енергії. До 2050 року близько 20% електроенергії з відновлюваних джерел може бути використано для виробництва зеленого водню, за рахунок якого буде забезпечено до 24% світової потреби в енергоресурсах, а його щорічні продажі складуть 630 млрд. євро.

¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_20_1296

² Звіт МЕА "Майбутнє водню". 2019 рік. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

Важливою частиною водневої стратегії ЄС є міжнародне співробітництво. ЄС має намір розвивати взаємодію з виробництва зеленого водню з сусідніми країнами і регіонами, щоб сприяти їх переходу до чистої енергії та їх сталому розвитку. З урахуванням природних ресурсів, взаємозв'язку інфраструктури та технологічного розвитку пріоритетними партнерами ЄС в цій справі названі країни Східного і Південного партнерства, причому окремо виділено Україну. За оцінками Єврокомісії, до 2030 року в країнах Східного та Південного партнерств потенційно можна буде встановити електролізери для виробництва водню загальною потужністю 40 ГВт.

Втім, на заваді розвитку електролізного виробництва зеленого та рожевого водню наразі стоїть його вартість, яка у середньому більш ніж удвічі перевищує вартість сірого та блакитного водню.

Так, за даними МЕА вартість сірого та блакитного водню в різних країнах коливається від 1 до 1,5 \$ за кг у США та на Середньому Сході, та від 1,7 до 2,4 \$ за кг в ЄС та Китаї. При цьому основну частину витрат складають витрати на природний газ, на який припадає від 45% до 75% виробничих витрат, та на системи захоплення CO₂ (при платі за CO₂ у розмірі 50-70 \$ за тону).

Вартість же зеленого водню складає від 2,5 до 6 \$ за кг і визначається насамперед вартістю електроенергії, яка в різних країнах складає від 20 до 70 \$ за МВт. І конкурентноздатним зелений водень стосовно блакитного стає лише в діапазоні цін на електроенергію від 30 до 45 \$ за МВт (3-4,5 цента за кВт•год).

Якщо ж порівняти конкурентноздатну ціну електроенергії для електролізерів з ціною «зеленого» кіловату в Україні (від 15 центів для СЕС та від 11,5 центів для ВЕС без ПДВ та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва)³, то стає зрозумілим, що в Україні зелений водень є неконкурентноздатним (збитковим) як мінімум до 2030 року. Водночас, рожевий («ядерний») водень може бути конкурентноздатним як для внутрішніх потреб в Україні, так і для реалізації намірів Єврокомісії щодо розміщення до 2030 року в країнах Східного та Південного партнерств електролізерів для виробництва водню загальною потужністю 40 ГВт.

За даними МЕА, ядерна енергія залишається низьковуглецевою технологією з найнижчими очікуваними витратами. Електроенергія, вироблена на АЕС, є конкурентоспроможною і залишається не лише найменш вартісним варіантом для низьковуглецевої генерації (порівняно з будівництвом нових потужностей), але і для всієї електрогенерації загалом. Тому в умовах України доцільно розвивати виробництво *рожевого* водню.

Окрім фінансово-економічних, є ще низка технологічних питань, що ускладнюють розвиток водневої енергетики, зокрема *питання безпеки при виробництві, транспортуванні та використанні водню*.

Так, водень є більш вибухо- та пожежонебезпечним ніж природний газ: у поєднанні з повітрям водень створює вибухову суміш – гримучий газ. Швидкість полум'я водню у 8 разів вища за природний газ, а воднево-кисневе полум'я має температуру до 2800°C. При цьому температура спалаху (самозаймання) водню нижча за природний газ (відповідно 530 та 650°C).

Водень є найлегшим газом з найменшим розміром молекул, що висуває додаткові вимоги до щільності трубопроводів і резервуарів, якими його транспортують. Через летючість і малу атомну масу він вислизає через найменші

³ Постанова НКРЕКП від 31.12.2020 № 2877. Див.: <https://www.nerc.gov.ua/?id=58069>

щілини та навіть дифундує крізь металеві стінки ємностей. Це здійснює також руйнівний вплив на матеріал труб, з'єднань або ємностей для зберігання, оскільки призводить до їх окрихчування та втрати характеристик міцності.

Таким чином, головна технічна проблема розвитку використання водню пов'язана з його транспортуванням. *Найоптимальнішим способом є трубопроводи.* І деякі країни вже планують використовувати для цього існуючі газотранспортні мережі та проводять дослідження, *але не для чистого водню, а для сумішей природного газу з воднем.*

Для вивчення питань виробництва і транспортування водневого палива в Україні сформовано наукову групу.⁴ Наразі фахівці ТОВ «Нафтогазбудінформатика» визначили, що ділянки середнього тиску, які мали достатню герметичність для експлуатації на природному газі, на водні мали значні витоки, які складали 0,25-0,4% на годину. Близькі результати отримали й фахівці «Регіональної газової компанії», які досліджували герметичність газогонів з 99% концентрацією водню та тиском у 4 кг. Результати досліджень показали, що в умовно герметичній системі на метані 46% тиску було втрачено за перші 14 днів. Типовими місцями витоків були різьбові та муфтові з'єднання (у т.ч. із застосуванням сучасних ущільнюючих матеріалів), місця під'єднання датчиків тиску та регуляторів, а також зварні шви, в тому числі і заводського виконання.

Щодо дослідження частки водню для побутових газових приладів (газових плит та колонок), то за даними науковців Інституту газу НАН України максимально допустимою з точки зору безпеки може бути частка водню в метані 30%.

За даними МЕА наразі підтверджено можливість транспортування газогонями сумішей з часткою водню в обсязі: в Німеччині та Швейцарії – до 2% об'ємних, у Франції – до 6%, в Іспанії – до 5%, в Австрії – до 4%, у Фінляндії – до 1%. У Німеччині до 2030 року планують створити мережу для транспортування водню довжиною 1200 км та розглядають можливість довести об'ємну частку водню в газовій суміші до 10%. Загалом МЕА розглядає можливість довести частку водню в магістральних газогонях до 20% об'ємних, трубопроводах низького тиску та вимірjuвальному обладнанні – до 50%.

Окрім трубопроводів, потенційно для транспортування водню (як і для природного газу) можна також використовувати ємності для стиснутого або зрідженого газу при наднизьких температурах. Проте таке зрідження водню вимагає значно нижчих температур, ніж для природного газу (не вище -253°C, тобто на 90°C нижче, ніж для LNG), а безпечна частка водню в ємностях зі стиснутим природним газом (CNG) через витік водню та можливість водневого окрихчування наразі не перевищує 2%.

Іншою технологією для зберігання та транспортування водню є використання *рідких органічних носіїв водню (ЛОНС)* – органічних сполук, які можуть поглинати і виділяти водень за допомогою хімічних реакцій. Досліджувалась можливість використання низки органічних сполук, зокрема толуолу. У 2020 р. Японія створила перший в світі міжнародний ланцюжок поставок водню між містом Кавасакі і Брунеєм за технологією ЛОНС з використанням толуолу.

⁴ До складу робочої групи входять: Інститут газу НАН України; Інститут електрозварювання ім. Патона НАН України; Національний університет «Львівська політехніка»; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; Фізико-механічний інститут імені Карпенка; Держпідприємство «Івано-Франківськстандартметрологія». Координацію робіт здійснює компанія «Нафтогазбудінформатика».

Якщо порівняти економічні показники цих технологій транспортування водню, то за даними МЕА при транспортуванні на відстань більше 1,5 тис. км найбільш економічною є технологія ЛОНС, причому як у випадку трубопровідного транспортування, так і перевезення кораблями (конверсія водню при ЛОНС більш ніж удвічі дешевша за зрідження: 0,4 \$/кгH₂ проти 1 \$/кгH₂). Водночас, вартість реконверсії водню при ЛОНС, яка складає від 1 \$/кгH₂ при централізованій обробці на великих установках та до 2,2 \$/кгH₂ при реконверсії невеликих обсягів органічних носіїв трохи знижує економічну привабливість технології ЛОНС. Сукупні ж витрати на транспортування водню на відстань до 5 тис. км складають в залежності від відстані від 3 до 7 \$/кгH₂ трубопроводами та від 5 до 6 \$/кгH₂ кораблями.

Є й інший, більш перспективний шлях транспортування та використання водню, заснований на здатності деяких композитних металевих губок (високопористих сплавів ванадію, титану і заліза) активно поглинати водень, а при слабкому нагріванні – віддавати його.

Нещодавно запропоновано інноваційний підхід до перетворення зв'язаного ЛОНС водню в електроенергію – так званий «Прямий паливний елемент ЛОНС», в розробку якого наразі інвестує Hyundai Motor.

Втім, технології паливних елементів є більш перспективними для використання водневого палива на транспортних засобах, а не в електроенергетиці. Так, ще у 2018 році потяги на водні розпочали регулярні пасажирські перевезення у Німеччині. Розвивається використання водневого палива для повітряного та водного транспорту.