

УДК 330.322

<https://doi.org/10.32342/2074-5362-2024-1-36-8>

С.О. ФЕДУЛОВА,

*доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри глобальної економіки
Університету імені Альфреда Нобеля, м. Дніпро (Україна)
<https://orcid.org/0000-0002-5163-3890>*

ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ ДО 2030 РОКУ¹

Пропонована робота присвячена визначенню сукупності засобів, методів і умов, що дають змогу створення стійкої та ефективної водневої економіки в Україні на період до 2030 року. Саме дослідження націлено на вивчення особливостей функціонування концепції водневого квадрату, що ілюструє різні етапи ланцюга створення вартості водню від виробництва до кінцевого використання, та потенційні можливості розвитку водневої економіки в Україні до 2030 року. Використовуючи водневий квадрат, обговорюються заходи безпеки по всьому ланцюгу створення вартості водню – виробництво, зберігання, транспортування та використання, що підкреслює необхідність збалансованого підходу для забезпечення стійкої та ефективної водневої економіки. Визначено, що найбільшими потенційними можливостями розвитку водневої економіки в Україні на період до 2030 року є транспортування суміші водню з природним газом (гітану) газу через ГТС України та виробництво метану із зеленого водню (синтетичний метан) шляхом реалізації технології Power-to-Gas. З'ясовано, що готовність газотранспортних мереж до транспортування суміші водню з природним газом (гітану) сильно відрізняється в різних країнах ЄС, а сама галузь наразі на дуже ранній стадії становлення. Змішування, швидше за все, буде тимчасовим, або перехідним рішенням, враховуючи існування технічного та економічного обмеження концентрації водню за обсягом, з яким може впоратись традиційна інфраструктура газу. Описано можливість застосування технології Power-to-Gas в Україні, в м. Дніпро. Виробництво синтетичного метану шляхом реалізації технології Power-

¹ Стаття підготовлена у рамках реалізації міжнародного проєкту «Висвітлення нової архітектури європейської безпеки у викладанні та наукових дослідженнях» № 101126795 – EuSANU – ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Co-funded by
the European Union

Фінансується Європейським Союзом. Проте висловлені погляди та думки належать лише автору(ам) і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні грантодавець не можуть нести за них відповідальність.

to-Gas надасть можливість у подальшому і суміш Гітан отримувати без використання викопного палива, що надасть можливість функціонування водневої економіки повністю без викопного палива.

Ключові слова: воднева економіка, водневий квадрат, безвуглецева економіка, Power-to-Gas, економічний потенціал, енергетична безпека

JEL classification: O13, O14, P28, Q56, Q57

The proposed study is devoted to defining a set of means, methods and conditions that enable the creation of a sustainable and efficient hydrogen economy in Ukraine for the period up to 2030. The study itself is aimed at studying the features of the operation of the hydrogen square concept, which illustrates the various stages of the hydrogen value chain from production to final use, and the potential opportunities for the development of the hydrogen economy in Ukraine until 2030. Using the hydrogen square, safeguards across the entire hydrogen value chain – production, storage, transport and use – are discussed, highlighting the need for a balanced approach to ensure a sustainable and efficient hydrogen economy. It has been determined that the greatest potential opportunities for the development of the hydrogen economy in Ukraine for the period up to 2030 are the transportation of a mixture of hydrogen with natural gas (gitan) through the Ukrainian GTS and the production of methane from green hydrogen (synthetic methane) through the implementation of Power-to-Gas technology. It has been found that the readiness of gas transport networks to transport a mixture of hydrogen with natural gas (gitan) differs greatly in different EU countries, and the industry itself is currently at a very early stage of development. Blending is likely to be a temporary or transitional solution, given the existence of a technical and economic limit to the volume of hydrogen concentration that traditional gas infrastructure can handle. The possibility of using Power-to-Gas technology in Ukraine, in the city of Dnipro, is described. The production of synthetic methane through the implementation of the Power-to-Gas technology will provide an opportunity to obtain the gitan mixture without the use of fossil fuels in the future, which will enable the hydrogen economy to function completely without fossil fuels.

Keywords: hydrogen economy, hydrogen square, carbon-free economy, Power-to-Gas, economic potential, energy security

JEL classification: O13, O14, P28, Q56, Q57

Вступ. Геополітична та енергетична криза, з якою зіткнувся світ в останні десятиліття, вимагає альтернативних відновлюваних джерел енергії. Політичні сили в усьому світі одногосно розпочали кампанію інвестування та фінансування досліджень, спрямованих на сприяння екологічному переходу та повній декарбонізації, які очікуються на 2050 рік. Останніми роками водень став багатообіцяючим альтернативним енергоносієм завдяки його потенціалу вирішення проблем зміни клімату, забруднення повітря та енергетичної безпеки.

Зокрема, інтерес наукової спільноти зосереджений на зеленому водні, який можна виробляти шляхом електролізу води за допомогою відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та гідроенергія.

До 2050 року прогноз розвитку світової енергетики передбачає, що 12% загального споживання енергії покриватиметься зеленим воднем. Життєздатність водневої технології, яка, за прогнозами, замінить існуючі паливні системи в багатьох сферах застосування, сильно залежить від витрат на виробництво, зберігання та безпеку; крім того, незважаючи на численні переваги зеленого водню, існують численні проблеми, пов'язані з його впровадженням.

Воднева промисловість переживає значне зростання та увагу, особливо в умовах, коли країни та галузі прагнуть скоротити викиди вуглецю та перейти до чистіших джерел енергії. Розмір ринку світового виробництва та використання водню оцінено в 158,8 мільярдів доларів США в 2023 р. та, за оцінками, сягне 257 мільярдів доларів США в 2028 р., таким чином, зростаючи з річним темпом зростання на 10,2% [1].

Постановка проблеми. Незважаючи на те, що водень є одним із найпоширеніших елементів, водень часто зустрічається в поєднанні з іншими елементами, що ускладнює його вилучення з природи. Існує багато різних типів водню, кожен з яких ідентифікується своїм власним кольором і виробляється різними способами. Наприклад, чорний і коричневий водень утворюються шляхом газифікації вугілля, тоді як сірий водень і блакитний водень утворюються з природного газу або метану, а зелений водень створюється за допомогою такої технології, як електроліз води. Більшість водню, який сьогодні використовується в промисловості, виробляється з викопного палива, за винятком білого водню, який становить дуже незначну частину і збирається прямо з природних водневих свердловин. Якщо для електролізу води використовується електроенергія з відновлюваних джерел енергії, як-от вітер і сонячна енергія, то вартість стає основною перешкодою для отримання екологічно чистого водню. Вартість водню також значно відрізнятиметься залежно від методу виробництва.

Найбільш життєздатні ринки для виробництва екологічно чистого водню знаходяться в регіонах з багатими та дешевими відновлюваними джерелами енергії. У таких регіонах, як Близький Схід, Африка, росія, США чи Австралія, наприклад, «зелений» водень можна виробляти за ціною приблизно від 3 до 5 євро/кг, тоді як у Європі він коштує від 3 до 8 євро/кг [2]. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як енергія вітру та сонця, для виробництва зеленого водню, який є воднем, що лежить в основі безвуглецевої водневої економіки, все ще знаходиться на ранніх стадіях.

Але, треба зазначити, що станом на 2023 р. 17 урядів опублікували водневі стратегії та понад 20 оголосили, що працюють над розробкою водневих стратегій. Незважаючи на багато труднощів і викликів, потенціал ринку «зеленого водню» в майбутньому незаперечний, що демонструється через здатність «зеленого» водню зменшувати викиди в багатьох галузях, таких як промисловість, транспорт, енергетичні системи та будівлі. Зелений водень також має потенціал для прискорення розвитку відновлюваних джерел енергії, забезпечуючи при цьому гнучкість енергетичної системи. Крім того, зелений водень допомагає довгостроково зберігати енергію, щоб зрівноважити диспропорцію енергії протягом сезонів. Усвідомлюючи цей великий потенціал, урядові установи в Європі, США, Китаї, Японії, а також наукові та дослідницькі установи і підприємства запустили свої стратегічні плани щодо водню, щоб поступово побудувати ефективну та стійку водневу економіку.

Метою роботи є вивчення сукупності засобів, методів і умов, що дають змогу створення стійкої та ефективної водневої економіки в Україні на період до 2030 року.

Для досягнення зазначеної мети в дослідженні поставлено наступні завдання:

1. Визначити особливості функціонування концепції водневого квадрату, що ілюструє різні етапи ланцюга створення вартості водню від виробництва до кінцевого використання.

2. З'ясувати та описати потенційні можливості розвитку водневої економіки в Україні до 2030 року.

Виклад результатів дослідження. Одним із найбільших викликів, що постають перед водневою промисловістю, є розвиток інфраструктури для виробництва, транспортування, зберігання та розподілу водню. Це включає будівництво трубопроводів, сховищ і водневих заправок для транспорту.

При цьому треба зазначити, що існують певні виклики у сфері безпеки:

– водень дуже горючий і може легко спалахнути. Для безпечного поводження та зберігання водню потрібне спеціальне обладнання та процедури для запобігання витоків та мінімізації ризиків;

– водень може викликати крихкість металів, що може спричинити проблеми зі структурною цілісністю обладнання та інфраструктури, а також створити ризик для безпеки;

– безпечне транспортування водню на великі відстані може бути проблемою через низьку щільність енергії та потребу в спеціальних контейнерах або трубопроводах;

– щоб запобігти нещасним випадкам, важливо переконатися, що як громадськість, так і ті, хто працює у водневій промисловості, знають про ризики безпеки, пов'язані з воднем, і навчаються правильному поводженню з ним.

Загалом, воднева промисловість представляє багатообіцяючий шлях до майбутнього чистої енергії, але ефективне вирішення питань безпеки має вирішальне значення для широкого визнання та успіху галузі. Співпраця між урядами, промисловістю та дослідницькими інститутами має важливе значення для подолання цих проблем і реалізації повного потенціалу водню як чистого носія енергії.

На рисунку 1 представлено водневий квадрат. Водневий квадрат – це концептуальна основа, яка ілюструє різні етапи ланцюга створення вартості водню від виробництва до кінцевого використання. Чотири сторони водневого квадрата представляють виробництво, зберігання, використання та безпеку водню. Метою водневого квадрата є забезпечення рівноваги цих чотирьох сторін для створення стійкої та ефективної водневої економіки [3].

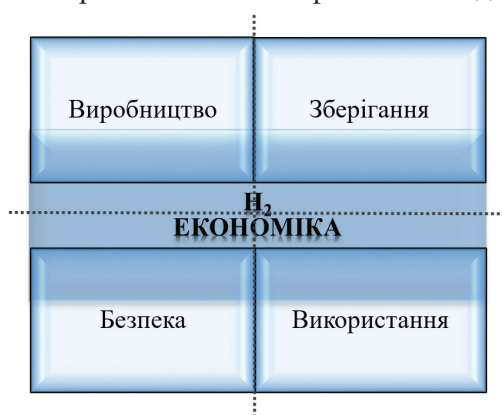


Рис. 1. Класичний водневий квадрат [3, 4]

Виробництво водню залежить від двох основних шляхів: термохімічний та електрохімічний. На відміну від інших форм відновлюваної енергії, таких як сонячна та вітрова, які не можна зберігати, водень можна виробляти та зберігати в різних формах, включаючи стиснений газ, рідкий водень (LH_2), шлам, твердий або металевий водень.

Незважаючи на свої переваги, займистість водню викликала занепокоєння громадськості щодо небезпек, пов'язаних з воднем, враховуючи катастрофічні випадки, такі як вибух водню на атомній електростанції Фукусіма в 2011 році та пожежа в Гінденбурзі в 1937 р. [5]. Протягом останніх десятиліть було зареєстровано кілька аварій, пов'язаних з використанням рідкого водню. Резервуар для зберігання LH_2 об'ємом 9000 галонів (34 м^3) вибухнув у 1989 році на судні через ремонт вентиляційної труби [6]. Два нещодавніх інциденти, пов'язаних з воднем, сталися на хімічному заводі в Каліфорнії і на громадській водневій заправній станції в Норвегії в червні 2019 р. У цих аваріях витік газу призвів до подальшої пожежі та вибухів. В якості превентивного заходу кілька водневих заправних станцій були зупинені на кілька місяців, а також багато транспортних засобів, що працюють на водневому двигуні, були призупинені [7].

З метою впровадження шляхів підземного зберігання водню та транспортування в світі наразі запропоновано газоподібну суміш, відому як гітан.

Гітан – це газоподібна суміш, що складається з 10–30% об'єму водню та 70–90% об'єму метану, яка в основному використовується в автомобільному секторі замість метану. Наявність водню, по суті, сприяє підвищенню ефективності згоряння двигуна та зниженню еквівалента CO_2 і викидів NO_x в атмосферу, оскільки водень є чистим джерелом енергії. Друге застосування – пряме впорскування в мережі природного газу в заданих обмежених умовах (зазвичайна наявність $\text{H}_2 < 10\%$). В даний час гітан в основному виробляється з викопних джерел, але використання альтернативних відновлюваних джерел може сприяти подальшому скороченню викидів парникових газів. Треба зазначити, що національні регулятори в більшості країн вважають за необхідне гармонізувати ліміти на змішування водню в країнах ЄС.

У Данії було доведено, що мережеві компоненти, витримують щонайменше 10% суміші водню. Німеччина повідомляє про найвищий граничний рівень концентрації водню при транспортуванні газу на рівні 10%, за нею йдуть Франція (6%), Іспанія (5%) і Австрія (4%). Ще чотири країни допускають більш помірну концентрацію водню в своїх газотранспортних мережах: Литва (2%), Італія (1%), Латвія (0,1%), Ірландія (0,1%) і Нідерланди (0,02%) [8].

Одночасно регулятори Бельгії, Чехії, Німеччини, Італії, Португалії, Словенії, Іспанії, Швеції та Нідерландів повідомляють, що планують збільшити ліміти прийняття водню в мережі природного газу, інформують про існування або планування проєктів, спрямованих на збільшення меж прийнятності водню у їх газотранспортній мережі. Незважаючи на те, що в даний час не існує конкретних цілей змішування водню для ГТС ЄС, в деяких державах (Австрія, Бельгія, Франція, Ірландія та Люксембург) проводяться постійні дослідження та обговорення можливих підходів до реалізації таких

стратегій. Деякі Оператори ГТС просувають конкретні цілі змішування водню. Наприклад, GRTGaz (Франція) повідомляє про цільову суміш 10% до 2030 р., в Австрії теж обговорюється цільовий обсяг на рівні 10%. Важливим кроком у цьому напрямку стала публікація Водневої стратегії ЄС та Стратегії інтеграції енергетичних систем, покликаних забезпечити планомірний підхід до декарбонізації енергетики та визначити роль водню в якості енергоносія у цьому процесі [9].

Першою країною в ЄС, що розпочала транспортування газотранспортною системою суміші Гітану (із вмістом 10% водню) стала Італія. У квітні 2019 р. було офіційно розпочато експеримент в Контурсі-Терме, в провінції Салерно, що на півдні Італії, із впровадження 5% суміші водню та природного газу в італійську газотранспортну мережу. Суміш водню та газу (H_2NG) постачалась двом промисловим компаніям, які займаються виробництвом пасти та напоїв у цьому районі. У грудні 2019 частку водню збільшили до 10%. Даний експеримент дозволив, застосовуючи частку 5% водню до загального обсягу газу, вводити 3,5 мільярди кубічних метрів водню, що дорівнюється річному споживанню 1,5 мільйона домогосподарств в енергетичному еквіваленті. За прогнозами такий підхід надасть можливість зменшити викиди вуглекислого газу на 2,5 мільйона тонн щорічно, що дорівнює загальним викидам всіх автомобілів у місті розміром з Рим [10].

Нове регуляторне середовище ЄС – Зелена угода ЄС, Стратегія ЄС з водню та Стратегія інтеграції енергетичних систем ЄС – створює нові вимоги до стратегічного планування розвитку газової інфраструктури з акцентом на готовність транспортувати відновлювані гази. ЄС розглядає Україну як перспективного виробника та експортера зеленого водню. Враховуються дві основні переваги України: сприятливі умови для будівництва великомасштабних вітрових і сонячних електростанцій, які генеруватимуть енергію для виробництва зеленого водню, та наявність потужної розгалуженої системи трубопроводів природного газу, яку в майбутньому можна буде модернізувати для транспортування водню до Європи.

Найбільш вагомим аргументом на користь водневої енергетики є можливість використання водню, виробленого з відновлюваних джерел енергії, для довготермінового балансування енергосистеми. Функція водню при цьому полягає в накопиченні енергії з нестабільних джерел енергії – сонця та вітру – в хімічній формі. На практиці це означає, що в періоди максимальної сонячної інсоляції чи потужного вітру, надлишкова електрична енергія, не затребувана в даний момент, направляється на електролізери і перетворюється на хімічну енергію H_2 . За такої схеми виникає необхідність в добовому та сезонному зберіганні великих об'ємів водню в газоподібному стані. За сучасних технологій найбільші обсяги зберігання можуть забезпечити підземні сховища на основі соляних печер, виснажених газових родовищ чи водних пластів – і Україна має величезний потенціал в цій сфері.

Однією з перепон на шляху залучення водню в ГТС України є відсутність прикладів, хоча б демонстраційних, успішного використання водневих технологій на практиці. В даному питанні Україна сильно відстає від ЄС, де створені та діють десятки пілотних проєктів з виробництва, зберігання, транспортування та використання водню.

В Україні подібні проекти відсутні – і тому Оператор ГТС України ставить завдання щодо створення на одному зі своїх промайданчиків пілотного проекту з виробництва саме «зеленого» водню. Відповідно планується реалізація технології Power-to-Gas – способу збереження енергії, отриманої з відновлюваних джерел. Суть методу полягає в тому, що надлишок електроенергії в години з малим її споживанням, використовують для розщеплення води на водень (H_2) і кисень (O_2) за допомогою процесу електролізу. Водень, в свою чергу, використовується для синтезу метану. Вуглекислий газ (CO_2), необхідний для синтезу метану (CH_4), передбачається виділяти з викидних газів газоспоживаючого обладнання.

Аналіз джерел показав, що такі проекти наразі реалізуються в ЄС великою кількістю Операторів ГТС з метою вивчення технологій, залучення знань та адаптації власних компетенцій до майбутніх вимог. До 2025 р. оператори газових мереж ЄС планують до 17 проектів установок Power-to-Gas як частину зусиль, спрямованих на скорочення викидів CO_2 та підтримання своїх мереж у процесі відходу ЄС від природного газу. Проектом, що пропонує ТОВ «Оператор ГТС України», передбачається будівництво експериментальної установки для виробництва тестових обсягів синтетичного метану та водню на промайданчику у м. Дніпро. Для живлення електролізера планується використання електричної енергії, отриманої від турбодетандерної установки, встановленої на газорозподільній станції «ГРС-7 Дніпро», та перспективної сонячної фотоелектричної станції (рис. 2). Вуглекислий газ, необхідний для синтезу метану, буде уловлюватися з викидних газів існуючої котельні. Вироблений синтетичний метан та водень у науково-дослідних цілях використовуватиметься в контурі існуючої інфраструктури промислового майданчика, а також для проведення випробувань впливу водню у різних концентраціях на зразки матеріалів об'єктів ГТС [8]. Наразі триває процес пошуку грантових коштів для початку реалізації проекту.

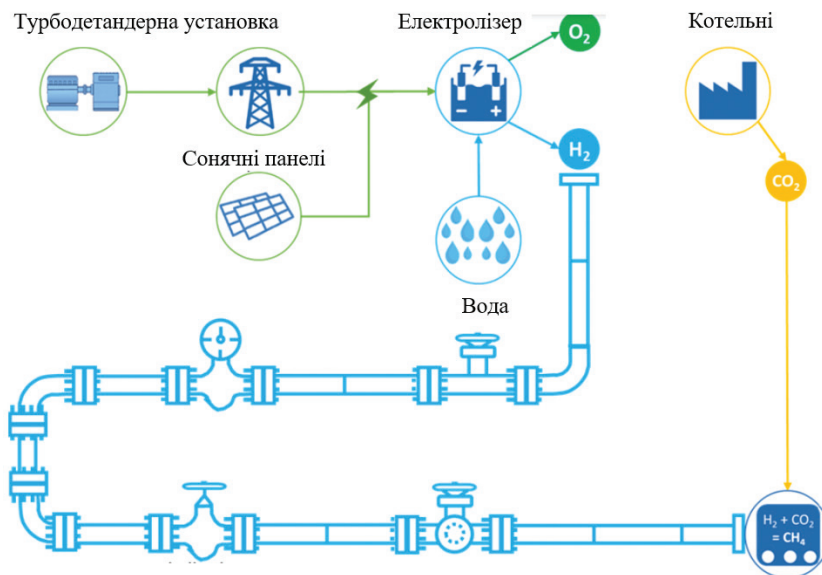


Рис. 2. Процес реалізації технології Power-to-Gas в м. Дніпро [8]

Треба зазначити, що у 2022 р. Європейська Комісія запустила Європейський водневий банк, щоб створити інвестиційну безпеку та бізнес-можливості для європейського та глобального виробництва відновлюваного водню. Він не створений як фізична установа, а є **інструментом фінансування**, яким керують служби Європейської Комісії.

Основна мета цього об'єкта – розблокувати приватні інвестиції в водневій ланцюги створення вартості як в ЄС, так і в усьому світі, шляхом підключення постачання відновлюваної енергії до попиту в ЄС і вирішення початкових інвестиційних проблем.

Єврокомісія планує запустити другий аукціон Європейського водневого банку до кінця 2024 р. Німеччина стала першою країною ЄС, яка взяла участь у схемі «аукціон як послуга». Він виділив 350 мільйонів євро зі свого національного бюджету на проекти з найвищим рейтингом у Німеччині, які не мали права на підтримку на рівні ЄС, але відповідають критеріям прийнятності. Ця додаткова фінансова вага допоможе залучити та фінансувати більше проектів з відновлюваної енергетики [11].

Більш широке використання водню в економіці тягне за собою потребу в інвестиціях і витратах на його виробництво, зберігання, розподіл і використання. Тому оцінки вартості водню є складними і потребують припущень щодо витрат енергії (як правило, газу та електроенергії), методу виробництва (електроліз води, парова конверсія метану, газифікація вугілля), використовуваних технологій (наприклад, електролізери з лужною або протоннообмінною мембраною), зберігання і методів розподілу, а також того, що різні елементи витрат можуть змінюватися з часом.

У наведеній нижче таблиці наведено діапазон оцінок вирівняних витрат на сірий, синій і зелений водень, виражених у доларах США за кг H_2 .

Таблиця 1

Виробництво сірого, синього та зеленого водню

Вид водню	Сірий водень	Синій водень	Зелений водень
Технологія виробництва	Парова конверсія метану		Електроліз води
Вуглеродомісткість, CO_2 -екв/кг H_2	9	1	0
Водний слід, кг води/кг H_2	14-17	13-17	9-18
Собівартість продукції, дол. США/кг H_2	1,0-1,9	1,4-2,4	2,6-6,6
Технологія виробництва	Газифікація вугілля		
Вуглеродомісткість, CO_2 -екв/кг H_2	20	2	
Водний слід, кг води/кг H_2	41-86	41-86	
Собівартість продукції, дол. США/кг H_2	1,6-1,8	2,0-2,2	

Джерело: складено автором за даними [12, 13, 14]

Діапазон оцінок витрат на комерційно доступні методи виробництва водню є широким. Найдешевше виробляти екологічно чистий водень із надлишкової відновлюваної енергії, яка інакше була б скорочена, що сприяє електролізерам, здатним реагувати на низькі та змінні рівні потужності.

Аналіз Goldman Sachs за 2022 р. передбачає, що світовий «зелений» водень досягне паритету витрат із сірим воднем до 2030 р. [15]. З точки зору вартості одиниці енергії, блакитний і сірий водень завжди коштуватимуть дорожче, ніж викопне паливо, яке використовується для його виробництва, тоді як зелений водень завжди коштуватиме дорожче, ніж відновлювана електроенергія, яка використовується для його виробництва.

Висновки. Таким чином, зелений водень, вироблений з відновлюваних джерел енергії, розглядається як одне з перспективних рішень для досягнення цілей декарбонізації в промисловості, сприяння розвитку відновлюваних джерел енергії, підвищення гнучкості енергетичної системи та забезпечення енергетичної безпеки країн. Окрім вищезазначених можливостей, застосування екологічно чистого водню може принести значну користь навколишньому середовищу порівняно з воднем, виробленим з викопного палива, який наразі є основним методом виробництва водню. Однак для того, щоб рухатися до розвитку цього майбутнього ринку водню в усьому світі, необхідно вирішити серйозні проблеми. Ці проблеми включають відносно високу вартість виробництва зеленого водню порівняно з іншими методами виробництва, непередбачуваність попиту на зелений водень і вплив проектів екологічного водню на землю та воду. Це також включає відсутність міжнародних стандартів і правил, а також схвалення громадськістю проектів «зеленого водню». Завдяки співпраці багатьох зацікавлених сторін, у тому числі підприємств, політиків, науково-дослідних організацій, ці проблеми вирішуються крок за кроком. Уряди також розробили водневі стратегії для своїх країн, намагаючись перейти до продуктивної та довготривалої водневої економіки.

В роботі визначено, що найбільшими потенційними можливостями розвитку водневої економіки в Україні на період до 2030 р. є:

- транспортування суміші водню з природним газом (гітану) ГТС України;
- виробництво метану із зеленого водню (синтетичний метан) шляхом реалізації технології Power-to-Gas.

Отже, готовність газотранспортних мереж до транспортування суміші водню з природним газом (гітану) сильно відрізняється в різних країнах ЄС. Галузь наразі на дуже ранній стадії становлення – на етапі пілотних проектів та досліджень. Технічні ліміти вмісту водню для транспортування суміші з природним газом в ЄС будуть визначені після оцінки стану усіх мереж ГТС. Кожен газопровід в мережі може мати різну межу, залежно від матеріалів та віку газопроводу. Змішування, швидше за все, буде тимчасовим, або перехідним рішенням, враховуючи існування технічного та економічного обмеження концентрації водню за обсягом, з яким може впоратись традиційна інфраструктура газу. Після того, як технології виробництва і транспортування чистого водню отримають ступінь необхідної зрілості, саме на це має бути спрямовано основний потік інвестицій та ресурсів.

Виробництво синтетичного метану шляхом реалізації технології Power-to-Gas надасть можливість у подальшому і суміш Гітан отримувати без використання викопного палива, що надасть можливість функціонування водневої економіки повністю без викопного палива.

Список використаних джерел

1. Markets & Markets Hydrogen Generation Market. Official website. URL: Available at: <https://www.marketsandmarkets.com>.
2. PwC. Official website. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>
3. Dawood F. Anda M. Shafiullah G.M. Hydrogen Production for Energy: An Overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020. 45. 3847–3869.
4. Calabrese M., Portarapillo M., Di Nardo A., Venezia V., Turco M., Luciani G., Di Benedetto A. Hydrogen Safety Challenges: A Comprehensive Review on Production, Storage, Transport, Utilization, and CFD-Based Consequence and Risk Assessment. *Energies*, 2024. 17. 1350.
5. Itaoka K., Saito A., & Sasaki K. Public perception on hydrogen infrastructure in Japan: Influence of rollout of commercial fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017. 42. 7290-7296.
6. Verfondern Karl. Safety consideration on liquid hydrogen. Germany: N., 2008. Web.
7. Ustolin F., Paltrinieri N., Landucci G. An innovative and comprehensive approach for the consequence analysis of liquid hydrogen vessel explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. 104323.
8. Gas Transmission System Operator of Ukraine. Official website. URL: <https://tsoua.com/>
9. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. EUROPEAN COMMISSION. 2020. Official website. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>
10. Белькова О. ЄС розглядає Україну як потужного партнера у генерації та постачанні водню до Європи. Як правильно скористатися цим шансом? *Epravda*. 2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/03/22/672179/>
11. European Hydrogen Bank EUROPEAN COMMISSION. Official website. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en
12. Global Hydrogen Flows - 2023 Update. (Hydrogen Council in collaboration with McKinsey & Company). Official website of the Hydrogen Council. URL: <http://www.hydrogencouncil.com>
13. Global Hydrogen Review 2021. Official website of the International Energy Agency. URL: <http://www.iea.org>
14. DATABASE Statista.com. Official website. URL: <https://www.statista.com/statistics/1179498/us-hydrogen-production-costs-forecast/>
15. Goldman Sachs Research. «Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution». Goldman Sachs. 2022. URL: <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution.html>

References

1. Markets & Markets Hydrogen Generation Market. (n.d.). Official website. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com>.
2. PwC. (n.d.). Official website. Available at: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>
3. Dawood, F. Anda, M. Shafiullah, G.M. (2020). Hydrogen Production for Energy: An Overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 3847–3869.
4. Calabrese, M., Portarapillo, M., Di Nardo, A., Venezia, V., Turco, M., Luciani, G., Di Benedetto, A. (2024). Hydrogen Safety Challenges: A Comprehensive Review on Production, Storage, Transport, Utilization, and CFD-Based Consequence and Risk Assessment. *Energies*, 17, 1350.
5. Itaoka, K., Saito, A., & Sasaki, K. (2017). Public perception on hydrogen infrastructure in Japan: Influence of rollout of commercial fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 7290-7296.
6. Verfondern, Karl. Safety consideration on liquid hydrogen. Germany: N. p., 2008. Web.
7. Ustolin, F., Paltrinieri, N., Landucci, G. (2020). An innovative and comprehensive approach for the consequence analysis of liquid hydrogen vessel explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 104323.
8. Gas Transmission System Operator of Ukraine. (n.d.). Official website. Available at: <https://tsoua.com/>
9. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. EUROPEAN COMMISSION. 2020. (n.d.). Official website. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>
10. Byel'kova, O. (2021). YES roz·hlyadaye Ukrayinu yak potuzhnoho partnera u heneratsiyi ta postachanni vodnyu do Yevropy. Yak pravyl'no skorystatsya tsym shansom? [The EU considers Ukraine as a powerful partner in the generation and supply of hydrogen to Europe. How to take advantage of this chance?]. *Epravda*. Available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/03/22/672179/>
11. European Hydrogen Bank EUROPEAN COMMISSION. (n.d.). Official website. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en
12. Global Hydrogen Flows - 2023 Update. (Hydrogen Council in collaboration with McKinsey & Company). (n.d.). Official website of the Hydrogen Council. Available at: <http://www.hydrogencouncil.com>
13. Global Hydrogen Review 2021. (n.d.). Official website of the International Energy Agency. Available at: <http://www.iea.org>
14. DATABASE Statista.com. (n.d.). Official website. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1179498/us-hydrogen-production-costs-forecast/>
15. Goldman Sachs Research. «Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution». Goldman Sachs. 2022. Available at: <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution.html>

THE POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF THE HYDROGEN ECONOMY IN UKRAINE UNTIL 2030

Svitlana A. Fedulova. Alfred Nobel University, Dnipro (Ukraine).

E-mail: sveta_fedulova@ukr.net

<https://doi.org/10.32342/2074-5362-2024-1-36-8>

Keywords: *hydrogen economy, hydrogen square, carbon-free economy, Power-to-Gas, economic potential, energy security*

JEL classification: *O13, O14, P28, Q56, Q57*

The proposed study is devoted to defining a set of means, methods and conditions that enable the creation of a sustainable and efficient hydrogen economy in Ukraine for the period up to 2030. The study itself is aimed at studying the features of the operation of the hydrogen square concept, which illustrates the various stages of the hydrogen value chain from production to final use, and the potential opportunities for the development of the hydrogen economy in Ukraine until 2030. Using the hydrogen square, safeguards across the entire hydrogen value chain – production, storage, transport and use – are discussed, highlighting the need for a balanced approach to ensure a sustainable and efficient hydrogen economy. It has been determined that the greatest potential opportunities for the development of the hydrogen economy in Ukraine for the period up to 2030 are the transportation of a mixture of hydrogen with natural gas (gitan) through the Ukrainian GTS and the production of methane from green hydrogen (synthetic methane) through the implementation of Power-to-Gas technology. It has been found that the readiness of gas transport networks to transport a mixture of hydrogen with natural gas (gitan) differs greatly in different EU countries, and the industry itself is currently at a very early stage of development. Blending is likely to be a temporary or transitional solution, given the existence of a technical and economic limit to the volume of hydrogen concentration that traditional gas infrastructure can handle. The possibility of using Power-to-Gas technology in Ukraine, in the city of Dnipro, is described. The production of synthetic methane through the implementation of the Power-to-Gas technology will provide an opportunity to obtain the gitan mixture without the use of fossil fuels in the future, which will enable the hydrogen economy to function completely without fossil fuels.

Одержано 27.01.2024.