

ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ: ПЕРЕДУМОВИ, ПОТЕНЦІАЛ І ПЕРСПЕКТИВИ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Статтю присвячено дослідженню проблем розвитку виробництва відновлюваного водню в Україні як складової вирішення завдань декарбонізації промисловості та інтеграції у європейську енергетичну систему. Проаналізовано потенціал України щодо переходу до виробництва «зеленого» водню з використанням відновлюваних джерел енергії. Охарактеризовано географічні переваги західних і південних регіонів країни, які мають сприятливі умови для розміщення інфраструктури сонячної та вітрової енергетики. Акцентовано увагу на європейських ініціативах, зокрема програмі «REPowerEU», що визначає Україну як важливого постачальника водню для Європейського Союзу та містить відповідні інфраструктурні проекти, пов'язані з Центральноєвропейським водневим коридором. Розглянуто ключові стратегії, спрямовані на збільшення виробництва водню, а також виклики, які постають перед Україною у процесі інтеграції в європейський енергетичний ринок. Деталізовано існуючі інвестиційні можливості для розвитку водневої економіки України через міжнародні ініціативи, такі як «Партнерство чистого водню». Представлено інноваційні технології та інфраструктурні рішення щодо зниження витрат на транспортування водню, що робить Україну стратегічним гравцем у забезпеченні енергетичної безпеки Європи. Інтеграція технологій блокчейну для сертифікації та прозорості у виробництві, транспортуванні та споживанні водню дозволить Україні підвищити конкурентоспроможність на глобальному ринку нового енергетичного носія. Висвітлено конкретні водневі проекти, що реалізуються в Закарпатській та Одеській областях, мають значний потенціал для масштабування та представлені як ключовий чинник на шляху до енергетичної незалежності України. Ці проекти орієнтовані на виробництво «зеленого» водню та його транспортування до країн центральної Європи, що дозволить Україні стати важливим гравцем на європейському водневому ринку. Розглянуто вплив розвитку водневої енергетики на економіку України, зокрема за рахунок створення нових робочих місць, збільшення валового внутрішнього продукту та залучення інвестицій. Наведено рекомендації щодо активізації переговорів на міжнародному рівні з метою включення українських водневих проектів до європейських програм підтримки, таких як Європейський водневий банк.

Ключові слова: енергетика, водень, REPowerEU, декарбонізація, інфраструктура, енергетична незалежність.

JEL: Q42, Q48, O13, L95, Q55

Виклики сучасної енергетичної безпеки та необхідність зменшення залежності від викопного палива ставлять перед кра-

їною амбітні завдання щодо використання її унікальних природних ресурсів. Україна має значний потенціал для розвитку вод-



© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024

невої економіки завдяки сприятливим географічним умовам щодо розміщення відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, а також можливостям використання існуючої газотранспортної інфраструктури для експорту водню до країн Європейського Союзу. Тому передумови та потенціал виробництва «зеленого» водню в Україні є важливим кроком на шляху до скорочення викидів вуглецю та інтеграції держави в енергоринок Європи.

У контексті стратегічних документів, таких як Воднева стратегія для кліматично нейтральної Європи та план REPowerEU, роль України як надійного партнера для постачання «зеленого» водню до Європи стає надважливою. Воднева енергетика може не тільки сприяти скороченню викидів вуглекислого газу, але й забезпечити нові можливості для економічного зростання та інвестицій.

Метою статті є аналіз передумов розвитку водневої енергетики в Україні, оцінювання її потенціалу та перспектив, а також визначення ключових викликів і можливостей у цій сфері.

Для більш глибокого розуміння проблематики розвитку водневої енергетики в Україні доцільно звернутися до наукових праць і стратегічних документів, що стали основою для подальших розробок у цій галузі. Дослідження багатьох науковців та інституцій у цій сфері є ключовими для визначення та формування потенціалу України як постачальника «зеленого» водню на європейський ринок.

Проблематика виробництва відновлюваного водню та його інтеграції в енергетичні системи активно досліджується як науковцями, так і міжнародними організаціями. Вагомий внесок у дослідження енергетичного потенціалу України здійснив С. Кудря, який у співавторстві з іншими вченими опублікував «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України», що став основою для подальших досліджень у сфері відновлюваної енергетики та виробництва «зеленого» водню. Науковець відзначає потенціал використання

сонячної та вітрової енергії для процесу електролізу водню, що є ключовим чинником у розвитку водневої енергетики в Україні (Кудря, Репкін та ін., 2020). Одним із провідних експертів із розвитку водневої економіки Європи є Й. Хацімаркакіс. У роботі «Зелений водень для Європейської зеленої угоди: Ініціатива 2x40 ГВт», висвітлюється необхідність розвитку водневої інфраструктури в країнах ЄС, а також роль України як постачальника водню для європейського ринку. Ця публікація стала основою для визначення важливості будівництва 10 ГВт електролізних потужностей в Україні (van Wijk, Chatzimarkakis, 2020).

Отже, дослідження С. Кудрі та Й. Хацімаркакіса становлять теоретичну основу та містять стратегічні орієнтири для формування передумов і розвитку водневої енергетики в Україні.

Україна має великий енергетичний потенціал завдяки своїм природним ресурсам, а також можливість розвивати значні, до 500 ГВт, потужності для виробництва відновлюваної («зеленої») електроенергії, необхідної для електролізу води та виробництва «зеленого» водню (Кудря, Репкін та ін., 2020). Географічні умови південних та західних регіонів країни створюють додаткові можливості для розміщення сонячних і вітрових електростанцій, що є важливим для розвитку водневої енергетики. Такий потенціал являє собою основу для інтеграції ВДЕ в економіку виробництва водню.

До передумов розвитку водневої енергетики в Україні слід віднести кілька європейських стратегічних документів. Ініціатива 2x40 ГВт – «зелений» водень для європейського «зеленого» курсу, що передбачає необхідність будівництва 80 ГВт електролізерних потужностей до 2030 р.: 40 ГВт – на території країн-членів Європейського Союзу, ще 40 ГВт – у країнах Північної Африки та Україні. Особлива увага приділяється саме Україні, де передбачається будівництво до 10 ГВт електролізерних потужностей з виробництва «зеленого» водню для задоволення потреб країн ЄС (van Wijk, Chatzimarkakis, 2020, p. 27). У Водневій

стратегії Європейського Союзу також наголошено на необхідності розвитку відновлюваної енергетики для досягнення кліматичної нейтральності та забезпечення енергетичної безпеки, де Україна може відігравати ключову роль, використовуючи свої природні ресурси та газотранспортну інфраструктуру для транспортування водню до Європи (European Commission, 2020, p. 21). Зазначена стратегія має на меті досягнення 5,6 млн т (з перспективою до 10 млн т) виробництва «зеленого» водню до 2030 р.

У 2022 р., після повномасштабного вторгнення РФ в Україну, затверджений Європейською Комісією план «зеленої» трансформації та декарбонізації національної економіки (REPowerEU) підвищив цільовий показник, додавши нову мету – імпорт додаткових 10 млн т відновлюваного водню (зокрема 4 млн т у вигляді аміаку або інших похідних). План REPowerEU став відповіддю на виклики енергетичної безпеки внаслідок війни в Україні та прагнення ЄС зменшити залежність від російського викопного палива (European Commission, 2022, p. 33). Стратегія водневої енергетики в REPowerEU складається з трьох ключових елементів: скорочення попиту на водень у нафтопереробці завдяки розвитку електричного транспорту; збільшення попиту з боку всіх поточних кінцевих користувачів; розвиток нових сфер застосування водню, таких як його додавання до газової мережі, використання для виробництва «зеленої» сталі та на транспорті для вантажних перевезень. Також у плані REPowerEU зазначено, що виробництво водню на основі природного газу має бути замінено у виробництві аміаку та на нафтопереробних заводах до 2030 р. (Possémé, Poulin, Boillet et al., 2024, p. 90).

Україна розглядається як один із важливих партнерів для постачання «зеленого» водню до Європи. Значущим аспектом є підтримка України у відновленні її енергетичної інфраструктури та інтеграції в європейський енергетичний ринок, що також сприятиме розвитку водневої економіки в Україні. Передумови розвитку водневої

енергетики в Україні включають значний потенціал відновлюваних джерел енергії, стратегічну підтримку Європейського Союзу, а також геополітичну важливість країни як партнера в забезпеченні енергетичної безпеки Європи.

Для реалізації великомасштабних проєктів у водневій енергетиці можуть застосовуватися різні механізми підтримки. Одним з успішних прикладів є використання аукціонів для розвитку проєктів із виробництва відновлюваного водню, які проводить Європейська Комісія через Інноваційний фонд (Innovation Fund). Банк водню ЄС (EU Hydrogen Bank) орієнтований на підтримку створення внутрішнього ринку для відновлюваного водню та міжнародних імпортерських операцій до ЄС, оптимізацію існуючих фінансових інструментів. Проєкт анонсовано в березні 2023 р. із загальним бюджетом 3 млрд євро, які безпосередньо направляються на підтримку виробництва водню. У листопаді 2023 р. запланований перший тур, а в травні 2024 р. оголошено перші результати (Argus Media Group, May 2024). Аукціон залучив 132 проєкти з 17 європейських країн. Після оцінювання переможцями визнано 7 проєктів із Фінляндії, Норвегії, Португалії та Іспанії, що запропонували ціни на водень у діапазоні 0,37-0,48 євро/кг. Загальний обсяг підтримки складе 720 млн євро. Проєкти-переможці із загальною потужністю 1,5 ГВт мають виробити загалом 1,58 млн т водню протягом 10 років, або 158 тис. т водню на рік. Значна частина коштів із виділеного на перший тур водневого банку буде направлена на великі проєкти з електролізною потужністю до 500 МВт, зокрема на виробництво аміаку та водню для індустрії та морського транспорту. У перспективі другий етап аукціону, запланований на кінець 2024 р., матиме більший бюджет – орієнтовно 2,2 млрд євро. Стимулювання розвитку водневих проєктів, започатковане Європейською Комісією через Інноваційний фонд, надає значну фінансову підтримку без безпосереднього навантаження на державний бюджет, залучаючи приватний капітал і

забезпечуючи економічну вигоду через технологічний розвиток і збільшення податкових надходжень у майбутньому.

Водночас є певні завдання для представників уряду України на міжнародній арені, оскільки EU Hydrogen Bank поки що не охоплює Українську державу. Для того щоб вітчизняні водневі проекти мали можливість брати участь і перемагати та, як результат, отримувати подальше фінансування, уряд на чолі з відповідними міністерствами має ініціювати переговори з представниками Європейської Комісії та укласти відповідну угоду щодо співпраці та включення України до переліку країн, які можуть брати участь в аукціонах Європейського водневого банку. Це дозволить Україні стати активним учасником європейського водневого ринку, залучаючи інвестиції та сприяючи розвитку відновлюваної енергетики і створення нових економічних кластерів.

Також слід відзначити Партнерство чистого водню (Clean Hydrogen Partnership) – ініціативу, спрямовану на підтримку та розвиток технологій водневої енергетики у Європейському Союзі. Це партнерство створене для прискорення розроблення та комерціалізації інноваційних і стійких рішень у галузі чистого водню для досягнення цілей ЄС щодо клімату й енергетики. Clean Hydrogen Partnership фокусується на фінансуванні досліджень та інновацій, які мають на меті розвиток і використання чистого водню в різних секторах економіки – від виробництва до транспорту та промисловості. Партнерство пропонує співфінансування проектів, які демонструють високий потенціал зменшення викидів вуглецю, використовуючи інноваційні технології виробництва, розподілу та використання водню. Clean Hydrogen Partnership сприяє міжнародній співпраці між компаніями, науковими інститутами та урядовими організаціями для обміну знаннями та ресурсами. Проекти мають відповідати стратегічним цілям ЄС щодо сталого розвитку і внеску в декарбонізацію економіки. Перевага надається тим, які містять новітні технології чи

підходи, що можуть забезпечити значні технічні або економічні переваги у виробництві чи використанні водню. Також проекти мають демонструвати свою економічну і технічну реалізованість, потенціал до масштабування та комерціалізації. Підтримується потенціал щодо зміцнення ринку чистого водню в ЄС шляхом створення нових кластерів економіки або збільшення попиту на водневі продукти та послуги; створення робочих місць, залучення інвестицій та сприяння соціально-економічному розвитку в регіонах ЄС. Проекти, які пройшли відбір, отримують фінансування у формі грантів, які покривають частину загальних капітальних витрат на реалізацію. Загалом Clean Hydrogen Partnership відіграє ключову роль у розвитку водневої економіки ЄС, підтримуючи високий рівень інновацій та співпраці між різними зацікавленими сторонами.

Українські компанії можуть брати участь у програмах Clean Hydrogen Partnership у складі відповідних консорціумів із представниками країн-членів ЄС як партнери, однак наразі не можуть претендувати на роль координатора. Тим не менш, це відкриває можливості для інтеграції українських проектів у європейську водневу екосистему, сприяючи розвитку технологій та впровадженню інновацій, проте з певними обмеженнями щодо керівних ролей у таких ініціативах. Україна має можливість зміцнити свою позицію на міжнародній арені та залучати інвестиції через участь у спільних проектах із країнами ЄС, що дозволить пришвидшити розвиток водневої інфраструктури і технологій у країні.

Оскільки EU Hydrogen Bank та Clean Hydrogen Partnership спрямовані на стимулювання досліджень, розвиток технологій і підтримку проектів виробництва, важливо розглянути й ініційовані водневі інфраструктурні проекти, які забезпечуватимуть транспортування і зберігання водню на національному та міжнародному рівнях.

План REPowerEU передбачає значний імпорт водню з країн, що не входять до ЄС, тому водень у газоподібному ста-

ні планується транспортувати через трубопроводи. Ініціатива European Hydrogen Backbone визначає п'ять водневих коридорів для імпорту водню, серед яких Україні відведено особливу роль. На рисунку відображено плани щодо динаміки розвитку

європейської водневої інфраструктури із зазначенням зростання кількості водневих коридорів, які з'єднують різні країни та забезпечують стійку енергетичну систему в Європі.

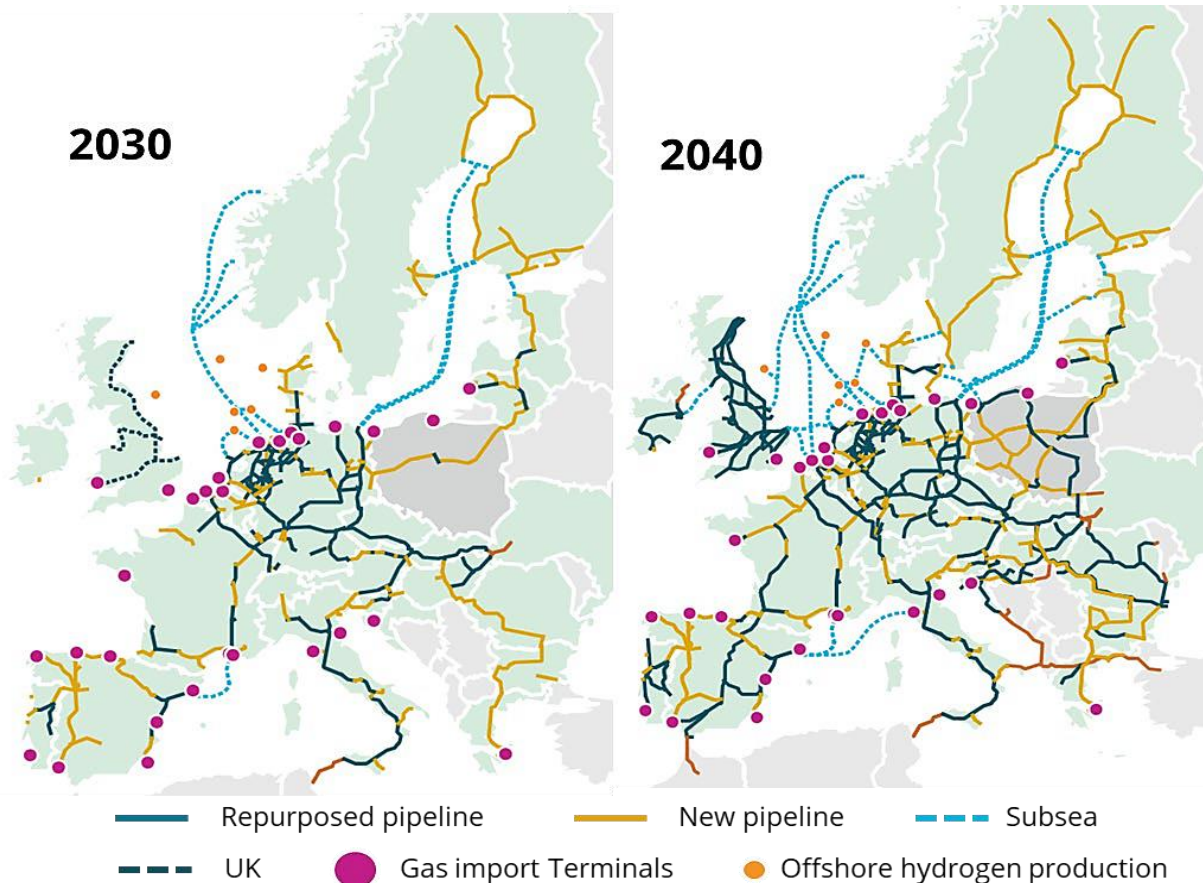


Рисунок – Ініційовані проекти водневої інфраструктури в Європі до 2040 р.

Джерело: складено за (van Rossum, Jens, La Guardia et al., April 2022).

Згідно з European Hydrogen Backbone транспортування водню на відстань понад 1 000 км через наземну магістраль коштуватиме в середньому від 0,11 до 0,21 євро/кг водню, що робить трубопровідний транспорт найбільш економічно вигідним варіантом для транспортування водню на великі відстані й у великих обсягах (van Rossum, Jens, La Guardia, et al., April 2022, р. 16). Транспортування водню підводними трубопроводами коштуватиме від 0,17 до 0,32 євро/кг на кожні 1 000 км, що надає переваги Україні порівняно з країнами Пів-

нічної Африки та Скандинавії. Такі переваги сприятимуть імпорту водню країнами Центральної Європи з України через Центральноевропейський водневий коридор (Central European Hydrogen Corridor – СЕНС). Це стратегічна ініціатива, спрямована на створення ефективної інфраструктури для виробництва водню в Україні, подальше транспортування та використання кінцевими споживачами в ЄС.

Central European Hydrogen Corridor відіграє ключову роль у переході до чистих джерел енергії та декарбонізації економіки,

зменшуючи залежність від імпорту викопного палива з РФ, а також зміцнюючи енергетичну безпеку країн-членів ЄС. У листопаді 2023 р. коридор транспортування водню з України до Словаччини, Чехії, Австрії та Німеччини затверджено Європейською Комісією як Проєкт спільного інтересу (Project of Common Interest – PCI), що дозволяє в майбутньому розраховувати на підтримку у вигляді спрощення дозволів та регуляторних процедур. Крім того, проєкт має право на фінансову підтримку від програми «Connecting Europe Facility» (European Commission, November 2023).

Кооптування існуючої інфраструктури може стати важливим елементом розвитку Центральноевропейського водневого коридору. Використання наявної та адаптованої газової мережі, замість будівництва нової, суттєво знизить капітальні витрати, що позитивно вплине на вартість транспортування. Це дозволить значною мірою скоротити час для реалізації та підвищить привабливість водневих проєктів для інвесторів (Череватський, 2024).

Українські водневі проєкти є ключовим елементом у зміцненні та розвитку Центральноевропейського водневого коридору. По-перше, вони сприяють значному збільшенню обсягів доступного водню, виробленого з відновлюваних джерел енергії, що безпосередньо впливає на досягнення цілей декарбонізації та зниження залежності від викопного палива. По-друге, Україна завдяки географічному розташуванню та ресурсному потенціалу може стати важливим постачальником «зеленого» водню до Центральної Європи, тим самим підвищуючи енергетичну безпеку всього регіону.

Серед потенційних виробників водню з приєднанням у майбутньому до Центральноевропейського водневого коридору визначено поки що дві українські компанії: ТОВ «Водень України», що розвиває проєкти в Закарпатті та на півдні Одещини, і ТОВ «ЕСО-Оптіма» з проєктом у Львівській області (Central European Hydrogen Corridor, May 2024). Активний розвиток та впровадження таких проєктів в Україні

сприяє створенню високотехнологічної інфраструктури для виробництва, зберігання та транспортування водню. Це є фундаментальною умовою для результативної роботи всього коридору, що не лише підвищує ефективність самих проєктів, а й забезпечує здатність швидко адаптуватися до змін ринкових умов та потреб споживачів. Крім того, активна участь України у виробництві та постачанні водню сприятиме міжнародній співпраці, залученню інвестицій і технологій, що забезпечить загальне економічне зростання та зміцнення міжнародних енергетичних зв'язків. Отже, українські водневі проєкти відіграють критично важливу роль у зміцненні транспортного коридору, забезпечуючи його надійними джерелами «зеленого» водню, необхідними для успішної реалізації довгострокових цілей сталого розвитку ЄС.

Оскільки Європейський Союз продовжує активно розвивати ініціативи, спрямовані на підтримку відновлюваного водню, Україна також посідає важливе місце в цих планах, ставши ключовим партнером у європейській водневій стратегії, та активно інтегрується в європейські водневі коридори, одночасно розробляючи власну національну водневу стратегію. У травні 2024 р. Міністерство енергетики України оприлюднило проєкт Водневої стратегії України на період до 2050 р., який містить засади, етапи та цілі розвитку водневої галузі та шляхи їх досягнення, а також звіт про стратегічну екологічну оцінку запропонованого проєкту про вплив на довкілля та здоров'я населення, виконану відповідно до законодавчих вимог.

Автори проєкту Водневої стратегії аналізують сучасний екологічний стан України, звертаючи увагу на наслідки збройної агресії РФ, що передбачає заходи для попередження або пом'якшення негативного впливу, який може виникнути під час розвитку водневої галузі, будівництва вітрових і сонячних електростанцій як фундаменту для виробництва відновлюваного водню методом електролізу. Також у проєкті наголошено на відсутності єдиних гло-

бальних стандартів сертифікації, що є однією з ключових проблем для розвитку низьковуглецевої водневої галузі. Наразі сертифікаційні вимоги суттєво відрізняються в різних регіонах світу, що ускладнює розвиток глобального ринку водню та перешкоджає інтеграції українського водню на міжнародні ринки, зокрема на європейський. Розбіжність у підходах до сертифікації стає на заваді для інвесторів і потенційних партнерів, які прагнуть чітких гарантій походження водню (Міністерство енергетики України, 2024).

Вирішенням цієї проблеми є впровадження гармонізованої системи сертифікації та відстежуваності водню. Розвиток смарт-промисловості та інтеграція нових технологій, зокрема блокчейну, є вирішальними для підвищення ефективності, прозорості та забезпечення гарантій походження в проєктах відновлюваної енергетики (Вишневецький, 2023). У цьому контексті стандартизація сертифікації та відстежуваності походження водню стає необхідною умовою для інтеграції українського водню в європейський ринок (Кун, Кооп, Міхальке, Айн, 2023). Використання блокчейн-систем для моніторингу та сертифікації українського «зеленого» водню не тільки підвищить рівень довіри до нього як до екологічно чистого продукту, але і зробить його конкурентоспроможним на міжнародному ринку. Більше того, такі інноваційні рішення у смарт-промисловості допоможуть забезпечити відповідність майбутнім регуляторним вимогам, підвищуючи адаптивність до змін глобальних стандартів.

Міністерством енергетики України визначено ключові етапи розвитку виробництва та споживання водню. Воднева стратегія передбачає досягнення до 2035 р. виробництва на рівні 0,4-0,6 млн т водню з використанням 3 ГВт електролізної потужності, що забезпечуватиметься 7 ГВт відновлюваних джерел енергії. До 2050 р. виробництво водню має зрости до 1,65-2,5 млн т. Буде задіяно 10 ГВт електролізної потужності, для забезпечення якої планується спорудити 25 ГВт відновлюваної генерації.

Воднева стратегія включає також конкретні пілотні проєкти. У Закарпатті планується реалізація водневого проєкту з початковою електролізною потужністю від 100 МВт та масштабуванням до 1,5 ГВт, у Львівській області передбачається виробництво водню з потужністю до 112 МВт. Ці обидва проєкти планується приєднати до Центральноєвропейського водневого коридору. Також виокремлена роль проєкту в Одеській області поблизу міста Рені з електролізною потужністю до 3 ГВт, що стане частиною ініціативи «Блакитний Дунай».

Станом на вересень 2024 р. Воднева стратегія залишається невідписаною та незатвердженою, що уповільнює реалізацію передбачених заходів. Відсутність офіційного затвердження може негативно вплинути на процес інтеграції України в європейську водневу інфраструктуру та стримати інвестиційну активність у секторі водневої енергетики.

Відсутність затвердженої національної стратегії та дорожньої карти для розвитку водневої енергетики в Україні може створити умови для реалізації альтернативних або конкуруючих водневих коридорів, які одержують значну підтримку на міжнародному рівні. У табл. 1 наведено ключові проєкти альтернативних водневих магістралей, які доцільно врахувати в контексті можливого негативного впливу на розвиток водневої інфраструктури України.

Маршрути водневих коридорів мають суттєвий вплив на складність реалізації, а отже, на вартість будівництва. Центральноєвропейський водневий коридор (протяжністю 1225 км) має потенціал для розвитку через своє стратегічне розташування та відносно короткий маршрут порівняно з такими довгими маршрутами, як постачання водню з Перської затоки або країн Балтії. Цей коридор може значно полегшити інтеграцію України в європейську водневу інфраструктуру. Однак для реалізації проєкту в Україні критично важливо затвердити Водневу стратегію, що дозволить брати участь у міжнародних програмах фінансування і забезпечити необхідні інвестиції для будівництва водневої інфраструктури.

Таблиця 1 – **Проекти альтернативних водневих магістралей, які можуть вплинути на розвиток водневої інфраструктури України**

Проект	Маршрут	Країни-учасниці	Довжина трубопроводу
Gulf-to-Europe Hydrogen Pipeline	Перська Затока – ЄС (через Червоне і Середземне моря)	Катар, Саудівська Аравія, Єгипет, країни ЄС (через Грецію)	5900 км (3400 км з Катару до Греції та приблизно 2500 км по Європі)
H2Med	Піренейський півострів – Північно-Західна Європа	Португалія, Іспанія, Франція, Німеччина	703 км
Net Zero Technology Centre	Шотландія – ЄС	Шотландія, країни ЄС	Триває розроблення маршруту
Nordic-Baltic Hydrogen Corridor	Країни Балтії – Німеччина	Фінляндія, Естонія, Латвія, Литва, Польща, Німеччина	2500 км

Джерело: складено за (Барлен, Бомбарді 2023; проєкт H2Med, 2024; проєкт Net Zero Technology Centre; 2024; Ontras Gastransport, 2024).

Воднева стратегія України закладає основу для розвитку водневої економіки, інтеграції з європейськими ініціативами та використання потенціалу відновлюваних джерел енергії. Водночас на практичному рівні в Україні вже реалізуються проєкти, що демонструють значні досягнення та мають амбітні плани з виробництва «зеленого» водню. Одним із таких передових проєктів, який уже має значний прогрес і залучив певне фінансування, є проєкт на півдні Одеської області. Він відіграє ключову роль у регіональному розвитку водневої інфраструктури та забезпечує інтеграцію України у міжнародні водневі коридори.

Проєкт з виробництва «зеленого» водню поблизу міста Рені спрямований на задоволення потреб внутрішнього ринку, а також на експорт до ЄС, що дозволить Україні стати активним учасником і стратегічним партнером на європейському ринку водню. Планується будівництво заводу потужністю 100 МВт із можливістю масштабування до 3000 МВт. Детальніше про техніко-економічне обґрунтування та перспективи можна ознайомитися на офіційних ресурсах компанії та в спеціалізованих публікаціях.

На основі індикативних даних цього проєкту доцільно розрахувати потенційний вплив на ВВП України та спрогнозувати досягнення цілей, поставлених як у рамках проєкту національної Водневої стратегії, так і відповідно до очікувань європейських

партнерів, зокрема Європейського Союзу, згідно з якими в Україні буде створено до 10 ГВт електролізних потужностей для забезпечення потреб країн ЄС. Орієнтовний обсяг інвестицій для розвитку таких проєктів вказує на суттєві витрати на електроліз, відновлювані джерела енергії, компресорне обладнання і трубопроводи для транспортування водню, що дозволить не лише зміцнити економічну стійкість України, але і сприяти її інтеграції в європейську водневу інфраструктуру.

У табл. 2 наведено оцінку впливу проєктів із виробництва водню на ВВП України, яка враховує встановлену електролізну потужність, обсяги виробництва водню, інвестиції, валовий дохід, створення робочих місць та інші ключові економічні показники. Дати початку проєктів зазначено з урахуванням того, що перші два роки (2025 та 2026) можуть бути присвячені розробленню техніко-економічного обґрунтування та проєктно-конструкторської документації для будівництва об'єктів водневої енергетики. Це припущення засноване на стандартних часових рамках, оскільки для успішного залучення як іноземного, так і внутрішнього капіталу критично важливо мати проєкти, які досягли стадії Final Investment Decision (FID) або Ready to Build. Ці стадії свідчать про високий рівень готовності проєктів і значно знижують ризики для інвесторів, сприяючи прийняттю

інвестиційних рішень. Слід зазначити, що в табл. 2 всі розрахунки виконано в євро, оскільки це є більш доцільним з огляду на міжнародний характер водневих проєктів України, спрямованих на експорт до країн Європейського Союзу. Оскільки значна частина інвестицій буде надходити від

іноземних партнерів та міжнародних фінансових установ, для полегшення фінансового аналізу використання в подальших розрахунках євро знижує ризики, пов'язані з коливанням курсу національної валюти, що є особливо важливим для довгострокових інфраструктурних проєктів.

Таблиця 2 – Прогноз впливу водневої енергетики на ВВП України (з 2025 по 2034 р.)

Показник	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Інвестиції, млрд євро			1,315	0,658	0,658	1,973	1,973	8,549	8,549	9,207
Встановлена електролізерна потужність, МВт			400	600	800	1400	2000	4600	7200	10000
Обсяг виробленої продукції, млн т			0,064	0,096	0,128	0,224	0,32	0,736	1,152	1,6
Вартість 1 т водню, євро			4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
Валовий дохід, млрд євро			0,288	0,432	0,576	1,008	1,44	3,312	5,184	7,2
Кількість нових робочих місць (прямі/непрямі) *			180 / 640	270 / 320	360 / 320	630 / 960	900 / 960	2070 / 4160	3240 / 4160	4410 / 4160
Витрати на заробітну плату (середня зарплата становить 800 євро) та податки, млрд євро			0,0006	0,0007	0,0008	0,0018	0,0021	0,007	0,0083	0,0096
Внесок у ВВП**			1,604	1,09	1,234	2,983	3,415	11,868	13,741	16,416

* 100 МВт встановленої електролізерної потужності створює 45 прямих та 160 непрямих робочих місць на етапі будівництва.

** На етапі інвестування обсяг інвестицій дорівнює внеску у ВВП, а на етапі виробництва: ВВП = Валовий дохід - Витрати на ЗП і податки.

Джерело: складено автором.

Обсяг інвестицій, необхідних для розвитку водневих проєктів, прогнозується від 1,315 млрд євро з 2027 р. зі зростанням до 9,207 млрд євро в 2034 р. Загалом для створення 10 ГВт електролізних потужностей та супутньої інфраструктури загальні інвестиції складуть 32,882 млрд євро. Загальний обсяг виробленого водню при цьому у 2034 р. досягне 1,6 млн т. Масштабування виробництва безпосередньо впливає на валовий дохід від реалізації водню, який може сягнути 7,2 млрд євро на рік.

Також розраховано кількість нових робочих місць (прямих і непрямих), які створюватимуться в рамках реалізації водневих проєктів. На першому етапі в 2027 р. передбачається створення 180 прямих і 640 непрямих робочих місць, тоді як до 2034 р. ці показники зростуть до 4 410 і

4 160 відповідно. Під непрямими робочими місцями маються на увазі ті, що створені на етапі будівництва об'єктів водневої інфраструктури, які будуть актуальними лише на цьому етапі. Вони охоплюють зайнятість у суміжних галузях, пов'язаних із постачанням матеріалів, логістикою та іншими видами підтримки будівництва, і, на відміну від прямих, потреба в них суттєво зменшиться після завершення будівельних робіт.

Очікується, що заробітна плата та податки також постійно зростатимуть: від 0,0006 млрд євро у 2027 р. до 0,0096 млрд євро у 2034 р., що також є важливим фактором впливу на економіку країни. Внесок у ВВП на етапі інвестування та виробництва постійно збільшується, досягаючи 16,416 млрд євро до 2034 р., що свідчить

про суттєву роль водневої економіки у розвитку України.

Інвестиції у водневу енергетику можуть сприяти прямому збільшенню ВВП за рахунок інвестицій у будівництво та розвиток інфраструктури, а також через оперативну діяльність виробництва. Воднева індустрія відома своєю високою доданою вартістю, тож можна очікувати, що внесок у ВВП буде більшим, особливо якщо врахувати мультиплікативний ефект від суміжних індустрій.

Реалізація водневих ініціатив може стати взірцем для розроблення подібних моделей в інших галузях промисловості, таких як металургійна промисловість, нафтопереробка, виробництво цементу, скла, добрив, які значною мірою залежать від викопних палив у структурі своєї собівартості, особливо від природного газу. Заміщення газу повністю або частково відновлюваним воднем у цих секторах не тільки сприятиме зниженню викидів вуглекислого газу та зменшенню екологічного впливу, але й забезпечить економічну та енергетичну безпеку, мінімізуючи залежність від російського викопного палива. Це, у свою чергу, підвищить рівень автономності економіки України та зміцнить її енергетичну незалежність, сприяючи розширенню внутрішнього виробництва критично важливих ресурсів. Упровадження водневих технологій у ці галузі дозволить не тільки відновити виробничі потужності, але й створити передумови для зростання ВВП і забезпечення додаткових робочих місць, що відіграє ключову роль у структурі національної економіки.

Висновки. Україна має значний потенціал для розвитку водневої економіки завдяки своїм природним ресурсам та географічному розташуванню. Аналіз проектів, що реалізуються в країні, засвідчив, що впровадження водневих технологій може стати важливим чинником для енергетичної незалежності та інтеграції в європейський ринок. Водночас для реалізації цього потенціалу критично важливими є створення необхідної інфраструктури, стандартизація сертифікації водню відповідно до вимог ЄС, а також залучення інвестицій через

європейські програми підтримки, зокрема участь в аукціонах Європейського водневого банку.

Передумови розвитку водневої енергетики в Україні відзначаються низкою стратегічних документів, таких як Ініціатива 2x40 ГВт, що передбачає створення 40 ГВт електролізних потужностей для виробництва водню в ЄС і ще 40 ГВт за його межами, зокрема 10 ГВт в Україні. Важливу роль відіграє воднева стратегія Європейського Союзу, визначаючи водень ключовим елементом досягнення кліматичної нейтральності Європи. У Програмі REPowerEU наголошено на зменшенні залежності від викопного палива та розвитку відновлюваних джерел енергії, що робить Україну важливим постачальником водню до Європи.

Висвітлення ролі України як стратегічного партнера Європейського Союзу в постачанні «зеленого» водню, що створює додаткові можливості для залучення інвестицій і посилює енергетичну незалежність країни, обумовлює доцільність активізації переговорів на міжнародному рівні з метою включення українських водневих проектів до програм підтримки ЄС, що може сприяти отриманню фінансової допомоги для реалізації водневих проектів в Україні.

З метою забезпечення успішної реалізації потенціалу водневої енергетики необхідно прискорити ухвалення Водневої стратегії України, що сприятиме залученню іноземних інвесторів та інтеграції у європейську енергетичну систему. Крім того, доцільно розробити дорожню карту розвитку інфраструктури для транспортування водню, зокрема через участь у таких міжнародних ініціативах, як Центральноевропейський водневий коридор.

Приватні компанії повинні активно долучатися до розвитку водневої інфраструктури, використовуючи інноваційні підходи для інтеграції всього ланцюжка створення вартості – від виробництва водню до його транспортування та зберігання, що має стати предметом подальших досліджень. При цьому слід урахувати, що залучення міжнародного досвіду створення консорціумів між виробниками та кінцевими споживачами сприятиме підвищенню інвес-

тиційної привабливості вітчизняних проєктів і прискоренню впровадження водневих технологій у промисловості.

Література

- Вишневецький О.С. (2023). Смарт-промисловість: визначення і теорія стимулювання розвитку на основі локального протекціонізму. *Економіка промисловості*. № 3 (103). С. 5-27. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2023.03.005>.
- Кудря С.О., Рєпкін О.О. та ін. (2020). Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. *Інститут відновлюваної енергетики НАН України*. 84 с. URL: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf> (дата звернення: 12.08.2024).
- Міністерство енергетики України (2024, травень). Повідомлення про оприлюднення проєкту Водневої стратегії України на період до 2050 року та звіту про його стратегічну екологічну оцінку. URL: <https://www.mev.gov.ua/proyekt-normativno-pravovoho-aktu/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-vodnevoyi-stratehiyi> (дата звернення: 15.08.2024).
- Череватський Д.Ю. (2024). Про економіку кооптування в енергетиці. *Економіка промисловості*. № 2 (106). С. 42-51. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.02.042>.
- Argus Media Group (2024, May). The European Hydrogen Bank: Examining the pilot auction results and looking ahead to round two. Insight Paper. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/market-insight-papers/european-hydrogen-bank-and-hydrogen-projects-market-insight> (дата звернення: 08.08.2024).
- Barlen H., Bombardi A. (2023, June). Hydrogen pipeline from the Gulf to Europe: use case and feasibility considerations. *AFRY and RINA Joint Discussion Paper*. 23 p. URL: https://afry.com/sites/default/files/2023-06/3355_afry_and_rina_joint_discussion_paper_hydrogen_pipeline_from_the_gulf_to_europe_use_case_and_feasibility_considerations_june_2023.pdf (дата звернення: 02.09.2024).
- Central European Hydrogen Corridor (2024, May). Project supporters. URL: <https://www.cehc.eu/supporters/> (дата звернення: 19.08.2024).
- Clean Hydrogen Partnership (2021). European Partnership for Hydrogen Technologies. URL: <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/> (дата звернення: 19.08.2024).
- European Commission (2020, 8 July). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brussels. COM(2020) 310 Final. 24 p. URL: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/hydrogen_strategy_0.pdf (дата звернення: 12.08.2024).
- European Commission (2022, 18 May). Implementing the REPowerEU action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets. Brussels. SWD(2022) 230 Final. 49 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230> (дата звернення: 17.08.2024).
- European Commission (2023, 28 November). Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1041 of amending Regulation (EU) 2022/869 of the European Parliament and of the Council as regards the Union list of projects of common interest and projects of mutual interest. 11 p. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/1041/oj (дата звернення: 19.08.2024).
- H2Med Project. URL: <https://h2medproject.com> (дата звернення: 02.09.2024).
- Kuhn M., Koop P., Michalke P., Aign J. (2023, September). Standardizing Hydrogen Certification: Enhance Traceability, Transparency, and Market Access. Policy Brief H2Global Stiftung 05/2023. *H2Global Foundation*. 36 p. URL: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/09/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-05_2023-EN.pdf (дата звернення: 19.08.2024).
- Net Zero Technology Centre Project. URL: <https://www.netzerotc.com> (дата звернення: 02.09.2024).
- Ontras Gastransport GmbH (2024). Nordic-Baltic Hydrogen Corridor. Pre-feasibility study results summary. URL: <https://www.ontras.com/sites/default/files/2024-08-29%20-%20NBHC%20-%20sli>

- des%20to%20press%20release_0.pdf (дата звернення: 12.09.2024).
- Posseme B., Poulin F., Boillet C., Gouret M., Mantulet G., Abbas A. (2024). Energy system infrastructures and investments in hydrogen, including an impact analysis of Ukraine's connection to the EU power grid. Publication for the committee on Industry, Research and Energy (ITRE). Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies. European Parliament, Luxembourg. 129 p. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/754207/IPOL_STU\(2024\)754207_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/754207/IPOL_STU(2024)754207_EN.pdf) (дата звернення: 17.08.2024)
- van Rossum R., Jens J., La Guardia G., Wang A., Kühnen L., Overgaag M. (2022, April). European Hydrogen Backbone. A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries. *European Hydrogen Backbone*. 36 p. URL: <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf> (дата звернення: 16.08.2024).
- van Wijk A., Chatzimarkakis J. (2020). Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative. *Hydrogen Europe*. 41 p. URL: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/Hydrogen-Europe_2x40-GW-Green-H2-Initiative-Paper.pdf (дата звернення: 12.08.2024).
- normatyvno-pravovoho-aktu/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-vodnevoyi-stratehiyi [in Ukrainian].
- Cherevatskyi, D. Yu. (2024). On the economics of co-opting in energy sector. *Econ. promisl.*, 2 (106), pp. 42-51. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.02.042> [in Ukrainian].
- Argus Media Group (2024, May). The European Hydrogen Bank: Examining the pilot auction results and looking ahead to round two. Insight Paper. Retrieved from <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/market-insight-papers/european-hydrogen-bank-and-hydrogen-projects-market-insight>
- Barlen H., & Bombardi A. (2023, June). Hydrogen pipeline from the Gulf to Europe: use case and feasibility considerations. AFRY and RINA Joint Discussion Paper. Retrieved from https://afry.com/sites/default/files/2023-06/3355_afry_and_rina_joint_discussion_paper_hydrogen_pipeline_from_the_gulf_to_europe_use_case_and_feasibility_considerations_june_2023.pdf
- Central European Hydrogen Corridor (2024, May). Project supporters. Retrieved from <https://www.cehc.eu/supporters/>
- Clean Hydrogen Partnership (2021). European Partnership for Hydrogen Technologies. Retrieved from <https://www.cleanhydrogen.europa.eu/>
- European Commission (2020, 8 July). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brussels. COM(2020) 310 Final. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/hydrogen_strategy_0.pdf
- European Commission (2022, 18 May). Implementing the REPowerEU action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets. Brussels. SWD(2022) 230 Final. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230>
- European Commission (2023, 28 November). Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1041 of amending Regulation (EU) 2022/869 of the European Parliament and of the Council as regards the Union list of projects of common interest and projects of mutual interest. Retrieved from
- References**
- Vyshnevskiy, O. S. (2023). Smart manufacturing: definition and theory of stimulating development based on local protectionism. *Econ. promisl.*, 3 (103), pp. 5-27. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2023.03.005> [in Ukrainian].
- Kudria, S.O., Riepkín, O.O., et al. (2020). Atlas of the Energy Potential of Renewable Energy Sources in Ukraine. *Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine*. Retrieved from <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf> [in Ukrainian].
- Ministry of Energy of Ukraine (2024, May). Announcement on the publication of the draft Hydrogen Strategy of Ukraine for the period up to 2050 and the report on its strategic environmental assessment. Retrieved from <https://www.mev.gov.ua/proyekt->

- http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/1041/oj
- H2Med Project. URL: <https://h2medproject.com>
- Kuhn, M., Koop, P., Michalke, P., & Aign, J. (2023, September). Standardizing Hydrogen Certification: Enhance Traceability, Transparency, and Market Access. Policy Brief H2Global Stiftung 05/2023. *H2Global Foundation*. Retrieved from https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/09/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-05_2023-EN.pdf
- Net Zero Technology Centre Project. Retrieved from <https://www.netzerotc.com>
- Ontras Gastransport GmbH (2024). Nordic-Baltic Hydrogen Corridor. Pre-feasibility study results summary. Retrieved from https://www.ontras.com/sites/default/files/2024-08-29%20-%20NBHC%20-%20slides%20to%20press%20release_0.pdf
- Posseme, B., Poulin, F., Boillet, C., Gouret, M., Mantulet, G., & Abbas, A. (2024). Energy system infrastructures and investments in hydrogen, including an impact analysis of Ukraine's connection to the EU power grid. Publication for the committee on Industry, Research and Energy (ITRE). Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament, Luxembourg. Retrieved from [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/754207/IPOL_STU\(2024\)754207_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/754207/IPOL_STU(2024)754207_EN.pdf)
- van Rossum, R., Jens, J., La Guardia, G., Wang, A., Kühnen, & L., Overgaag, M. (2022, April). European Hydrogen Backbone. A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries. *European Hydrogen Backbone*. Retrieved from <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf>
- van Wijk, A., & Chatzimarkakis, A. (2020). Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative. *Hydrogen Europe*. Retrieved from https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/Hydrogen-Europe_2x40-GW-Green-H2-Initiative-Paper.pdf

Iaroslav M. Kryl,

Phd in Economic Sciences

Institute of Industrial Economics NAS of Ukraine

2, Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

E-mail: kryl@hydrogen.ua

<https://orcid.org/0009-0006-5007-0877>

HYDROGEN ENERGY IN UKRAINE: PRECONDITIONS, POTENTIAL AND PROSPECTS FOR EUROPEAN INTEGRATION

The article examines the development of renewable hydrogen production in Ukraine, emphasizing its critical role in global decarbonization efforts and integration into the European energy system. Ukraine has significant potential to become a key supplier of “green” hydrogen for the European Union, leveraging its vast renewable energy resources, particularly from solar and wind energy. The analysis explores the geographic advantages of the Western and Southern regions, which present favorable conditions for the construction of hydrogen-related infrastructure, such as electrolysis plants, storage, and transportation systems.

Furthermore, the article highlights European initiatives, particularly the REPowerEU program, which designates Ukraine as a strategic partner in the supply of renewable hydrogen to Europe. It examines the necessary infrastructure projects, including the Central European Hydrogen Corridor, which is pivotal for connecting Ukrainian hydrogen production with European markets. The analysis also identifies Ukraine's potential contribution to the 2x40 GW initiative, aiming to construct 10 GW of electrolysis capacity within Ukraine by 2035, making it one of the key hydrogen suppliers to the EU.

One of the critical challenges identified in the article is Ukraine's integration into the European hydrogen market. The article discusses the regulatory and certification barriers that currently

exist in global hydrogen markets, particularly the lack of standardized hydrogen certification across different regions. To address this, the article suggests the adoption of harmonized certification standards for hydrogen production and transportation, aligning Ukraine's certification systems with EU regulations, which would facilitate easier market access and enhance investment attractiveness.

Moreover, the article details the potential economic impact of hydrogen energy development on Ukraine's economy. It highlights the creation of new jobs, both direct and indirect, and the potential to attract significant foreign investments. The scaling of hydrogen projects, particularly those in Zakarpattia and southern Odesa, could drive substantial GDP growth, contributing to Ukraine's energy independence and economic resilience. By integrating innovative technologies like blockchain for hydrogen certification and monitoring, Ukraine can enhance the transparency and traceability of its hydrogen, making it competitive on the international market.

Finally, the article provides recommendations for policymakers and businesses. It calls for the acceleration of negotiations at the international level to include Ukraine in European hydrogen support programs, such as the European Hydrogen Bank, and emphasizes the importance of private-sector involvement in hydrogen infrastructure development. The collaboration between Ukrainian and European stakeholders will be essential for Ukraine to secure its position as a leader in the hydrogen economy, contributing to the EU's decarbonization goals and strengthening energy security in the region.

Keywords: energy, hydrogen, REPowerEU, decarbonization, infrastructure, energy independence.

JEL: Q42, Q48, O13, L95, Q55

Формат цитування:

Криль Я. М. (2024). Воднева енергетика в Україні: передумови, потенціал і перспективи європейської інтеграції. *Економіка промисловості*. № 4 (108). С. 49–62. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry.2024.04.049>

Kryl, I. M. (2024). Hydrogen energy in Ukraine: preconditions, potential and prospects for european integration. *Econ. promisl.*, 4 (108), pp. 49–62. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.04.049>

Надійшла до редакції 07.10.2024 р.