

## ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ НА ШЛЯХУ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Закорчевна Н.Б.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
dei2005@ukr.net

У 2021 році в Україні стартує розроблення Водневої стратегії. Водень – найперспективніший сталий енергоносіє для зеленої трансформації енергетики, який нині має вирішальне значення для перетворення Європи на клімат-нейтральний континент до 2050 року. Ключовою перевагою водню є те, що він може забезпечити інтеграцію всіх секторів: від балансування режимів енергосистеми до використання у металургійній та хімічній промисловості, транспорті та опаленні. Науковці інтенсивно працюють над здешевленням технологічних процесів великотоннажного виробництва водню за рахунок ефективного розкладання води, використовуючи високотемпературний електроліз водяної пари і застосовуючи каталізatori. Проте витрати значної кількості води та утилізація осадів, які утворюються під час виробництва водню, викликають багато запитань в екологів, особливо в умовах дефіциту водних ресурсів в Україні.

Зважаючи на обмеженість ресурсів для виробництва «зеленого водню», європейські країни, особливо Німеччина, розглядають Україну як пріоритетного партнера в частині імпорту водню. Така перевага буде використана для розвитку водневої економіки України. Наша країна має значний технічний потенціал для створення 500-700 ГВт потужностей на базі відновлювальної енергетики, який може забезпечити виробництво близько 500 млрд. куб. м (45 млн. тонн) водню. Однак нині не вивчено питання про кількість водних ресурсів для розвитку економіки України. Планування розвитку країни здійснюється без чіткого розуміння того, яким водним капіталом у кількісному та якісному вимірах володіє держава, які потреби у воді можна задовільнити, не завдавши шкоди водним екосистемам, не виснажуючи або забруднюючи наявні водні ресурси. Особливу увагу під час розроблення Водневої стратегії України потрібно зосередити на питаннях наявності та якості водних ресурсів для виробництва водню, визначити найефективніші для України способи виробництва водню і використання ресурсів, потрібних для виробництва, зокрема водних під час електролізу, а також масштабування невеликих проєктів до промислових обсягів. *Ключові слова:* водень, виробництво водню, воднева енергетика, відновлювальні джерела енергетики, водні ресурси.

### **Environmental challenges on the development of hydrogen energy in Ukraine. Zakorchevna N.**

In 2021, the development of the Hydrogen Strategy will start in Ukraine. Hydrogen is the most promising sustainable energy source for green energy transformation and it is crucial today for transforming Europe into a climate-neutral continent by 2050. The key advantage of hydrogen is that it can ensure the integration of all sectors: from balancing power systems to use in the metallurgical and chemical industries, transport and heating etc. Scientists are working intensively to reduce the cost of technological processes of large-scale hydrogen production due to more efficient decomposition of water, using high-temperature electrolysis of water vapour, using catalysts and more. However, the consumption of significant amounts of water and the disposal of sludge generated during hydrogen production raise many questions from ecologists, especially in the question of water scarcity in Ukraine.

European countries, and especially Germany, consider Ukraine as a priority partner in terms of hydrogen imports given the limited resources for the production of "green hydrogen". This advantage will be used for the development of Ukraine's hydrogen economy. Ukraine has significant technical potential to create 500-700 GW of renewable energy capacity, which can produce about 500 billion cubic meters (45 million tons) of hydrogen. However, today, the issue of water resources for the development of Ukraine's economy has not been studied. The country's development planning is carried out without a clear understanding of what water capital of the our state has in quantitative and qualitative terms, and what water needs can be met without harming aquatic ecosystems, without depleting or polluting existing water resources. Particular attention during the development of the Hydrogen Strategy of Ukraine should focus on the availability and quality of water resources for hydrogen production, identify the most efficient for Ukraine methods of hydrogen production, use of resources needed for production, in particular water during electrolysis, and scaling small projects to industrial volumes. *Key words:* hydrogen, hydrogen production, hydrogen energy, renewable energy sources, water resources

**Постановка проблеми.** Нетрадиційні і відновлювальні джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення наявних технологій із метою підвищення їх спроможності до економічно ефективного рівня і розширення сфер використання. Головні чинники такої уваги – очікуване зменшення запасів органічних видів палива і зростання їх ціни, недосконалість і низька ефективність технологій, шкідливі впливи на довкілля і можливі загрозливі наслідки, які викликають глибоке занепокоєння у світової спільноти.

Екологічна безпека змінилася із другорядної проблеми на актуальне питання геостратегії країн світу.

Нині науковці інтенсивно працюють над здешевленням технологічних процесів великотоннажного виробництва водню за рахунок ефективного розкладання води, використовуючи високотемпературний електроліз водяної пари і застосовуючи каталізatori. Проте витрати значної кількості води та утилізація осадів, які утворюються під час виробництва водню, викликають багато запитань в екологів, особливо в умовах дефіциту водних ресурсів в Україні.

**Актуальність дослідження.** Водень – найперспективніший сталий енергоносіє для зеленої трансформації енергетики. На думку науковців, розвиток водневої енергетики є оптимальним вирішенням питання про більш ефективне використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Воднева енергетика – напрям вироблення енергії, який базується на використанні водню в якості засобу для накопичення, транспортування і споживання енергії населенням, транспортом і різними виробництвами. Водень – один із найпоширеніших елементів як на Землі, так і у космосі. Він має найбільшу енергоємність, а продуктом його згоряння є тільки вода, яка знову вводиться у кругообіг.

Згідно з прогнозами, до 2025 року світовий ринок виробництва водню досягне 201 млрд. дол. США порівняно з 130 млрд. дол. США у 2020 році із середньорічним темпом зростання 9,2% протягом прогнозованого періоду. У 2020 році обсяг світового ринку «зеленого» водню оцінювався у 0,3 млрд. дол. США і, за прогнозами, до 2028 року досягне 9,8 млрд. дол. США, а з 2021 по 2028 рік зростатиме із середньорічним темпом у 54,7%.

У 2021 році в Україні стартує розроблення Водневої стратегії. Водень нині має вирішальне значення для перетворення Європи на клімат-нейтральний континент до середини століття, тобто до 2050 року. Ключовою перевагою водню є те, що він може забезпечити інтеграцію всіх секторів: від балансування режимів енергосистеми до використання у металургійній та хімічній промисловості, транспорті та опаленні. Зважаючи на обмеженість ресурсів для виробництва «зеленого водню», європейські країни, особливо Німеччина, розглядають Україну як пріоритетного партнера у частині імпорту водню. Така перевага буде використана для розвитку водневої економіки України.

При міністерстві палива та енергетики створено робочу групу з підготовки проєкту Стратегії розвитку водневої енергетики в Україні на період до 2030 року. Позиція Міністерства енергетики України і Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України полягає у тому, що держава має посісти конкурентоспроможну позицію на майбутньому перспективному ринку водню. Отже, важливо детально вивчити можливості країни для максимізації масштабів виробництва водню, економічну рентабельність проєктів і найвигіднішу географію потенційного розміщення потужностей.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** У 2020 році в ЄС презентували водневу стратегію – довгостроковий план розвитку енергетичного сектору країн континенту із курсом на низьковуглецеву економіку. Це означає інвестиції у чисті джерела енергії, нову спроможність для експорту, наповнення бюджету, зменшення навантаження на природу, енергетичну і політичну незалежність. Оскільки йдеться про

«зелений» водень, то водневий потенціал України тісно пов'язаний із потужностями відновлювальних джерел енергії у країні. За інформацією ПрАТ «НЕК «Укренерго», встановлена потужність ВДЕ лише за рік зросла удвічі (з 2,9 ГВт у червні 2019 року до 5,8 ГВт у червні 2020 року), а наприкінці листопада 2020 року перевищила 6,3 ГВт.

За повідомленнями «Укренерго», енергетична система України може прийняти близько 3 ГВт енергії із відновлюваних джерел без негативних наслідків. Тому ще на початку року компанія неодноразово вдавалася до обмежень генерації ВДЕ. Водночас держава все одно зобов'язана платити виробникам за енергію з ВДЕ за «зеленим» тарифом, що створило дисбаланс між обсягом енергії ВДЕ та часткою грошей, які вона забирає з ринку. Усе це влітку 2020 року спричинило кризу неплатежів. Навіть після часткового врегулювання проблеми шляхом укладання меморандуму борги продовжують накопичуватися. 9 грудня 2020 року сума боргу становила майже 23 млрд. грн. У такій ситуації складно говорити про подальше збільшення частки ВДЕ, що є обов'язковою умовою для генерації «зеленого» водню.

Утім, якщо переорієнтувати потужності ВДЕ на генерацію водню, то це нівелює вплив нових потужностей на енергосистему України та за умови інвестиційної привабливості сектору дозволить збільшити обсяги чистої генерації у десятки разів. Наприклад, у деяких країнах ЄС створюють вітропарки та сонячні електростанції спеціально для генерації водню. В Україні поки що немає навіть у планах жодного об'єкта ВДЕ, який би генерував електроенергію спеціально для електролітичних установок. На думку енергетиків, такі об'єкти можна будувати без шкоди для довкілля на узбережжі та в мілководному Азовському морі, на шельфі Чорного моря. Великий потенціал мають дахові сонячні електростанції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін «воднева енергетика» був запропонований Джоном Бокрісом під час лекції, яку він прочитав у 1970 році у Технічному центрі General Motors. У багатьох країнах світу дослідження з водневої енергетики є пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансовою підтримкою як держави, так і бізнесовими структурами. Основною метою розвитку водневих технологій є зменшення залежності від традиційних енергоносіїв: нафти, газу і вугілля. Перевагою використання відновлювальних джерел енергії є їхня невичерпність та екологічна безпечність, що сприяє поліпшенню екологічного стану навколишнього природного середовища і не призводить до зміни енергетичного балансу планети. Ключова умова переходу до водневої енергетики – пошук і створення надійних та економічно доцільних паливних елементів на основі водню.

Міністерством енергетики розроблено три важливих документи: проєкт Дорожньої карти з виробництва та використання водню в Україні; проєкт

Дорожньої карти використання водню в Україні в автомобільному транспорті; проєкт звіту про масштабну дію згідно з процедурою Стратегічної екологічної оцінки Дорожньої карти. На думку профільних спеціалістів Міненерго, вони стануть дієвим чинником для розробки Водневої стратегії України.

Розвиток водневих технологій в Україні передбачається у три етапи:

1) перший етап (2021-2023 роки) – оцінка української економіки щодо «зеленого переходу» і запуск водневої економіки;

2) другий етап (2024–2026 роки) – визначення пріоритетів у політиці, розвиток і демонстрація ринку водню та ланцюга поставок, зростання масштабів застосування водню;

3) третій етап (2027-2029 роки) – поєднання інтелектуального портфелю політик і стратегічних проєктів розвитку водню, регуляторної реформи і технологічного розвитку.

Нині в Україні вже здійснено окремі дослідження потенціалу розвитку водневої енергетики і використання водню на транспорті; здійснено екологічну оцінку – Звіт про обсяг CEO для проєкту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» [1]. Цього року буде започатковано науково-технічне дослідження, необхідне, зокрема, для розроблення Водневої стратегії України.

У 2019 році науковці Інституту відновлюваної енергетики НАНУ спільно з Українською водневою радою та Українським інститутом майбутнього презентували «Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії України 2019 року». У цьому дослідженні автори вперше розрахували можливі обсяги виробництва «зеленого» водню в Україні [2]. За їхніми оцінками, Україна має значний технічний потенціал для створення 500-700 ГВт потужностей на базі відновлювальної енергетики, що може забезпечити виробництво близько 500 млрд. куб. м (45 млн. тонн) водню.

Експерт Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) Херіб Бланко [3] провів дослідження і з'ясував, скільки води необхідно для всіх електролітичних установок до 2050 року та якими будуть енергетичні витрати.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Одна із ключових проблем на шляху розвитку водневої енергетики – зменшення доступної чистої води. Отже, чи не перекреслять витрати на водоочищення всі переваги водню як енергоносія? Тому особливу увагу під час розроблення Водневої стратегії України потрібно зосередити на питаннях наявності та якості водних ресурсів для виробництва водню, визначити найефективніші для України способи виробництва водню і використання ресурсів, необхідних для виробництва, зокрема водних, під час електролізу, а також масштабування невеликих проєктів до промислових обсягів.

**Новизна.** Новизна запропонованого дослідження ґрунтується на фокусуванні проблеми наявності водних ресурсів, їхньої якості та доступності для виробництва водню в Україні, визначенні можливих впливів на водні екосистеми.

**Виклад основного матеріалу.** У земній корі міститься близько одного відсотка від загальної маси водню. Відносний вміст водню в атмосфері збільшується з висотою. Вільний водень міститься у горючих газах, які виділяються із землі. Також він виникає під час гниття і бродіння органічних речовин. Основна маса водню знаходиться у зв'язаному стані у вигляді різноманітних сполук. Найпоширенішою з них є вода, у складі якої міститься 11,19 відсотків водню. Відома значна кількість сполук водню із вуглецем (вуглеводні). Він входить до складу нафти, кам'яного вугілля, деяких мінералів. Нині водень отримують головним чином (90 відсотків) із викопних джерел.

Прийнято поділяти водень на «сірий» – із вугілля, нафти і газу; на «блакитний» – ПГУ ТЕС або АЕС за технологією CCS і на «зелений» – із води (ВДЕ). Відповідно до недавніх досліджень Wood Mackenzie нині 99 відсотків водню є «сірим» і «блакитним», що створює величезний вуглецевий слід, і тільки один відсоток водню вважається «зеленим».

Сучасні методи виробництва водню є такі:

1) паровий риформінг – це каталітична конверсія вуглеводнів (метану, пропан-бутану, бензину, гасу, дизпалива, вугілля) із присутністю водяної пари. Перевага: найдешевший спосіб виробництва водню, тому найпоширеніший. Недолік – висока емісія CO<sub>2</sub>. Застосування технологій уловлювання і захоронення вуглекислого газу (CCS) розв'язує проблему емісії, але істотно підвищує вартість водню;

2) електроліз – процес розкладання води під дією постійного електричного струму на кисень і водень. Хімічна реакція триває за схемою: 2H<sub>2</sub>O + енергія → 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>.

*Переваги:*

а) доступна сировина – демінералізована вода та електроенергія;

б) під час виробництва відсутні забруднюючі викиди;

в) процес автоматизований;

г) на виході – досить чистий (99,99%) продукт.

*Недоліки:*

а) отримання водню дорожче в 1,5-3 рази, ніж під час риформінгу. Використовується у невеликих обсягах і вважається потенційною технологією майбутнього.

Електролізери, що використовуються для виробництва «зеленого» водню, можуть працювати динамічно – досить кількох секунд для виходу на максимальну потужність. Отже, вони легко поєднуються із відновлювальними джерелами, які працюють нестабільно. Крім того, водень може зберігатися протягом тривалого часу у великих резервуарах

Техніко-економічні показники різних процесів виробництва водню  
(за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України)

Процес	Джерело енергії	Сировина	Капітальна вартість, млн. дол. США	Вартість водню, дол. США/кг
SMR з CCS	Викопне паливо	Природний газ	226.4	2.27
SMR без CCS	Викопне паливо	Природний газ	180.7	2.08
GC з CCS	Викопне паливо	Вугілля	545.6	1.63
GC без CCS	Викопне паливо	Вугілля	435.9	1.34
ATR метану з CCS	Викопне паливо	Природний газ	183.8 <sup>(a)</sup>	1.48
Метановий піроліз	Внутрішній згенерований пар	Природний газ	–	1.59–1.70
Піроліз біомаси	Внутрішній згенерований пар	Деревна біомаса	53.4–3.1 <sup>(b)</sup>	1.25–2.20
Газифікація біомаси	Внутрішній згенерований пар	Деревна біомаса	149.3–6.4 <sup>(c)</sup>	1.77–2.05
Прямий біофотоліз	Сонячна	Вода + водорості	50 \$/m <sup>2</sup>	2.13
Непрямий біофотоліз	Сонячна	Вода + водорості	135 \$/m <sup>2</sup>	1.42
Темне бродиння	–	Органічна біомаса	–	2.57
Фото-бродиння	Сонячна	Органічна біомаса	–	2.83
Сонячний електроліз	PV Сонячна	Вода	12.0–54.5	5.78–23.27
Сонячний тепловий електроліз	Сонячна	Вода	421.0–22.1 <sup>(d)</sup>	5.10–10.49
Вітровий електроліз	Вітер	Вода	504.8–499.6 <sup>(e)</sup>	5.89–6.03
Ядерний електроліз	Ядерна	Вода	–	4.15–7.00
Ядерний термоліз	Ядерна	Вода	39.6–2107.6 <sup>(ж)</sup>	2.17–2.63
Сонячний термоліз	Сонячна	Вода	5.7–16.0 <sup>(з)</sup>	7.98–8.40
Фотоелектроліз	Сонячна	Вода	–	10.36

для реалізації у промислових цілях, інтегруватися в газову мережу або застосовуватися для живлення паливних елементів.

Відновлювальна енергетика використовує екологічно чисте, невичерпне джерело енергії, яке не змінює функціональну структуру Землі, дозволяє пом'якшити навантаження на ресурсну базу і зменшити загальні ресурсні затрати, отже, сприяє подоланню бідності і відповідального споживання. Водень можна вважати паливом майбутнього. У багатьох країнах світу дослідження з водневої енергетики є пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансовою підтримкою як держави, так і бізнесових структур. Основною метою розвитку водневих технологій є зменшення залежності від традиційних енергоносіїв – нафти, газу і вугілля. Ключовою умовою переходу до водневої енергетики є пошук і створення надійних та економічно доцільних паливних елементів на основі водню.

Водень може бути використаний як паливо для будь-яких транспортних засобів (зокрема легкових автомобілів і катерів), а також для задоволення енергетичних потреб будівель (прилади для безперервного живлення) і в якості живлення побутової техніки.

Україна має декілька переваг із водневої енергетики. Це передусім розвинена генерація із відновлювальних джерел енергії як база для виробництва «зеленого» водню, а також атомні електростанції для виробництва «блакитного» водню. Нові технології, до яких відноситься «зелений» водень, використання або збільшення потужностей ГАЕС дозволяють поєднати впровадження менш стабільних ВДЕ (СЕС, ВЕС) із технологіями зберігання. Окрім того, до переваг можна віднести розвинену газотранспортну систему, яка може використовуватися для транспортування водню як в Україні, так і на експорт.

Однак існує інша проблема – чи вистачить на Землі чистої води для масштабного розгортання водневої енергетики і чи не перекреслять матеріальні витрати на водоочищення всі переваги водню як енергоносія?

Як зазначає Херіб Бланко [3], електроліз вимагає мінімум 9 кг води на кілограм водню, або якщо брати до уваги процес демінералізації (для електролізу потрібна лише демінералізована вода), від 18 до 24 кг води на 1 кг готового палива. За іншого популярного способу виробництва водню, так званого парового риформінгу метану (SRM), води витрачається менше – 4,5 кг, однак SRM-установки вимог-

ливі до охолодження, на що також потрібна вода (додатково від 6,4 до 32,2 кг на 1 кг водню).

Ще один компонент, який потрібно врахувати, – споживання води під час виробництва відновлювальної енергії або природного газу, необхідних для вироблення водню. Водоспоживання для фотоелектричних панелей може варіюватися між 50 і 400 літрами на 1 МВт за годину (2,4-19 кг води на 1 кг водню). Для вітрових установок показники є меншими – від 5 до 45 літрів на 1 МВт за годину (0,2-2,1 кг води на 1 кг водню). Водна ємність виробництва природного газу становить 1,14 кг. Загальне споживання води для виробництва водню за допомогою сонячних панелей і вітрових установок у середньому може становити відповідно 32 кг і 22 кг води на кілограм водню.

Якщо взяти за точку відліку споживання води на душу населення і прийняти за середнє значення 400 куб. м води на людину за рік, то для виробництва водню до 2050 року буде необхідно стільки ж води, скільки потрібно населенню середньої європейської країни із 62 мільйонами жителів [4].

Згідно з даними доповіді «Перспективи світового енергетичного переходу» (World Energy Transitions Outlook), підготовленої експертами IRENA, попит на водень до 2050 року становитиме близько 74 Ексаджоулей ( $10^{15}$  Дж), дві третини з яких припадуть на водень, вироблений за допомогою ВДЕ. Нині ця цифра не перевищує 8,4 Ексаджоулей [5].

Якщо всі потреби у водні до 2050 року будуть задоволені за допомогою електролізу, кількість споживання води становитиме близько 25 млрд. куб. м. Для порівняння: в агросекторі поточне водоспоживання становить 2 800 млрд. куб. м, у промисловості – 800 млрд.; у міському господарстві – 470 млрд. куб. м. Поточний обсяг виробництва водню методом риформінгу природного газу та газифікації вугілля вимагає 1,5 млрд. куб. м води.

Апарати для електролізу потребують спеціально підготовленої води високої якості, в іншому випадку вони швидко вийдуть із ладу. Багато елементів електролітичної установки, зокрема мембрана, діафрагма і каталізатори для лугу, чутливі до негативного впливу домішок – заліза, хрому, міді та інших, які містяться у воді.

На підготовку води припадає порівняно невелика частка витрат енергії і вартості. Найдорожча та енергоємна процедура – опріснення. Найпоширеніша технологія – зворотний осмос, на який припадає 70% усіх опріснювальних установок у світі. Вартість опріснювальної установки потужністю 1 куб. м на добу становить близько 2 тис. дол. США, водночас вартість підготовки води методом зворотного осмосу становить приблизно 1 дол. США на куб. м і менше залежно від ціни на електрику в тому чи іншому регіоні. Транспортування може додати до цієї суми ще 1-2 дол. США на куб. м води. Навіть за таких умов частка на підготовку води у вартості виробництва

водню не перевищить 0,05 дол. США на 1 кг водню. Для порівняння: вартість поновлюваного водню нині може становити 2-3 дол. США на 1 кг за використання ВДЕ і 4-5 дол. США – традиційних енергосурсів. Отже, для підготовки води використовується менше двох відсотків загальної вартості електролізу. Використання морської води для таких потреб збільшує частку вартості водопідготовки у 2,5-5,0 разів.

Кількість енергії, необхідної для електролізу, також порівняно невелика у загальному обсязі енергії, яку споживає електролітична установка. Сучасні установки зворотного осмосу потребують близько 3 кВт\*год. на 1 куб. м. Дистиляційні установки витрачають більше – від 40 до 80 кВт\*год. на 1 куб. м. Навіть за найконсервативнішого (енергоємного) сценарію із використанням дистиляторів кількість енергії, потрібної для підготовки води, становитиме близько 0,7 кВт\*год. на 1 кг водню. У відносних кількостях частка водопідготовки у загальних енерговитратах під час електролізу не перевищить один відсоток.

Певну проблему представляє утилізація розсолів, які залишаються після опріснення морської води. Безумовно, для мінімізації можливих впливів на екосистеми їх необхідно додатково переробляти, що може підвищити вартість опріснення води ще на 0,6-2,4 дол. США на 1 куб. м. Окрім того, більш суворі вимоги до якості води для електролізу порівняно із питною водою можуть призвести до подорожчання очищення, проте її частка все одно буде порівняно невеликою.

Щорічні середні потенційні ресурси річкового стоку України оцінюються у 209,8 куб. км, з яких місцевий стік на території України становить 52,4 куб. км. Завдяки нерівномірному розподілу водних ресурсів територією країни значна частина України відноситься до регіонів (переважно південні і східні) з низьким рівнем водозабезпеченості. Для поліпшення розподілу поверхневих прісноводних ресурсів територією країни споруджено 1103 водосховища (їхній загальний об'єм становить 53,5 куб. км), створено 49500 ставків, 7 великих каналів і споруджено 17 зрошувальних систем.

В Україні виділено 3 артезіанські басейни підземних вод і 4 гідрогеологічні провінції складчастих областей. Розрахункові запаси прісних підземних вод дорівнюють 27,4 куб. км, із яких 8,9 куб. км не пов'язані із поверхневим стоком.

Дефіцит прісної води належної якості спостерігається у 13 областях України. Зазначена ситуація загострюється наслідками зміни клімату, який суттєво впливає на сезонний розподіл водних ресурсів і призводить до затяжних посушливих періодів. За даними експертів Інституту місцевого розвитку, нині лише 30,1% сільського населення, 89,9% населення селищ міського типу і 99,2% міського населення мають доступ до централізованого водопостачання. Решта сільського населення використовує воду із вуличних водозабірних колонок (близько

20 відсотків) та користується водою із колодязів та інших джерел (більше 60 відсотків). Нині привізною водою забезпечуються 824 населені пункти у 9 областях, в яких мешкає майже 267 тис. населення [6]. Ці цифри свідчать, що без належного структурного переоснащення систем водопостачання, зменшення споживання води населенням і галузями економіки дефіцит водних ресурсів і їхня якість не зміняться, а можуть істотно загостритися.

Україна поставила собі амбітну ціль – відновити зрошення сільськогосподарських угідь, про що йдеться у розпорядженні Кабінету Міністрів України № 688-р від 14 серпня 2019 року «Про схвалення стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року». У ній зазначається, що у сучасних умовах відновлення зрошення і дренажу є ключовим інструментом розвитку аграрного сектору економіки та нарощування експортного потенціалу України, мінімізації впливу клімату на процеси соціально-економічного розвитку регіонів. Справді, за оцінками Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН агресурсний потенціал України дає змогу виробляти сільськогосподарську продукцію в обсягах, які забезпечать продуктами харчування не менш як 450-500 млн. осіб. Застосування зрошення і дренажу дозволить незалежно від погодних умов підвищити врожайність сільськогосподарських культур у два-три рази порівняно із богарними умовами.

У 2017 році в Україні фактично зрошувалося менше 500 тис. гектарів, двобічне водорегулювання здійснювалося на площі понад 250 тис. гектарів, що становить менше 20 відсотків наявних площ зрошення та 10 відсотків наявних площ дренажу. Наявні водогосподарська і меліоративна інфраструктури (забезпеченість водними ресурсами, пропускна здатність магістральних та розподільних каналів, кількість і продуктивність різних за призначенням насосних станцій тощо) є достатніми для забору та подачі води для поливу не менш як 1,5-1,8 млн. гектарів, відведення надлишкових вод у весняний період із території площею понад 3 млн. гектарів і водорегулювання на площі понад 1 млн. гектарів. Виникає питання: скільки наявних водних ресурсів, доступних для використання, не потребують складних технологічних і фінансових витрат для підготовки і постачання їх споживачу, зокрема на зрошення, без завдання шкоди довкіллю? Такі цифри на офіційному рівні є відсутніми, і ми оперуємо лише наявним місцевим річковим стоком, не маючи достовірних даних за кожним окремим джерелом водопостачання.

У «Звіті про обсяг СЕО для проєкту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» висновок щодо впливу на водні ресурси зроблено такий: «Швидше за все стабілізація водокористування та відповідна стабілізація скидів стічних вод триватиме і надалі. Беручи до уваги дефіцит водних ресурсів, можна припустити, що споживання води буде зменшено. Це важливо для

південних регіонів України, де проблема дефіциту водних ресурсів є найбільш гострою і де розвиватиметься виробництво зеленого водню за допомогою електролізу». Хоча у рекомендаціях до цього звіту є пропозиція про те, що у проєкті Дорожньої карти все ж таки має бути врахований вплив життєвого циклу виробництва водню (наприклад, утилізація матеріалів) на довкілля, включаючи водопостачання і землекористування.

Інтегрований підхід до управління водними ресурсами, визначений на законодавчому рівні як базовий у водній політиці, так і не став дороговказом під час розробки галузевих стратегій і програм.

Наразі експерти пропонують декілька потенційних місць розташування виробництв водню в Україні. Проте майже усі варіанти мають ознаки нездійснених навіть без відповідних розрахунків. Це ставки-охолоджувачі АЕС, зокрема і в Чорнобильській зоні, гирла річок (Дунай, Дніпро), шахтні води Донбасу і Криворізького залізничного басейну. Енергетики працюють над пошуком найефективнішої технології електролізу з метою зменшення споживання води за отримання більшої кількості водню.

Вітровий проєкт із виробництва «зеленого» водню в Україні, потужності якого побудують на півночі Рівненської області, анонсували у квітні 2021 року. Під час конференції «Перехід від «зеленого» тарифу до ринкових умов» проєкт представила компанія MCL, яка розробляє об'єкти генерації електричної енергії з ВДЕ. Майбутній вітропарк «Володимирець» складатиметься з 12 інноваційних вітротурбін по 6 МВт кожна, із загальною потужністю 72 МВт. Генератори розташовуватимуться біля села Довговоля Вараського району Рівненської області. Спеціалісти MCL інформують, що прогнозоване виробництво електроенергії складатиме біля 230 ГВт-год. на рік.

За допомогою електричної енергії, яку вироблятимуть вітрогенератори, воду у промислових електролізерах розподілятимуть на кисень і водень. Далі отриманий «зелений» водень планують зріджувати і транспортувати споживачеві.

Наразі менеджери проєкту проводять техніко-економічні розрахунки дільниці з виробництва «зеленого» водню, а саме обирають тип і потужність основного (електролізера) та інфраструктурного технологічного обладнання (зокрема системи накопичення і зберігання електроенергії), триває вибір земельної ділянки з урахуванням оптимальної логістики. Оскільки процес електролізу потребує значних обсягів води, наразі у двох потенційних локаціях, де планується розміщення майбутнього заводу, проводять гідрогеологічні дослідження запасів підземних вод.

Представлений проєкт викликає низку питань. По-перше, необхідно нагадати, що підземні води – стратегічний запас питної води України. По-друге, північ України вже потерпає від дефіциту водних

ресурсів унаслідок проведеної за радянських часів масштабної осушувальної меліорації на Поліссі, неконтрольованої вирубки лісу, зміни рельєфу внаслідок варварського видобутку бурштину. Ці процеси, а також зміна клімату спричиняють зниження рівня підземних вод, порушення їх гідравлічного зв'язку із поверхневими водоймами, про що свідчать зникаючі на наших очах озера Полісся. Тому, на нашу думку, для виробництва водню потрібно використовувати не чисті підземні води, а забруднені внаслідок економічної діяльності, наприклад, високомінералізовані та не придатні для використання без належного і вартісного очищення. На жаль, наведений приклад свідчить, що виробники, орієнтуючись на видобуток «зеленого водню» з використанням вітрової енергії, не мають стратегічного мислення і підходів до такого життєво важливого ресурсу, як водний [7].

**Головні висновки.** На наш погляд, нині питання кількості водних ресурсів для розвитку економіки України не вивчено. Планування розвитку країни здійснюється без чіткого розуміння, яким водним капіталом у кількісному та якісному вимірах володіє держава, які потреби у воді можна задовільнити, не завдавши шкоди водним екосистемам, не виснажуючи або забруднюючи наявні водні ресурси. Ще не

зникла ілюзія, що водних ресурсів у країні вистачить на всі потреби. І хоча фахівці давно вже говорять про те, що Україна не досить забезпечена водними ресурсами, до цього часу немає адекватної оцінки цієї ситуації і стратегічного бачення шляхів збереження і примноження водного багатства країни.

Серед основних економічних принципів управління водними ресурсами, які впроваджують країни ЄС і світу, відомі такі: забруднювач платить за забруднення, споживач платить за спожиту воду, вода платить за воду, а ціна за воду формується на основі собівартості. Які з таких принципів, а також економічні інструменти ефективно працюють в Україні? Здається, що вода у системі економічних цінностей поки що не знайшла своє відповідне місце і не «дотягує» до вартості енергоносіїв.

Будь-які амбітні плани розвитку галузей економіки мають враховувати наявні природні ресурси і вплив на них новітніх технологічних рішень, а саме розвиток виробництва водню. Якщо Україна таки обрала шлях розбудови і впровадження новітніх технологій в енергетиці, то потрібно невідкладно визначитися із можливостями водних екосистем і ретельно обрахувати наявні водні ресурси для всіх напрямків економічного розвитку.

#### Література

1. Звіт про обсяг CEO для проекту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» URL: [https://unece.org/sites/default/files/2021-06/SEA%20scoping%20report\\_final%20version\\_UKR\\_rev\\_clean.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-06/SEA%20scoping%20report_final%20version_UKR_rev_clean.pdf).
2. Атлас енергетичного потенціалу ВДЕ України. Український інститут майбутнього. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Ay1otLjiiQelPKxSqfir2rYwGIKxSg/view>.
3. Hydrogen production in 2050: how much water will 74EJ need? *ENERGYPOST.EU* URL: <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need>.
4. Water withdrawals per capita worldwide as of 2019, by select country (in cubic meters per inhabitant) *ENERGYPOST.EU* URL: <https://www.statista.com/statistics/263156/water-consumption-in-selected-countries>.
5. World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway *IRENA.ORG* URL: <https://www.irena.org/publications/2021/jun/world-energy-transitions-outlook>.
6. Стратегія розвитку водної політики України – Водна Стратегія Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України URL: [https://mepr.gov.ua/files/KMU\\_Water%20Strategy\\_new.pdf](https://mepr.gov.ua/files/KMU_Water%20Strategy_new.pdf).
7. Українські розробники вже готові пропонувати водневі проекти інвесторам. *UA-ENERGY.ORG* URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrainski-rozrobnyky-vzhe-hotovi-proponuvaty-vodnevi-proekty-investoram>.