УДК 621.311+ 620.92 https://doi.org/10.33271/crpnmu/75.085

© Я.В. Ярошенко[1], О.В. Бобров[2], А.А. Колб[1], Д.В. Ципленков[1], А.М. Гребенюк[3], А.Ю. Лобода[1]
[1] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
[2] Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського Національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна
[3] Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ, Дніпро, Україна

ВОДЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

© Ya. Yaroshenko[1], O. Bobrov[1], A. Kolb[1], D. Tsyplenkov[1], A. Hrebeniuk[3], A. Loboda[1]
[1] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
[2] Rocket-and-Space Engineering College of Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
[3] Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs, Dnipro, Ukraine

HYDROGEN AND PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY

Мета. Обґрунтування необхідності впровадження воднево-акумулюючих станцій задля більш ефективної децентралізації енергетичного сектору держави.

Методика. Для досягнення мети роботи виконаний всебічний огляд стану електроенергетики України з точки зору акумулювання енергії та використання водню в якості відновлюваного джерела кінетичної енергії з урахуванням реальних показників енергосистеми України.

Результати. За результатами дослідження встановлено, що воднева енергетика здатна відігравати ключову роль у сталому розвитку енергетичного сектору Україні. Для подальшого післявоєнного відбудуванню та переходу на новий, більш якісний рівень енергетичного сектору, нашій державі будуть необхідні промислові технології накопичення електроенергії. За техніко-економічними показаннями доцільним є розвиток технологій виробництва водню в промислових масштабах на основі децентралізованих і централізованих технологій виробництва, оскільки збільшення використання енергії з низьким вмістом вуглецю необхідне для сталого зростання.

Наукова новизна полягає у систематизації та науковій обґрунтованості умов для ефективного створення регулюючих систем в енергетиці України на основі пневмоакумілюючих станцій з використанням водню, як носія кінетичної енергії.

Практичне значення. Отримані результати визначають основні шляхи майбутнього впровадження на промисловому рівні водневих накопичувачив для збалансування енергосистеми України шляхом накопичення надлишкової енергії, виробленої в непіковий час, або при мінімальній потужності навантажень в мережі. задля більш ефективної децентралізації енергетичного сектору держави.

Ключові слова: *електроенергетика, відновлювальні джерела енергії, електростанція, електропостачання, альтернативна енергетика, рентабельність, маневреність, коефіцієнт, акумуляція, водень.*

Вступ. На шляху пошуку ідеального джерела енергії, людство здійснило вже чимало вдалих та не дуже кроків. Після відкриття «мирного атома» минули вже десятиліття, але атомні електростанції (АЕС) і сьогодні залишаються одними з основних джерел вироблення електроенергії в світі. Сьогодні, життя людини безпосередньо пов'язане з енергоресурсами. Чи то використання електрообладнання в побуті, чи в медицині або іншій галузі. Проте, одним з питань, котре необхідно вирішити вже найближчими десятиліттями це не кількість/якість електроенергії, що виробляється (хоча це також) а саме, яким чином зберігати вироблену надлишкову електроенергію, щоб використати її, наприклад у найбільш необхідний момент. Мова надалі піде про акумуляцію електроенергії.

Основна частина. Однією з найважливіших частин програми 12-го Українського енергетичного форуму у 2021 році була 1-ша сесія, частина якої присвячена планам дій для всього енергетичного сектору. На 13-му Енергетичному форумі, який мав-би пройти у 2022 році, повинно було бути представлено оновлення плану розвитку енергетики України, який включав би в себе чіткий алгоритм дій стосовно процесів декарбонізації, диверсифікації та впровадження нових технологій у сфері альтернативної енергетики. Тому, слід зазначити, що плановий розвиток на шляху до реалізації «Енергетичної стратегії 35» було почато ще 2017 року [1, 2].

Початок повномасштабної війни між Україною та Росією, спонукав нашу державу завершити процес інтеграції з енергетичною системою ЄС у більш короткі терміни, ніж планувалося від початку. І, вочевидь, наразі ще рано говорити про повернення до розвитку новітніх технологій на державному рівні у енергетичному секторі, адже сьогодні потрібно зберегти те, що є. Проте вже «завтра» ми можемо зіткнутися з новими-старими проблемами, а саме, неекологічність виробництва електроенергії, відсутність новітніх технологій в широкому спектрі промисловості та приватному секторі, та багато інших [2–4].

У своїй «базовій» конфігурації енергосистема не враховувала наявність акумулюючих потужностей, а основну роль у балансуванні та, відповідно, акумуляції відігравали гідроелектростанції та комплекси на їх основі (ГЕС та ГаЕС). Серед позитивних параметрів згаданих об'єктів зазвичай прийнято виділяти високу маневреність гідроелектростанцій і високий рівень екологічності при експлуатації. Якщо говорити про маневреність, то слід розуміти, що це означає – здатність повністю контролювати ситуацію в енергомережі (диспетчеризація, автоматизація) та змінювати кількість виробленої електроенергії через певні проміжки часу, в разі необхідності [5].

Якраз пункт, що йде в сегменті автоматизації, маневренності дає можливість реалізувати «нетрадиційна» енергетика. Адже за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) можна створювати децентралізовані енергетичні мережі, через їх автономність, можливості різновекторного електропостачання, як наприклад за рахунок сонячних електростанцій чи інших потужностей зеленої енергетики. На фоні багатьох факторів, у тому числі перерахованих вище, частка відновлюваних джерел енергії в загальних енергомережах провідних країн світу з кожним роком зростає. Та разом з цим зростає і ще більше занепокоєння, щодо

перевиробництва з відновлюваних джерел, що не відповідає своєчасному погодженню електричних навантажень. І, якраз, за думкою багатьох впливових як дослідників та науковців, так і підприємців та девелоперів, саме енергетичні системи на основі Водню мають потенціал для підтримки «балансу» в кожному з цих секторів; а їх, нагадаємо, розглядається декілька, а саме: виробництво, зберігання, постачання та споживання енергії [3, 6, 7].

Воднева енергетика. Викопне паливо вже багато років забезпечує електроенергією та теплом промисловість, транспорт і нас, побутових споживачів. При цьому використання «брудного» палива викидає в атмосферу 73% усіх зафіксованих випадків потрапляння в неї парникових газів. За 150 років це значно посилило парниковий ефект і призвело до кліматичної кризи. Щоб пом'якшити наслідки та адаптуватися до зміни клімату, держави створюють власні стратегії нульових викидів, які включають енергоефективність, відновлення екосистеми та розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). За таку амбітну мету взялися країни від Південної Африки та Великої Британії, Німеччини до Японії, а нещодавно й Україна, яка оголосила про довгострокову мету досягти нульових викидів до 2060 року [7, 8].

Світовий енергетичний сектор зараз переживає період значних структурних змін. Щорічне впровадження потужностей ВДЕ стабільно зростає, водночас сектор відчуває тиск через зростання цін на викопне паливо. Занепокоєння світу щодо зміни клімату продовжує зростати, і було оголошено про довгострокові контракти на постачання відновлюваної енергії за найнижчими цінами. Також значно зросла увага до технологій зберігання енергії. Слід зазначити, що альтернативна енергетика, зокрема сонячна та вітрова, швидко витісняє традиційні джерела енергії завдяки інтеграції в економіку розвинутих країн. І, звичайно, повномасштабне вторгнення Росії в Україну наприкінці лютого 2022 року також спричинило значний зсув в бік деградації енергетичних секторів провідних економік світу. Адже «енергетичний тероризм» впливає негативно, як на самих агресорів, так і всіх інших учасників сталих ланцюгів постачання, які на сьогодні вже важко назвати дійсно сталими.

Проте, так звана система трьох «Д» (декарбонізація, дерегуляція та диверсифікація), все-одно залишається основним вектором розвитку глобальних тенденцій світової енергетики.

У цей час водень став новою «зіркою» на світовій арені вирішення кліматичних криз. За словами представників великих галузей промисловості та багатьох урядів, це може бути ключем до стабільної декарбонізації економіки [6].

В 2021 році уряди та компанії робили численні заяви щодо намірів по розширенню водневої галузі. Тема водневої енергетики набула популярності. Деякі люди продовжують вірити, що незабаром водень стане звичною частиною нашого життя і дозволить усім нашим підприємствам, які використовують вуглець, стати кліматично нейтральними. Для розуміння такої значної популяризації водню, слід зазначити декілька фактів про цю речовину:

–незважаючи на те, що водень майже повністю не існує в природі в чистому вигляді, він є найпоширенішим елементом у Всесвіті. Його містять вода,

вуглеводні та інші органічні речовини. Тому основною перешкодою для використання водню як енергоносія є його відділення від цих молекул [9].

– сьогодні більшість водню виробляється з природного газу на підприємствах, де це практично з економічної точки зору. Процес електролізу також можна використовувати для отримання водню з води, але він споживає багато електроенергії та води [10].

– водень розглядають як енергоносій, який можна транспортувати та накопичувати, а не як основне джерело енергії [9, 10].

Загалом, можна констатувати вище наведену інформацію так, - технології водневої енергетики можна використовувати для виробництва, переміщення, зберігання та використання вторинного носія енергії водню. Здатність виробляти електроенергію екологічно чистим способом і зберігати її протягом тривалого часу без втрат, у тому числі у великих масштабах, визначає використання водню як вторинного джерела енергії. Після перших нафтових і паливних криз, на початку 1970-х років XX століття, розроблялося питання про використання водню як перспективного, універсального, екологічно безпечного переносника і накопичувача енергії в різних галузях народного господарства, тож стало очевидним, що нові екологічно безпечні енергетичні технології, засновані на невикористанні атомної енергії, вугілля, а навпаки, універсальних екологічно чистих енергоносіїв, необхідні для заміни невідновлюваних джерел енергії, оскільки вони виснажуються і дорожчають. І сьогодні в 2023 році, ці питання почали звучати з новою силою.

Можливості використання водневої енергетики в Україні, виглядають наступним чином:

Для початку слід звернути увагу на доповідь ‘Служби Статистики Європейського Союзу’ від 2022 року (05.2022). Отже, Україна за своїм потенціалом здатна виробляти більш ніж 70 відсотків загальної електроенергії від відновлювальних джерел, проте станом на 2021 рік цей показник не перевищував навіть 10%. Навіть незважаючи на значний вплив, за останні 10 років, на впровадження нових потужностей альтернативної енергетики на території України - наша держава, нажаль, посідає одне із останніх місць по продукуванні потужності «зеленої енергетики». За 2022 рік розглядати інформацію можна лише для статистики, адже через війну, отримати реальні дані в цьому сегменті неможливо. Там само як і щось прогнозувати.

Одним із головних завдань уряду у 2017 році було отримати 25% частки енергії з відновлюваних джерел у загальному обсязі первинного енергопостачання до 2035 року [7]. Для реалізації цього плану Україна поставила завдання до 2020 року отримати не менше 11% «зеленої» енергії в кінцевому енергоспоживанні. Але навіть у 2021 році цілий ряд причин не дозволив цьому статися. 24 лютого 2022 року почалася повномасштабна війна проти Росії і, в тому числі через це, наша держава була ще більше відкинута в часі стосовно розвитку енергосистеми. Та все ж навесні 2022 року українську електромережу приєднали до європейської.

Не варто забувати й, що енергетична галузь, безсумнівно, зазнає реформ, є впевненість, що широке впровадження передових технологій зберігання електроенергії стане одним із ключових етапів у розвитку нашої майбутньої, незалежної та екологічно безпечної енергетичної системи. Адже, якби там не було, вся передова аналітика [10–14] говорить про те, що Україна має дуже великий потенціал для ВДЕ. Швидкість децентралізації в енергетичному секторі буде помітно прискорена та якісно збільшена, якщо навіть наявні потужності СЕС використовуватимуться для накопичення електроенергії в різних масштабах.

Оскільки частина українських територій, де встановлені об'єкти ВДЕ, все ще окупована, стверджувати про стан об'єктів генерації абсолютно неможливо. Що стосується нетрадиційної, зеленої енергетики, то вона сьогодні явно погіршилася. Натомість, згідно з «Енергетичною стратегією 35», загальний обсяг «зелених» потужностей в Україні станом на 1 липня 2021 року становив 8150 МВт [13]. Відповідно до рис. 1 відсоток вироблення ВДЕ в загальній українській енергосистемі, становить лише 8,5% без урахування найбільших ГЕС і ГаЕС, важко уявити, скільки енергії буде вироблено, коли цей відсоток все ж перетне поріг у 25%. Потужності ВДЕ в Україні наведено на рис. 2.

Рис. 1. Структура виробництва електроенергії за 2021-й рік в Україні

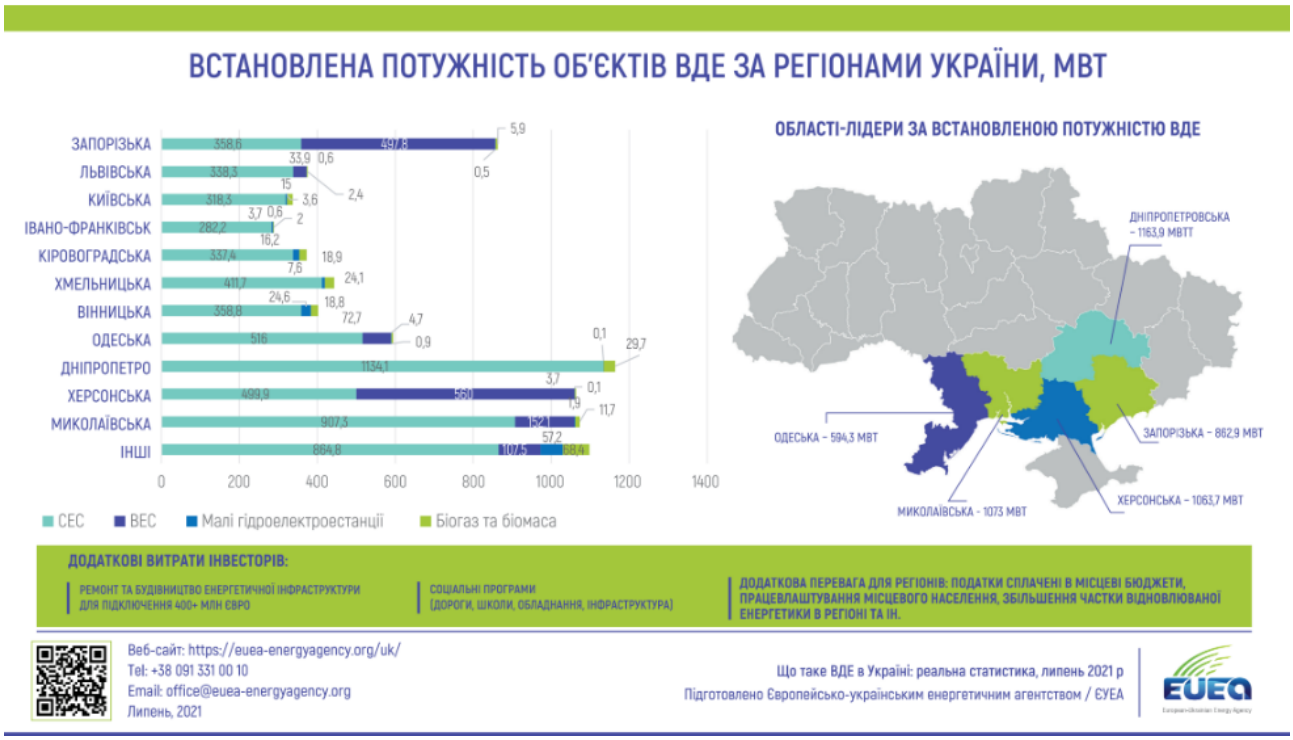

Рис. 2. Структура виробництва електроенергії за 2021-й рік в Україні [15]

Як видно з рис. 2 найбільше потужностей встановлено в південних регіонах нашої держави. То чому б не використати надлишкову енергію, з, наприклад сонячних електростанцій, для формування запасу? Для цього можна використати водень – наприклад *водневo-акумулюючі станції.* Основне джерело енергії, сам процес виробництва водню, системи зберігання та водневі електростанції зазвичай вважаються ланками одного ланцюга. Що стосується використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), то цей цикл зазвичай зводиться до виробництва водню за допомогою електролізу, його зберігання у стисненому або твердотільному так званому – «зв'язаному» вигляді та виробництва електроенергії за допомогою паливних елементів або установок, що спалюють воду (включаючи систему внутрішнього згоряння, двигуни).

І, якщо вже мова йде про зменшення викидів, то слід привести хімічне розуміння процесу, що пропонується вище, а саме – електроліз. Виглядає він наступним чином:

Процеси на катоді (негативно заряджений)

$$2H_2O + 2e^- = H_2 + 2OH^-;$$

Процеси на аноді (позитивно заряджений)

$$2H_2O - 4e^- = O_2 + 4H^+ ;$$

Схема електролізу води

$$2H_2O = 2H_2 + O_2.$$

Вище наведений найпоширеніший спосіб електролізу води – електроенергія пропущена через електричне коло з катодом і анодом створює рух позитивно

заряджених катіонів [14] до катода, де вони проходять процес електрохімічного відновлення, а негативно заряджені часточки (аніони) рухаючись по аноду [14] окиснюються. Тобто, в даному випадку вода, під дією електричного струму дозволяє отримати водень – що є носієм енергії, мова про який і йде.

Перелік основних характеристик водню виглядає так:

– безбарвний газ;

– не має запаху;

– малорозчинний у воді;

– найбільш легкий серед усіх газів, має високий діапазон займистості;

– має високу щільність енергії за вагою, але низьку щільність за об'ємом у порівнянні з дизельним паливом чи метаном, тож для його зберігання розробляються спеціальні методи та технології [10].

Така система передбачається не лише для довгострокового зберігання енергії, але й для згладжування основних змін, пов'язаних зі зміною природи ВДЕ. Він розглядається як буфер між електричною мережею та ВДЕ.

Для подальшого продовження думки, пропонується звернути увагу на різновиди агрегатних станів речовин, на рис. 3

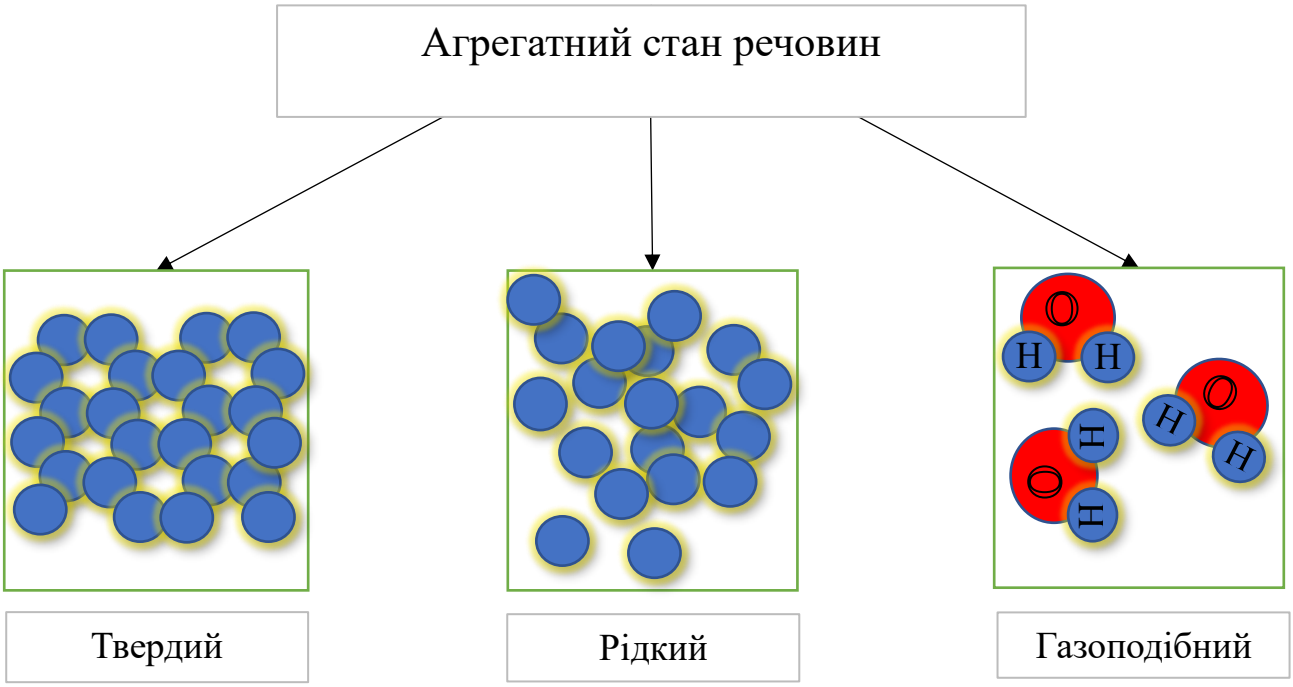

Рис. 3. Агрегатні стани речовини

З хімії, всім відомі три основні [16] агрегатні стани, а саме: твердий, рідкий та газоподібний. При взаємодії цих станів з будь-якими збудниками, як з навколишнього середовища, так і в лабораторних умовах, в кожного з трьох проявляються різні властивості, які наведені в таблиці 1 нижче:

Таблиця 1

Властивості речовин у різних агрегатних станах

Агрегатний стан	Властивості		
	Стиснення	Форма	Об'єм
Газоподібний	Стискається	Не зберігається	Займається весь наданий об'єм
Рідкий	Практично неможливо	Зберігається	Не зберігається
Твердий	Практично неможливо	Зберігається	Зберігається

З огляду на представлену інформацію на рис. 3 та табл. 1 стає зрозумілим, що у разі потреби можна доволі зручно отримати водень на борт транспортного засобу, його також можна зберігати в хімічних сполуках з високим вмістом водню або в чистому вигляді. Стиснення газу або процедура стиснення й охолодження в поєднанні та зрідженням водню може відбуватися двома методами зміни властивостей або загального стану водню. Оскільки водень має низьку критичну температуру, його необхідно охолодити нижче 20 К, щоб зберігати його в рідкому стані в контейнерах без тиску.

Абсорбція газоподібного водню відповідним адсорбентом, таким як активоване вугілля, призводить до утворення сполук з високою концентрацією водню. Прикладами таких сполук є молекули з міцним водневим зв’язком, які потребують використання складних хімічних процедур для вилучення водню, на кшталт метанол, етанол, аміак, а також воду, яку можна розглядати як «носій» водню.

Також можна використати водень у комбінації з металами, адже при отриманні гібридних металів і зв’язків типу «водень» = «метал», можна використовувати властивості зворотнього абсорбування та десорбування водню при змінах температур [2, 14].

Звичайно що на фундаментальні техніко-економічні аспекти як окремих установок, так і системи зберігання істотно впливають характеристики первинних джерел енергії та графіки споживання. Порівняно з іншими технологіями зберігання енергії, накопичення водню має відносно низьку ефективність (40…60%). Однак цей недолік компенсується перевагами водневих систем, які включають здатність зберігати енергію протягом тривалого періоду часу без будь-яких втрат, що неможливо з хімічними джерелами струму, високою щільністю зберігання енергії та меншим капіталом витрат, ніж пневмоакумуляторні електростанції (ПаЕС) та ГаЕС.

Водень часто зберігається в стисненому стані; промислово розроблені та виготовлені системи зберігання мають тиск понад 70 МПа. Через низький тиск водню, який виробляється, необхідно використовувати компресор, що збільшує енергію, необхідну для виробництва кінцевого продукту. В даний час поршневі компресори, які є неефективними, використовуються для стиснення водню більшу частину часу. Наприклад, ККД двигуна становить 92%, а адіабатичний

ККД компресора – 55% для водневої станції з добовою продуктивністю 1000 кг. У результаті станція використовує майже 11,5% своєї водневої енергії для стиснення газу.

Виходячи з вищезазначеної інформації, можна зробити висновок, що встановлені та приєднані генеруючі потужності на основі ВДЕ стрімко зросли в Україні за останні чотири-п'ять років. Але потрібне комплексне та методичне вирішення проблеми енергонезалежності країни. Також війна відкинула нашу державу на роки назад, проте навіть не зважаючи на все, можливо все переоблаштувати і переналагодити і довести до європейського рівня, адже українська енергомережа вже є частиною європейської мережі.

Що стосується ВДЕ, то слід додати, що оскільки основним недоліком систем генерації електроенергії на основі ВДЕ є їх періодичність (день/ніч, зима/літо), існує проблема не лише збалансування енергосистеми України, а й накопичення надлишкової енергії, виробленої в непіковий час, (особливо) влітку, або при мінімальній потужності навантажень в мережі.

Не виключено, що в найближчому майбутньому електроенергетика не зможе задовольнити всі наші потреби за допомогою звичайних регуляторів і гнучких можливостей, таких як Дністровська ГЕС і Дніпровський каскад гідроелектростанцій. У результаті пропонується використовувати різноманітні накопичувальні та регуляторні системи, які базуються на різних технологіях. Найбільш перспективною є техніка, заснована на гідролізі води та водневих системах, приклад наведено вище. Адже їх застосування не тільки екологічно є більш безпечним, але і перспективно більш економічно вигідним як для продавця так і для покупця електроенергії. Також пропонується звернути увагу на фактори які сприяють формуванню ціни, так званого «зеленого» водню, а якраз про нього мова і йде.

На вартість виробництва «зеленого» водню впливають різні фактори, серед яких можна відокремити наступні (рис. 4).

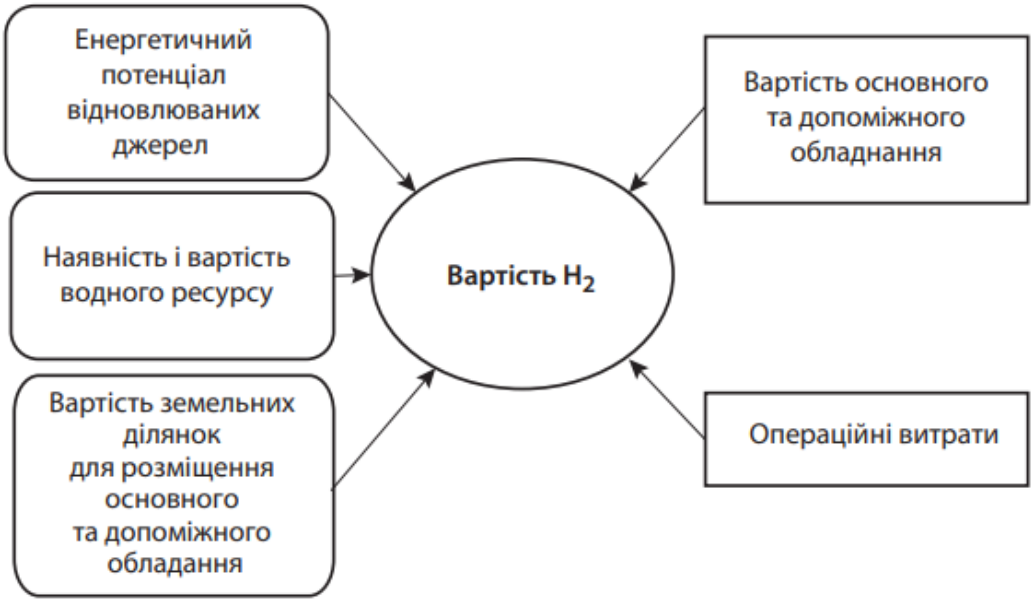

Рис. 4. Вплив факторів на вартість «зеленого» водню [8]

Відповідно до інформації, наведеній у роботі [8] де Тащеєв Ю. В., Войтко С. В., Трофименко О. О., Рєпкін О. О., Кудря Т. С досліджували глобальні тенденції розвитку водневих технологій в енергетиці, ними було проведено аналіз і економічних складових, на основі яких можна провести прогнозуванню кількості, якості та вартості вироблення водню електролізерами. В таблиці 2 наведено прогнозні значення техніко-економічних показників виробництва «зеленого» водню [8, 17].

Єдиний спосіб зменшення вартості «зеленого» водню – скоординована діяльність уряду та приватного сектору на рівні держави, на рівнях ЄС. Водень може запропонувати енергію для секторів, які не підходять для електрифікації, і забезпечити зберігання для балансування змінних потоків відновлюваної енергії. Розвиток відновлюваного водню є головним пріоритетом. Цей водень виробляється здебільшого за допомогою енергії вітру та сонця [8, 14, 18].

Таблиця 2

Прогнозні значення техніко-економічних показників виробництва «зеленого» водню

Період виробництва, рр.	**Капітальні витрати (євро/кВт)**	**Операційні витрати/рік, %**	**Ефективність системи**	**Електроенергія (€/МВт · год)**	**Водень (євро/кг)**
2020…2025	300...600	1,5%	75...80%	25...50	1,5...3,0
2025…2035	250...500	1%	80...82%	15...30	1,0...2,0
до 2050 р	< 200	< 1%	> 82%	10...30	0,7...1,5

Висновки. Дослідження світових тенденцій, звіти провідних організацій і правові системи розвинутих країн дозволяють стверджувати, що використання водню є потенційним варіантом низьковуглецевої енергетики зі стратегічної точки зору. Однак у коротко- та середньостроковій перспективі інші види використання водню необхідні для швидкого скорочення викидів і стимулювання розвитку ринку. Домогосподарства вже зробили опосередкований внесок у розвиток основних компонентів системи постачання воднем як промисловості, так і споживачам. Було виявлено, що виробництво водню рекомендується, коли ця технологія тісно поєднується з іншими технологіями відновлюваних джерел енергії та традиційною енергією [8]. Дуже важливо розглянути, чи буде «сірий» або «зелений» водень використовуватися для отримання енергії з точки зору екології, адже оскільки збільшення використання енергії з низьким вмістом вуглецю необхідне для сталого зростання. За техніко-економічними показаннями доцільним є розвиток технологій виробництва водню в промислових масштабах на основі децентралізованих і централізованих технологій виробництва, оскільки збільшення використання енергії з низьким вмістом вуглецю необхідне для сталого зростання. За техніко-економічними показаннями доцільним є розвиток технологій виробництва водню в промислових масштабах на основі децентралізованих і централізованих технологій виробництва.

Перелік посилань

1. *12-й Міжнародний Український енергетичний форум Інституту Адама Сміта»*. (2021). https://euea-energyagency.org/uk/novyny-ta-podiyi/novyny-rynku/12-j-mizhnarodnyj-ukrayinskyj-energetychnyj-forum-instytutu-adama-smita/
2. *Проект розробки «Української енергетичної стратегії до 2050 року».* (n.d.). https://home.kpmg/ua/uk/home/media/press-releases/2021/07/kpmg-v-ukrayini-vyhrala-proyekt.html
3. *Вимоги сучасності – технічна необхідність та економічна доцільність модернізації ринку електричної енергії* (2017). http://cigre.org.ua/files/2017.09.28_06.suchasni-elektro--akumulyuyuchi-sistemi----dlya-nadannya-dopomijnih-poslug--v-oesukrayini.pdf.
4. Ярошенко, Я.В., Бобров, О.В., & Ципленков, Д.В. (2022). Огляд стану електроенергетики України. *Збірник наукових праць НГУ, 69*, 193–205. https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.193
5. Базєєв, Є.Т., Білека, Б.Д., & Васильєв, Є.П. (2011). *Енергетика: історія, сьогодення та майбутнє. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики. Монографія.* ТОВ "Редакція "Енергетика: історія, сьогодення та майбутнє".
6. Eichman, J., Townsend, A., & Melaina, M. (2016). *Economic Assessment of Hydrogen Technologies Participating in California Electricity Markets*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). https://doi.org/10.2172/1239543
7. *Українська енергетична стратегія 2035*. (2017). КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text
8. Тащеєв, Ю. В., Войтко, С. В., & Трофименко, О. О. (2020). Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості. *Бізнес Інформ*, *8*(511), 103–114. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114
9. *Bellona Report: "Hydrogen – Status and possibilities"*. (n.d.). http://www.interstatetraveler.us/Reference-Bibliography/Bellona-HydrogenReport.html
10. *Чи врятує водень від зміни клімату?* (n.d.). https://ecoaction.org.ua/chy-vriatue-voden-klimat.html
11. *Повернення до вугільної промисловості*. (2022). https://www.epravda.com.ua/publications/2022/07/29/689770/
12. *Renewable energy market update outlook for 2022 and 2023*. (2022). https://saee.gov.ua/uk/news/4229
13. *Energy productivity*. (2020). Eurostat. https://doi.org/10.2908/T2020_RD310
14. *Використання вторинних енергоресурсів та систем акумуляції енергії в промисловості України*. (n.d.). http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_2/page16.html
15. *Європейсько-українське енергетичне агентство. Аналітика*. (n.d.). https://euea-energyagency.org/uk/
16. Опейда, Й, & Швайка, О. (2008). *Глосарій термінів з хімії*. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: «Вебер».
17. *Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective* (2020). Hydrogen Council: Brussels, Belgium. https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

ABSTRACT

Purpose. substantiating the need to implement hydrogen storage stations for more effective decentralization of the state's energy sector.

Research methodology. To achieve the goal, a comprehensive review of the state of the electric power industry of Ukraine from the point of view of energy accumulation and the use of hydrogen as a renewable source of kinetic energy was carried out, taking into account the real indicators of the energy system of Ukraine.

The results. Based on the results of the study, it was established that hydrogen energy can play a key role in the sustainable development of the energy sector in Ukraine. For further post-war reconstruction and transition to a new, higher-quality level of the energy sector, our country will need industrial technologies for storing electricity. According to technical and economic indications, it is advisable to develop hydrogen production technologies on an industrial scale based on decentralized and centralized production technologies, since increasing the use of low-carbon energy is necessary for sustainable growth.

Scientific novelty consists in the systematization and scientific validity of the conditions for the effective creation of regulatory systems in the energy sector of Ukraine based on pneumatic storage stations using hydrogen as a carrier of kinetic energy.

Practical value. The obtained results determine the main ways of the future introduction of hydrogen accumulators at the industrial level to balance the energy system of Ukraine by accumulating excess energy produced in off-peak hours or at the minimum capacity of loads in the network. for more effective decentralization of the energy sector of the state.

Keywords: *electric power industry, renewable energy sources, power plant, power supply, alternative energy, profitability, maneuverability, coefficient, accumulation, hydrogen.*