

*Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.*  
*Ефективна економіка. 2024. № 10.*

**DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.10.73>**

**УДК 330.332:338.2**

*О. В. Дмитрієва,  
аспірант кафедри економічної теорії,  
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9274-4720>*

## **СВІТОВА ПРАКТИКА ТА МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО У РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕКОНОМІКИ КРАЇН СВІТУ**

*О. Dmitrieva,  
Postgraduate student of the Department of Economic Theory,  
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman*

## **GLOBAL PRACTICE AND INTERNATIONAL COOPERATION IN THE DEVELOPMENT OF THE HYDROGEN ECONOMY OF THE COUNTRIES OF THE WORLD**

*В статті висвітлено специфіку водневої економіки як частини глобального переходу до чистої енергетики, яка швидко розвивається в багатьох країнах світу. Аргументовано водень перспективним джерелом енергії, оскільки він є екологічно чистим і може бути вироблений з різних джерел, включаючи відновлювані ресурси. Доведено актуальність проблематики використання водню, що набуває широкого дискурсу не лише у науковців та професіоналів енергетичного сектору, а й інших дотичних секторів, що борються за декарбонізацію економіки.*

*Констатовано стратегічні пріоритети Європейського Союзу у зменшенні викидів вуглецю на 80-95% до 2050 року в порівнянні з 1990 роком. Підкреслено суспільну важливість європейських ініціатив, що передбачає практично повну декарбонізацію виробництва електроенергії та збільшення частки відновлювальних джерел енергії. Визначено доцільність міжнародного співробітництва країни, які підписали Паризьку угоду про зміну клімату у 2015 році, із зобов'язаннями вжити додаткових заходів для зменшення викидів в атмосферу.*

*Доведено, що зниження витрат на відновлювані джерела енергії сприяє зростанню потенціалу водню у світі. Розглянуто досвід країн світу, які ставлять перед собою амбітні цілі щодо виробництва електроенергії з низьковуглецевих джерел. Акцентовано увагу на ефективності стратегій успішних світових лідерів розбудови водневої економіки - країн та регіонів, а саме: Південної Австралії, яка планує до 2025 року створити енергетичну систему, що на 100% складається з низьковуглецевих джерел; Швеції — до 2040 року, Каліфорнії — до 2045 року, а Данія — до 2050 року. Обґрунтовано пріоритетну роль та значення стратегічно важливого переходу економік країн на альтернативні види енергії, зокрема, на водневу енергетику.*

*Встановлено, що розвиток водневої економіки залежить не тільки від наявності природних ресурсів. Ефективним механізмом розвитку водневої економіки визначено міжнародне партнерство за участю різних міжнародних організацій, урядів, приватних компаній та науково-дослідних установ, діяльність яких спрямована на стратегічно важливі вектори стимулювання досліджень, впровадження інноваційних технологій, розробки нормативної документації та фінансування водневих проектів.*

*Автором запропоновано комплексний підхід до забезпечення ефективного розвитку водневої економіки, реалізація якого передбачає системне дотримання таких базових критеріїв, як гарантована політична підтримка та стратегічне планування, активізація інвестицій у наукові*

*дослідження та інновації, функціонування розвиненої інфраструктури, створення економічних стимулів та міжнародне співробітництво.*

*The article highlights the specifics of the hydrogen economy as part of the global transition to clean energy, which is rapidly developing in many countries of the world. Hydrogen is said to be a promising energy source because it is environmentally friendly and can be produced from a variety of sources, including renewable resources. The relevance of the problem of hydrogen use, which is widely discussed not only among scientists and experts in the energy industry, but also in other related industries fighting for the decarbonization of the economy, has been proven.*

*The European Union's strategic priorities for reducing carbon emissions by 80-95% by 2050 compared to 1990 have been determined. The social importance of European initiatives is emphasized, which provides for almost complete decarbonization of electricity production and an increase in the share of renewable energy sources. The expediency of international cooperation of countries that signed the Paris Agreement on climate change in 2015, with obligations to take additional measures to reduce emissions into the atmosphere, was determined.*

*It has been proven that reducing the costs of renewable energy sources contributes to the growth of hydrogen potential in the world. The experience of the countries of the world, which set themselves ambitious goals for the production of electricity from low-carbon sources, is considered. Attention is focused on the effectiveness of the strategies of successful world leaders in the development of the hydrogen economy - countries and regions, namely: South Australia, which plans to create an energy system consisting of 100% low-carbon sources by 2025; Sweden - until 2040, California - until 2045, Denmark - until 2050. The priority role and importance of the strategically important transition of the countries' economies to alternative types of energy, in particular, to hydrogen energy, is substantiated.*

*It was established that the development of the hydrogen economy depends not only on the availability of natural resources. International partnership with the participation of various international organizations, governments, private companies and scientific research institutions, whose activities are aimed at strategically important vectors of stimulating scientific research and the introduction of innovative technologies, is defined as an effective mechanism for the development of the hydrogen economy, development of regulatory documentation and financing of hydrogen projects.*

*The author proposed a comprehensive approach to ensuring the effective development of the hydrogen economy, the implementation of which involves systematic compliance with such basic criteria as guaranteed political support and strategic planning, the activation of investments in scientific research and innovation, and the functioning of developed infrastructure, creation of economic incentives and international cooperation.*

**Ключові слова:** воднева економіка, «зелений» водень, стратегія ЄС з розвитку водневої енергетики, вплив на економіку країн світу, енергетична стратегія, водневі долини, ринок водню.

**Keywords:** hydrogen economy, "green" hydrogen, EU strategy for the development of hydrogen energy, impact on the world economy, energy strategy, hydrogen valleys, hydrogen market.

**Постановка проблеми.** Воднева економіка, як інноваційна концепція переходу до використання водню в якості основного відновлювального джерела енергії, є однією з найбільш перспективних стратегій для зменшення викидів парникових газів і боротьби зі зміною клімату. Однак розвиток водневої економіки стикається з низкою проблем, які потребують вирішення для повного розкриття її потенціалу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні та практичні аспекти, пов'язані з виробництвом «зеленого» водню та розвитком

відновлювальних джерел енергії, були предметом досліджень таких вчених, як С. Кудря [1], У монографії за його редакцією було зібрано напрямки та перспективи розвитку водневої енергетики, характеристики водню як енергоносія, методи зберігання та транспортування водню. Дана праця написана для спеціалістів технічних спеціальностей. Але створила досить широкий базис для розбудови водневої економічної свідомості.

Фахівець із відновлюваної енергетики В. Бутько в своїх наукових дослідженнях розглядає такі проблемні питання: перетворення та акумулювання енергії сонця та вітру; підвищення ефективності роботи автономних та резервних систем електроживлення на основі відновлюваних джерел енергії, які стали розвивальним кроком на шляху розвитку економічного інтересу до відновлюваних технологій, що особливо важливо для України під час російської агресії [4].

Відомий дослідник у сфері зеленої енергетики О. Зеленько [3] присвячує свої роботи питанням сталого розвитку енергетики, зокрема, відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, і воднева енергетика. Зелена енергетика є центральною темою його досліджень, адже вона розглядається дослідником як ключ до вирішення екологічних проблем, скорочення викидів парникових газів і зменшення залежності від викопних джерел енергії.

Відомий закордонний експерт у сфері зеленої енергетики М. Болл [9] активно досліджує перспективи використання відновлюваних джерел енергії та впровадження інноваційних рішень у цій галузі. Його дослідження спрямовані на розробку стійких енергетичних систем, що допомагають знизити викиди парникових газів і скоротити залежність від традиційних викопних видів палива.

Сучасний дослідник закордонної наукової спільноти Марк Віда [10] плідно працює в дослідницькій сфері проблематики забезпечення розвитку зеленої енергетики та аналізу перехідних економічних стратегій, зокрема, актуальних для країн, що розвиваються, таких як Коста-Рика. Його внесок

включає дослідження використання водневої технології для зменшення залежності від викопних палив та стимулювання економічної стійкості за допомогою чистих енергетичних рішень. Важливим елементом у його роботах є розвиток зеленого водню, який Коста-Рика планує виробляти завдяки своїм значним відновлюваним ресурсам, що дозволить країні досягти цілей декарбонізації.

Науковці вже тривалий час звертають увагу на питання, пов'язані з розвитком водневої енергетики. Проте, враховуючи швидкі темпи науково-технічного прогресу та політику національних урядів, спрямовану на декарбонізацію економіки, цей напрямок наукових досліджень потребує подальшого вивчення, яке враховуватиме останні зміни в цій сфері.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є аналітичний огляд сучасного стану та обґрунтування перспектив розвитку водневої економіки в країнах світу в контексті міжнародного співробітництва.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Водень є найпоширенішим елементом у всесвіті. Він має значно вищу енергоємність у порівнянні з природним газом, нафтою та вугіллям. На відміну від звичних енергетичних ресурсів, при згорянні водню утворюється лише вода. Таким чином, водень виступає унікальним джерелом енергії, яке не викликає викидів CO<sub>2</sub>.

Саме в "зеленому" водні, тобто виробленому завдяки "чистій" енергії, вбачають універсальний рецепт досягнення кліматичної нейтральності. Водень використовують для опалення будинків, виробництва електроенергії, аміаку, метанолу, заліза та сталі, переробки нафти, як пальне для транспорту.

Науковці активно досліджують водневу економіку як перспективний шлях до переходу на чистіші джерела енергії. Водень розглядається як одне з ключових рішень для декарбонізації важких галузей промисловості, транспорту та енергетики. Багато вчених вказують на те, що водень може стати ефективною альтернативою викопному паливу, особливо в секторах, де

електрифікація менш ефективна, наприклад, у важкій промисловості або далекому транспорті.

Відомі науковці та сучасні дослідники по-різному трактують феномен водневої економіки та оцінюють критерії її розвитку [1, 3, 4], Систематизація існуючих наукових підходів дозволяє наступні основними.

1. Більшість дослідників погоджуються, що зелений водень, який виробляється з використанням відновлюваних джерел енергії, має значний потенціал для зменшення викидів вуглекислого газу. Також вказують, що використання водню може забезпечити зберігання енергії з відновлюваних джерел, таких як сонце і вітер, оскільки він дозволяє акумулювати надлишки електроенергії.

2. Деякі науковці наголошують на складностях, пов'язаних з технологіями виробництва, зберігання і транспортування водню. Виробництво зеленого водню залишається дорогим, а його транспортування є складним через низьку енергетичну щільність газу. Досліджуються нові технології для підвищення ефективності зберігання водню, наприклад, у вигляді рідкого водню або в металічних гідридах.

3. Науковці розглядають економічні аспекти розвитку водневої економіки. Багато досліджень зосереджено на зниженні вартості виробництва водню шляхом збільшення масштабів виробництва та удосконалення технологій. Однак на даному етапі воднева економіка потребує значних інвестицій, і її економічна конкурентоспроможність порівняно з іншими видами енергії ще не досягнута.

Загалом, можна погодитися з думкою науковців, які позитивно оцінюють перспективи водневої економіки, але також звертають увагу на виклики, які необхідно подолати для її широкомасштабного впровадження.

Водень – не омріяна перспектива, а реальні проекти в провідних країнах світу. Уряди таких країн розробляють стратегії та сприяють розвитку низьковуглецевої економіки. Глобальний початок суспільних перетворень в цій галузі покладено. За даними Міжнародного енергетичного агентства

(МЕА), на водень припадають близько 2,5% кінцевого енергоспоживання у світі [8].

Першою країною, яка схвалила національну стратегію розвитку водневої енергетики, стала Японія у 2017 році. Країна активно розвиває використання водню в транспортному секторі, включаючи автомобілі на паливних елементах. В країні налічуються близько 7 500 автомобілів та 120 автобусів на водневих паливних комірках, близько 160 водневих заправок. Японія також працює над створенням міжнародної водневої інфраструктури, плануючи імпортувати водень із Австралії та Близького Сходу.

У Німеччині розпочав свою роботу перший парк поїздів, що використовують водневі паливні елементи.

У Нідерландах зводять найбільший у Європі завод для виробництва чистого водню. Наразі реалізується понад 100 пілотних і демонстраційних проєктів, що стосуються використання водню в судноплавстві, а в енергетичному секторі анонсовано проєкти з загальною потенційною потужністю майже 3,5 ГВт до 2030 року.

Китай лідирує за збільшенням потужностей електролізера із сукупною потужністю 220 МВт у 2022 році, ще 750 МВт буде. ЄС схвалив "Водневу стратегію", створив Європейський водневий банк та оголосив перші аукціони на кінець 2023 року.

США анонсували стимули для виробництва чистого водню відповідно до закону про зниження інфляції, оприлюднили амбітну водневу стратегію з планом імплементації і лише у 2023 році інвестували у водневі проєкти 66 млрд. дол.

Південна Корея має амбітні плани щодо розвитку водневої економіки. Країна планує стати одним із провідних експортерів водню до 2040 року. Згідно з "Корейською водневою дорожньою картою", планується досягти 6,2 мільйона водневих автомобілів і 1,200 водневих заправок до 2040 року.



Австралія розглядає водень як ключовий елемент своєї енергетичної стратегії. Країна має багаті природні ресурси для виробництва водню і планує стати одним із провідних світових експортерів зеленого водню, орієнтуючись на ринки Японії, Південної Кореї та ЄС.

Воднева економіка формує риси майбутнього глобальної економіки, де водень виступає як енергоносіє, що замінює вугілля, нафту та газ. Економічна конкурентоспроможність та зростання цін на викопні природні ресурси стали основними чинниками розвитку водневих технологій у ХХ столітті. На сьогоднішній день основними стимуляторами змін є зобов'язання країн (Паризька Угода), окремих регіонів і міст (Угода Мерів), а також компаній (ESG-фактори) та їхня співпраця у досягненні кліматичних цілей. Водень визнано ключовим елементом для реалізації прийнятих кліматичних зобов'язань.

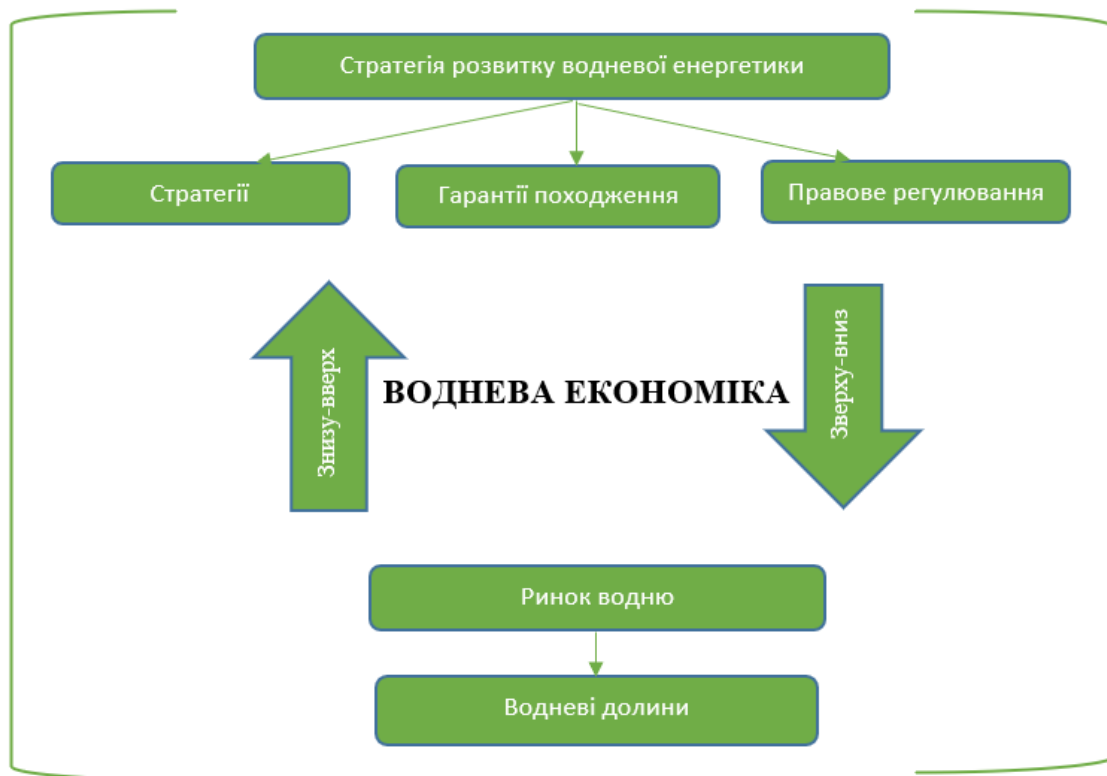
Завдяки своїй універсальності, водень сприяє декарбонізації в різних секторах: важка промисловість, мобільність (дальнє перевезення), великовантажні перевезення та енергетика – це ті галузі, які зазвичай вважаються «важкодекарбонізованими». Наприклад, завдяки відновлювальним джерелам енергії стало можливим зменшити викиди в електроенергетиці. Проте, для вирішення проблем, пов'язаних зі змінністю виробництва електроенергії та міжсезонним зберіганням, необхідні нові технологічні рішення – водневі технології.

Аналіз досвіду країн ЄС дозволяє стверджувати, що розвиток водневої економіки відбувається як «зверху – вниз» так і «знизу – вгору» (рис. 1).

Концепція «знизу – вгору» реалізується через проекти Водневих долин, які координуються Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) та державно-приватним партнерством European Hydrogen Valleys partnership (EHV) за підтримки Європейської Комісії.

Водневі долини вважаються важливими етапами на шляху до нової водневої економіки, оскільки вони сприяють формуванню та розвитку ринку нового покоління, а також інтегрованих проектів, які охоплюють значну

частину ланцюга створення вартості — так звані «міні водневі економіки». Водневі проекти зібрані та представлені на платформі Mission Innovation Hydrogen Valley. Станом на 2021 рік було виявлено 36 водневих долин у 20 країнах, загальний обсяг інвестицій склав 32,5 мільйона євро [15].



**Рис. 1. Основне підґрунтя водневої економіки.**

*Джерело: створено автором на основі [15]*

У грудні 2019 року Європейська комісія затвердила амбітну програму дій під назвою «Європейський зелений курс» (European Green Deal – комюніке ЄС та дорожня карта з планом дій і термінами виконання) [12], яка разом із механізмом коригування вуглецевих мит (Carbon border adjustment mechanism, CBAM) [13] фактично окреслює напрямки розвитку європейської економіки на кілька десятиліть уперед. У червні 2021 року Єврокомісія представила пакет законодавчих актів у сфері клімату та енергетики – Fit for 55 [14], Це призвело до оновлення законодавства ЄС та впровадження нових ініціатив, спрямованих на забезпечення відповідності політики ЄС кліматичним цілям.

З метою привернення уваги до водню та популяризації цього енергоресурсу, в липні 2020 року Єврокомісія, у рамках Європейського зеленого курсу, ініціювала створення двох документів – Водневої стратегії та Стратегії з інтеграції енергетичної системи [9]. Перший документ покликаний посилювати рух до кліматично нейтральної економіки, включаючи конкретну політику та законодавчі заходи на рівні ЄС для переходу до більш інтегрованої та гнучкої енергетичної системи, що базується на вільному обміні між споживачами і виробниками в різних секторах кінцевого споживання. Воднева стратегія, що була підтримана у травні 2021 року Європарламентом, передбачає широке використання водню як енергоносія для галузей, які не можна електрифікувати, надаючи пріоритетність «зеленому» водню, та містить більш конкретний погляд на необхідні кроки задля перетворення водню на ключовий товар такої енергосистеми.

Країни світу акцентують свою увагу на важливості водню в національних енергетичних та кліматичних планах на період 2021–2030 років. Приблизно половина з них вже встановила конкретні цілі щодо використання водню, особливо в сферах транспорту та промисловості (серед них Німеччина, Франція, Норвегія, Іспанія та інші).

Розвиток водневої економіки активно підтримується та впроваджується за участю різних міжнародних організацій, урядів, приватних компаній і науково-дослідних установ. Ці організації відіграють важливу роль у стимулюванні досліджень, впровадженні нових технологій, розробці нормативних документів і фінансуванні проектів, пов'язаних з воднем.

Світовими організаціями, які забезпечують міжнародне співробітництво та впливають на розвиток водневу економіку країн світу слід визначити такі загальновідомі.

1. Світовий банк є міжнародною фінансовою організацією, яка надає фінансову та технічну допомогу країнам, що розвиваються, з метою зменшення бідності і підтримки економічного розвитку. У контексті водневої

економіки Світовий банк впливає на її розвиток через різні ініціативи, фінансування та політики, спрямовані на підтримку екологічно чистих і стійких джерел енергії.

Основними способами впливу Світового банку на водневу економіку є наступні.

- Фінансування проектів з відновлюваної енергії. Світовий банк інвестує у проекти, що стосуються відновлюваної енергетики, включаючи виробництво зеленого водню. Це включає надання кредитів, грантів та інших фінансових інструментів для підтримки розвитку інфраструктури та технологій, пов'язаних з воднем. Проекти, що фінансуються Світовим банком, зазвичай включають дослідження, розробку та реалізацію інноваційних рішень у сфері виробництва, зберігання і транспортування водню.

- Технічна допомога та консалтинг. Світовий банк надає технічну допомогу країнам, що розвиваються, з метою розробки стратегій і політик для впровадження водневої економіки. Це включає консалтинг з питань енергетичного планування, розробки регуляторних рамок та управління проектами. Допомога також охоплює проведення досліджень і аналізу, надання експертної підтримки в області технологій водневого виробництва і використання, а також сприяння в розробці національних водневих стратегій.

- Підтримка політики та регуляторних реформ. Світовий банк співпрацює з урядами країн, щоб допомогти розробити сприятливу політику і регуляторне середовище для розвитку водневої економіки. Це включає створення стимулів для приватного сектору, зниження бар'єрів для інвестицій та підтримку нормативно-правових реформ. Він також підтримує ініціативи, спрямовані на декарбонізацію енергетичних секторів країн, що розвиваються, шляхом включення водню в їхні енергетичні стратегії.

- Підтримка інновацій та досліджень. Світовий банк інвестує у дослідницькі проекти і розвиток нових технологій, пов'язаних з водневою економікою. Це включає фінансування наукових досліджень, спрямованих на

зниження вартості виробництва зеленого водню, підвищення ефективності паливних елементів і розробку нових методів зберігання і транспортування водню.

- Банк підтримує міжнародні партнерства та ініціативи, що сприяють обміну знаннями і передовим досвідом у сфері водневих технологій.

- Підтримка інфраструктурних проектів. Окрім фінансування технологічних інновацій, Світовий банк також підтримує розвиток інфраструктури, необхідної для виробництва, зберігання і транспортування водню. Це включає проекти будівництва водневих заправних станцій, трубопроводів та електролізерних установок. Також підтримується розвиток інфраструктури для інтеграції водню в існуючі енергетичні системи, що дозволяє знизити витрати і прискорити впровадження водневих рішень.

2. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) - це міжурядова організація, яка підтримує країни в їх переході до сталого енергетичного майбутнього та служить основною платформою для міжнародного співробітництва, центром передового досвіду та сховищем політики, технологій, ресурсів та фінансові знання щодо відновлюваної енергії. IRENA сприяє широкому впровадженню та сталому використанню всіх форм відновлюваної енергії, включаючи біоенергію, геотермальну, гідроенергію, енергію океану, сонячну енергію та енергію вітру, з метою сталого розвитку, доступу до енергії, енергетичної безпеки та низьковуглецевого економічного зростання та процвітання.

IRENA зберігає чітку та незалежну позицію та надає низку надійних, доступних послуг, збираючи існуючу діяльність та інформацію навколо центрального центру.

Міжнародне співтовариство відновлюваних джерел енергії є великим, винахідливим і швидко розвивається. Роль її полягає в тому, щоб шукати, налагоджувати та розвивати нові взаємодії, сприяти діалогу, ділитися кращими практиками, просувати сприятливу політику, нарощувати потенціал та сприяти співпраці на глобальному, регіональному та національному

рівнях. IRENA заохочує інвестиційні потоки та працює над зміцненням технологій та інновацій, а різноманітні зацікавлені сторони сприяють досягненню цих спільних цілей.

3. Міжнародне партнерство з водневої енергетики (IPHE). IPHE об'єднує уряди, дослідницькі організації та промислові компанії для сприяння розвитку водневої енергетики через міжнародну співпрацю і обмін знаннями. Партнерство працює над гармонізацією стандартів, обміном передовими практиками та сприяє дослідженням і розробкам у сфері водневої енергетики.

4. Глобальний водневий альянс (Hydrogen Council) - це міжнародна ініціатива, що об'єднує провідні енергетичні, транспортні та промислові компанії для просування водневої економіки на глобальному рівні. Hydrogen Council розробляє дослідження і стратегічні документи, які сприяють впровадженню водневих технологій, а також підтримує співпрацю між урядами і приватним сектором.

5. Національні уряди та агенції. Уряди різних країн активно підтримують розвиток водневої економіки через національні стратегії, фінансування досліджень і розробок, а також розвиток інфраструктури. Країни, такі як Японія, Німеччина, Південна Корея, Австралія і США, створюють національні водневі стратегії і програми підтримки, які стимулюють внутрішній ринок водневих технологій і міжнародну співпрацю.

6. Міжнародний фонд водневих технологій (International Hydrogen Fuel Cell Association, IHFCA). IHFCA об'єднує учасників водневого ринку для сприяння розробці водневих технологій і розширення їх використання. Фонд підтримує інноваційні проекти, надає гранти і створює платформи для співпраці і обміну знаннями в галузі водневих технологій.

Розвиток водневої економіки в різних країнах світу демонструє як значні досягнення, так і численні виклики. Ефективність впровадження водневих технологій та розвитку водневої економіки залежить не лише від наявності ресурсів, а й від низки факторів, таких як: політична підтримка і

стратегічне планування, інвестиції в дослідження та інновації, розвиток інфраструктури, економічні стимули та життєдіяльність, міжнародна співпраця (рис. 2).



**Рис. 2. Основні критерії ефективності розвитку водневої економіки**

*Джерело: узагальнено автором на основі [2]*

*Політична підтримка і стратегічне планування.* Країни, які мають чітко визначені національні стратегії з розвитку водневої економіки, демонструють вищу ефективність у впровадженні водневих технологій. Ці стратегії включають конкретні цілі щодо виробництва, використання і експорту водню.

*Інвестиції в дослідження та інновації.* Висока ефективність спостерігається в країнах, що інвестують у дослідження та розвиток (R&D) нових технологій для виробництва, зберігання і транспортування водню. Це включає розвиток електролізерів, паливних елементів та систем зберігання водню.

*Розвиток інфраструктури.* Країни з розвиненою інфраструктурою для виробництва, транспортування і зберігання водню демонструють вищу ефективність у розвитку водневої економіки. Це включає будівництво

водневих заправних станцій, виробничих потужностей для зеленого водню та мережі трубопроводів для його транспортування.

*Економічна життєздатність.* Зниження вартості виробництва зеленого водню є ключовим показником ефективності. Країни, які активно інвестують у зниження собівартості через нові технології та масштаби виробництва, мають кращі перспективи для розвитку водневої економіки.

*Міжнародна співпраця.* Країни, які активно співпрацюють на міжнародному рівні, обмінюються знаннями, технологіями та найкращими практиками, що сприяє ефективному розвитку водневої економіки.

Отже, ефективний розвиток водневої економіки залежить від комплексного підходу, реалізація якого передбачає системного дотримання таких основних критеріїв як гарантована політична підтримка і стратегічне планування, активізація інвестицій в дослідження та інновації, розвиток розвиненої інфраструктури, створення стимулів для забезпечення економічної життєдіяльності та міжнародна співпраця світових партнерів. Країни, які активно впроваджують ці елементи у свої стратегії, демонструють успіхи в розвитку водневих технологій і створенні водневої економіки.

**Висновки.** Воднева економіка як інноваційна концепція передбачає використання водню як основного джерела енергії для різних галузей, включаючи транспорт, промисловість, енергетику та житлово-комунальне господарство. Водень розглядається як чисте, екологічно безпечне паливо, яке може допомогти зменшити залежність від викопних енергоресурсів і знизити викиди парникових газів.

Багато країн і компаній по всьому світу вкладають значні ресурси в дослідження і розвиток водневих технологій. ЄС, Японія, Південна Корея, США, Австралія та інші країни розробляють національні стратегії для розвитку водневої економіки, що включає фінансування досліджень, розвиток інфраструктури та створення регуляторних рамок.

Воднева економіка має потенціал значно зменшити залежність від викопних палив і сприяти переходу до сталого енергетичного майбутнього.



Однак для повного розгортання її потенціалу потрібні значні інвестиції, співпраця на міжнародному рівні та інновації в технологіях виробництва і зберігання водню.

Світовий банк відіграє ключову роль у розвитку даної економіки, забезпечуючи фінансування, технічну підтримку та сприяючи впровадженню сприятливої політики для розвитку водневих технологій. Його діяльність допомагає країнам, що розвиваються, впроваджувати інноваційні рішення для декарбонізації своїх енергетичних систем і сприяє глобальному переходу до сталого енергетичного майбутнього.

Успішний розвиток водневої економіки потребує комплексного підходу, що охоплює політичну підтримку, інвестиції в інновації, розвиток інфраструктури, створення економічних стимулів та міжнародну співпрацю. Країни, які активно інтегрують ці складові у свої стратегії, досягають значних успіхів у розвитку водневих технологій та формуванні водневої економіки.

### Література

1. Відрновлювані джерела енергії : монографія / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відрновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
2. Водень: як світ розвиває енергетику майбутнього і як не відставати Україні. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/08/17/703302/> (дата звернення 10.09.2024).
3. Зеленько О. О. Зелена енергетика: її складові та фактори розвитку в світовій економіці. *Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди «Економіка»*. 2021. Вип. 19. С. 60–70.
4. Іванчук В. Ю., Бudyко В. І. Аналіз використання відрновлюваних джерел енергії в будівлях із різним класом енергоефективності. *Відрновлювана та воднева енергетика – 2018*: матеріали науково-практичної конференції (м. Київ, 18 травня 2018 року). Київ, 2018. С. 233 – 240.

5. Основи водневої економіки країн ЄС. URL: <https://www.researchgate.net/publication/357793499> (дата звернення 10.09.2024).

6. Офіційний сайт Європейського Союзу. Енергетична політика ЄС. URL: [https://energy.ec.europa.eu/index\\_en](https://energy.ec.europa.eu/index_en) (дата звернення 10.09.2024).

7. Правова база для розвитку водневої енергетики: міжнародний досвід та ситуація в Україні. URL: [https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2021/09/dixi\\_group\\_hydrogen\\_legal\\_policy-brief\\_final.pdf](https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2021/09/dixi_group_hydrogen_legal_policy-brief_final.pdf) (дата звернення 10.09.2024).

8. Рєпкін О. Плани ЄС щодо розвитку водневої галузі до 2030 р. та перспективи України у цій екосистемі. URL: <https://ecolog-ua.com/news/plany-yes-shchodo-rozvytku-vodnevoyi-galuzi-do-2030-roku-ta-perspektyvy-ukrayiny-u-ciy> (дата звернення 10.09.2024).

9. Floristean A. EU regulations and directives which impact the deployment of FCH technologies». Hydrogen Europe. 2019. URL: [https://www.hylaw.eu/sites/default/files/201902/D4.4%20%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FC%20H%20technologies\\_0.pdf](https://www.hylaw.eu/sites/default/files/201902/D4.4%20%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FC%20H%20technologies_0.pdf) (дата звернення 10.09.2024).

10. Ball M., Weeda M. The hydrogen economy – vision or reality? *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Vol. 40. vol. 25. P. 7903–7919. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.032> (дата звернення 10.09.2024)

11. Mace M. Is Leeds ready to become the UK's 'Hydrogen city' hub? URL: <https://www.edie.net/news/4/Is-Leedsready-to-become-the-UK-s--Hydrogen-city--hub-/> (дата звернення 10.09.2024)

12. The European Green Deal. European Commission. 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (дата звернення 10.09.2024).

13. Carbon Border Adjustment Mechanism. European Commission. 2021. URL: [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustmentmechanism\\_en](https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustmentmechanism_en) (дата звернення 10.09.2024).

14. Fit for 55. European Council. 2021. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/> (дата звернення 10.09.2024).

15. The Mission Innovation Hydrogen Valley Platform. The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. 2021. URL: <https://www.h2v.eu/> (дата звернення 10.09.2024).

16. Global Hydrogen Flows - 2023 Update. Hydrogen Council in collaboration with McKinsey & Company. Official website of the Hydrogen Council. URL: <http://www.hydrogencouncil.com> (дата звернення 10.09.2024).

17. GHD: Leading Hydrogen Solutions for Global Renewable Energy. URL: <https://energydigital.com/articles/ghd-hydrogen-solutions-for-renewable-energy> (дата звернення 10.09.2024).

### References

1. Kudrya, S.O. (2020), *Vidnovliuvani dzherela enerhii* [Renewable energy sources], Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences, Kyiv, Ukraine.

2. epravda (2023), “Hydrogen: how the world is developing the energy of the future and how to keep up with Ukraine”, available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/08/17/703302/> (Accessed 10.09.2024).

3. Zelenko, O.O. (2021), “Green energy: its components and factors of development in the world economy”, *Collection of scientific works of the Kharkiv National Pedagogical University by H. S. Skovoroda “Economics”*, vol. 19, pp. 60–70.

4. Ivanchuk, V.Yu. and Budko, V.I. (2018), “Analysis of the use of renewable energy sources in buildings with different energy efficiency classes”, *Vidnovliuvana ta vodneva enerhetyka – 2018: materialy naukovo-praktychnoi konferentsii* [Materials of the scientific and practical conference "Renewable and hydrogen energy - 2018"], Kyiv, Ukraine, May 18, pp. 233-240.

5. ResearchGate (2024), “Fundamentals of the hydrogen economy of EU countries”, available at: <https://www.researchgate.net/publication/357793499> (Accessed 10.09.2024).

6. Official website of the European Union (2024), “Energy policy of the EU”, available at: [https://energy.ec.europa.eu/index\\_en](https://energy.ec.europa.eu/index_en) (Accessed 10.09.2024).

7. DIXI Group (2021), “Legal framework for the development of hydrogen energy: international experience and the situation in Ukraine”, available at: [https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2021/09/dixi\\_group\\_hydrogen\\_legal\\_policy-brief\\_final.pdf](https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2021/09/dixi_group_hydrogen_legal_policy-brief_final.pdf) (Accessed 10.09.2024).

8. Repkin, O. (2020), “EU plans for the development of the hydrogen industry until 2030 and Ukraine's prospects in this ecosystem”, available at: <https://ecolog-ua.com/news/plany-yes-shchodo-rozvytku-vodnevoyi-galuzi-do-2030-roku-ta-perspektyvy-ukrayiny-u-ciy> (Accessed 10.09.2024).

9. Floristean, A. (2019), “EU regulations and directives which impact the deployment of FCH technologies”, Hydrogen Europe, available at: [https://www.hylaw.eu/sites/default/files/2019-02/D4.4%20-%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FCH%20technologies\\_0.pdf](https://www.hylaw.eu/sites/default/files/2019-02/D4.4%20-%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FCH%20technologies_0.pdf) (Accessed 10.09.2024).

10. Ball, M., and Weeda, M. (2015), “The hydrogen economy – vision or reality? ” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 25: 7903-7919. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.032>.

11. Mace, M. (2024), “Is Leeds ready to become the UK's “Hydrogen city” hub?” available at: <https://www.edie.net/news/4/Is-Leedsready-to-become-the-UK-s--Hydrogen-city--hub-/> (Accessed 10.09.2024).

12. European Commission (2019), “The European Green Deal”, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (Accessed 10.09.2024).

13. European Commission (2021), “Carbon Border Adjustment Mechanism”, available at: [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustmentmechanism\\_en](https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustmentmechanism_en) (Accessed 10.09.2024).

14. European Council (2021), “Fit for 55”, available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/> (Accessed 10.09.2024).

15. The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2021), “The Mission Innovation Hydrogen Valley Platform”, available at: <https://www.h2v.eu/> (Accessed 10.09.2024).

16. Official website of the Hydrogen Council (2023), “Global Hydrogen Flows - 2023 Update. (Hydrogen Council in collaboration with McKinsey & Company)”, available at: <http://www.hydrogencouncil.com> (Accessed 10.09.2024).

17. Derrick, M. (2023), “GHD: Leading Hydrogen Solutions for Global Renewable Energy”, available at: <https://energydigital.com/articles/ghd-hydrogen-solutions-for-renewable-energy> (Accessed 10.09.2024).

*Стаття надійшла до редакції 20.09.2024 р.*