

УДК 620.91: 621.47 (330.15)

JEL Q42, Q48, O13

DOI 10.32782/2786-8273/2025-9-3

Гнедіна К.В.

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки, обліку і оподаткування,
Національний університет «Чернігівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9471-0932>

Kateryna Hnedina

Chernihiv Polytechnic National University

Нагорний П.В.

аспірант кафедри економіки, обліку і оподаткування,
Національний університет «Чернігівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8311-2491>

Pavlo Nahorny

Chernihiv Polytechnic National University

РОЗВИТОК ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ: ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY IN THE CONTEXT OF TRANSITION TO A GREEN ECONOMY: GLOBAL TRENDS AND PROSPECTS FOR UKRAINE

Анотація. Стаття присвячена дослідженню сучасного стану, глобальних тенденцій та перспектив розвитку водневої енергетики в Україні. Актуальність дослідження зумовлена ключовою роллю здійснення водневої трансформації різних галузей промисловості, зокрема паливно-енергетичного комплексу в умовах декарбонізації економіки країни. За результатами проведеного дослідження висвітлено глобальні тенденції модернізації та розробки інновацій у галузі водневої економіки. Визначено особливості здійснення водневої трансформації в різних країнах світу. Проаналізовано досвід зарубіжних країн щодо розвитку, впровадження та підтримки функціонування водневих технологій. Досліджено потенціал України у видобуванні екологічно чистого «зеленого» водню. Запропоновано інструменти стимулювання розвитку та впровадження водневих технологій в Україні в контексті переходу до зеленої економіки.

Ключові слова: воднева економіка, воднева трансформація, воднева енергетика, водневі технології, зелений водень, зелена економіка, декарбонізація.

Abstract. Introduction. This article is dedicated to studying the current state, global trends, and development prospects of hydrogen energy in Ukraine. The relevance of this research is determined by the key role of hydrogen transformation in various industries, particularly in the fuel and energy sector, amid the country's economic decarbonization. **Purpose.** The purpose of this research is to identify global trends, challenges, and specific features of hydrogen energy development in the context of decarbonization, hydrogen transformation, and the transition to a green economy in Ukraine. **Methods.** The research employs various methods, including analysis and synthesis, induction and deduction, abstraction and concretization, comparison, and graphical methods. **Results.** The research identifies the key advantages and potential opportunities of using hydrogen as a universal energy source. It outlines the total value of the global hydrogen technology market and the distribution of different types of hydrogen based on their production methods. The research highlights global trends in modernization and innovation within the hydrogen economy. Regional features of hydrogen transformation in different countries are identified, with a detailed analysis of the experience of foreign countries in developing, implementing, and supporting hydrogen technologies. Additionally, the study explores Ukraine's potential for producing environmentally friendly "green" hydrogen. The role of hydrogen transformation in Ukraine's economy is examined in the context of European integration processes and national defense capabilities. Furthermore, the research identifies key barriers that hinder the development of Ukraine's hydrogen economy. **Conclusion.** Based on the research findings, several tools are proposed to stimulate the development and implementation of hydrogen technologies in Ukraine. These include improving the regulatory framework, developing financial and fiscal incentives for economic decarbonization, expanding hydrogen infrastructure, and constructing large-scale electrolyzers to produce hydrogen using renewable energy sources.

Keywords: hydrogen economy, hydrogen transformation, hydrogen energy, hydrogen technologies, green hydrogen, green economy, decarbonization.

Постановка проблеми. У світлі сучасних глобальних екологічних проблем одним із найбільш актуальних напрямів економічних досліджень є аналіз особливостей, перспектив і можливих методів та інструментів зменшення вуглецевого сліду, декарбонізації економіки кожної

країни та переходу до зеленої економіки. Одним із чинників прискорення переходу до зеленої економіки є розвиток економічної моделі, що заснована на використанні водню як основного енергоносія (розвиток водневої економіки). Ключова роль у прискоренні відповідних про-

цесів належить водневим технологіям з огляду на певні фізико-хімічні характеристики водню, завдяки яким уможливується його видобування та використання як універсального джерела енергії для потреб промисловості і транспорту. Водночас варто зауважити, що воднева енергетика та інфраструктура більшості країн світу перебуває на етапі становлення. Стимувальними факторами широкого впровадження водневих технологій є складність реалізації відповідних інноваційних проєктів, а також необхідність залучення значних обсягів інвестицій у водневу трансформацію, які подекуди сягають десятків мільярдів доларів. Втім, високий потенціал водню як універсального джерела енергії визначає перспективний стійкий розвиток глобальної водневої енергетики. При цьому варто зауважити, що в Україні наявні значні ресурси для розвитку водневої економіки. І хоча на сьогодні, в умовах повномасштабного російського вторгнення на територію України, можливості розробки та впровадження водневих технологій у різні галузі вітчизняної промисловості, зокрема у паливно-енергетичний комплекс, досить обмежені, майбутня воднева трансформація економіки країни спроможна перетворити Україну на одного з ключових гравців на глобальному ринку водневих технологій. Саме тому дослідження глобальних тенденцій та визначення перспектив розвитку водневої енергетики як однієї з ключових передумов переходу до зеленої економіки в Україні є надзвичайно актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та перспективи розвитку водневої енергетики в різних країнах світу та Україні, особливості переходу до водневої економіки, підходи до стимулювання водневої трансформації розглядають такі вітчизняні дослідники та експерти, як: Л.М. Смельяненко, О.В. Дмитрієва [5], О.О. Зеленько, Т.Г. Гуцан, І.В. Осьмірко [7], С.О. Кудря, О.О. Репкін, Л.В. Яценко, Л.Я. Шинкаренко, М.А. Ткаленко [9], О.М. Ободович, О.О. Переяславцева, Б.Я. Целень, Т.А. Резакова [11], Ю.О. Стельмашенко, В.Д. Філіппова [13] та інші.

Глобальні тенденції розвитку водневої енергетики активно досліджуються фахівцями з різних країн. Так, Л. Сун, Дж. Рен, Л. Донг аналізують проблеми розвитку водневої економіки в контексті забезпечення сталого розвитку. М. Расул, М. Хазрат і М. Саттар визначають виклики у сфері розвитку водневої енергетики в розрізі виробництва, зберігання та застосування водню. Міжнародний досвід декарбонізації економіки шляхом здійснення водневої трансформації досліджують Г. Рейгстад, Дж. Страус, Р. де Клер.

Незважаючи на ґрунтовні результати здійснених досліджень у галузі водневої енергетики, своєчасним та актуальним є проведення комплексного аналізу, співставлення глобальних тенденцій, визначення перспектив розвитку водневої енергетики в Україні.

Мета статті. Проведений аналіз наукових досліджень і публікацій з проблематики розвитку водневої енергетики підтвердив нагальну необхідність дослідження глобальних тенденцій та перспектив розвитку водневої економіки в Україні. Метою дослідження є визначення глобальних тенденцій, проблем та особливостей розвитку водневої енергетики в контексті здійснення декарбонізації, водневої трансформації та переходу до зеленої економіки в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із найбільш перспективних напрямів декарбонізації економіки та зменшення вуглецевого сліду країн в рам-

ках переходу до екологічно орієнтованих технологій та зеленої економіки є активна розробка та впровадження водневої енергетики як ключової складової загальної стратегії зеленого розвитку. Незважаючи на початковий етап розвитку відповідного напрямку енергетики в багатьох країнах, більшість дослідників справедливо розглядають водень як «паливо майбутнього».

Перша важлива перевага водню у порівнянні з іншими енергоносіями полягає в його великій енергоємності. Водень та деякі його промислово значимі леткі сполуки при згорянні виділяють тепла майже в 3,5 рази більше, ніж традиційно використовувані для таких цілей нафта та вугілля. Більш того, при згорянні водню не утворюються вуглецеві сполуки CO та CO₂, які, як відомо, зумовлюють парниковий ефект в атмосфері Землі. Продукт горіння водню – вода, утворення якої не призводить до негативних екологічних наслідків. Крім того, використання водню як чистого промислового компоненту можливе при виробництві аміаку, метанолу, сталі [11].

Можна стверджувати про вагоме значення водневих технологій для забезпечення становлення та розвитку зеленої економіки. Дійсно, воднева трансформація паливно-енергетичного комплексу призводить до декарбонізації енергетики, обмеження обсягів викидів в атмосферу вуглецевих сполук. Крім того, відмова від використання невідновлюваних природних ресурсів, зокрема природного палива (нафти, газу, вугілля тощо), та поступовий промисловий перехід до відновлюваних джерел енергії також є основоположним аспектом концепції зеленого розвитку. Саме тому водневу трансформацію можна розглядати як одну з ключових складових розвитку зеленої економіки.

Основними перевагами використання водню в енергетиці та промисловості є: велика енергоємність; зниження ресурсної залежності; зменшення обсягів шкідливих викидів, парникових газів, декарбонізація економіки; екологічна чистота, універсальність промислового використання [7; 11; 14; 15].

Варто зазначити, що не весь використовуваний в промисловості водень добутий екологічно чистим шляхом. Залежно від джерела походження прийнято розрізняти водень за кольорами. Так, найменш екологічним є «коричневий» водень, отриманий шляхом газифікації вугілля, під час якого в атмосферу виділяються значні обсяги парникових газів. До схожих негативних екологічних наслідків призводить технологічний процес конверсії метану, завдяки якому утворюється «сірий» водень. Якщо ж джерелом водню є природний газ, але шкідливі продукти вловлюються та обробляються, такий водень прийнято називати «блакитним». Найбільший екологічний потенціал у «зеленого» водню, утворюваного з використанням відновлюваних джерел енергії та технологічного процесу електролізу води. Станом на 2022 рік 99,6% промислового водню добувається «сірим» та «блакитним» шляхом [7].

Означені вище труднощі добування водню пов'язані з його відсутністю в придатному для промислового використання вигляді в природних джерелах. Водночас аспекти використання водню в промисловості, зокрема в енергетиці, не позбавлені й деяких інших практичних проблем. Насамперед використання водню вимагає високих стандартів безпеки, оскільки водень є легкозаймистою та вибуховою речовиною. Транспортування водню в рідкому стані можливе тільки при критично низьких температурах. Тому розбудова водневої енергетики та активне залучення водню в промисловість вимагає розвитку вод-

невої інфраструктури, що пов'язане з супутніми досить значними витратами держави та приватного сектору [7; 14]. Тим не менш, незважаючи на окреслені проблеми, ринок водневих технологій динамічно розвивається.

Станом на 2023 рік обсяг світового ринку виробництва та промислового використання водню сягав \$158,8 млрд. За актуальними даними передбачувані темпи щорічного зростання даного ринку перевищують 10%, тому до 2028 року очікується збільшення вартості ринку водневих технологій до \$257 млрд [5]. При цьому очікується зростання частки «зеленого» водню до позначки 12% до 2050 року [5].

Окремої уваги заслуговує ланцюг вироблення та використання водню. Станом на 2021 рік серед джерел походження промислового водню левову частку займав природний газ – 68%. Загалом 205 млрд кубометрів на рік природного газу (6% від світового споживання) використовується у технологічних процесах виготовлення водню. Частки інших вихідних речовин вугілля, нафта, екологічно чиста вода є незначними. Загалом понад 90% промислового водню споживається прямо на місці його вироблення [8].

Одним із найбільш актуальних трендів світового ринку водневих технологій є зростання частки «зеленого» водню. За прогнозами Bloomberg New Energy Finance, до 2050 року «зелений» водень зможе покрити 25% світової потреби в електроенергії [8]. Можливості переходу на екологічно чисті технологічні процеси виготовлення водню досліджують такі великі гравці ринку, як Air Liquide (Франція), Hexagon Purus (Норвегія), Linde plc (Ірландія), Air products and Chemicals, Inc. (США) та інші компанії, діяльність яких пов'язана з виробництвом та споживанням водню [18]. Проте швидкий розвиток водневої енергетики гальмують деякі чинники, головним серед яких є необхідність залучення значних фінансових коштів для реалізації кожного проєкту, спрямованого на розвиток водневих технологій. За оцінками Bloomberg New Energy Finance, на найближчі 10 років для забезпечення стабільного розвитку водневої економіки тільки з державних бюджетів необхідно витратити понад \$150 млрд [8]. Крім цього, держави мають стимулювати приватний сектор для впровадження технологій, заснованих на використанні водню. Для цього необхідно суттєво підвищити вуглецеві податки для виробників, діяльність яких призводить до утворення значних обсягів оксиду та діоксиду вуглецю.

Зарубіжні країни (Німеччина, Франція, Данія, Австралія, Японія та ін.) реалізують успішні ініціативи у сфері водневої енергетики [4; 5; 12; 15]. Розвитку ринку водневих технологій сприяє виникнення та функціонування стартап-компаній, які реалізують проєкти, пов'язані з утворенням, розподілом та споживанням водню. Наразі нараховується 1730 таких компаній, більшість з яких засновані в США та Європі, хоча окремі досить потужні стартапи в галузі водневої економіки створюються також в Індії [17].

На окрему увагу заслуговує огляд центрів розвитку водневої економіки, зокрема водневої енергетики, в контексті їх географічного розташування. Так, наразі найбільша кількість водневих ініціатив щорічно реалізується в Європі. Цьому сприяють скоординовані дії європейських країн, спрямовані на реалізацію Стратегії по зниженню викидів водню до 2050 року, а також загального Європейського зеленого курсу. Створюючи фінансові стимули для підприємств, що впроваджують водневі

технології у свою діяльність, а також інвестуючи значні кошти у високопотенційні проєкти водневої економіки, країни ЄС намагаються досягти показника виробництва 10 млн тонн відновлюваного водню до 2030 року [19].

Досить високими темпами розвивається воднева економіка і в регіоні Північної Америки, насамперед у США, де нещодавно запроваджені такі фінансові стимули, як податковий кредит на інвестиції у чистий водень. Уряд США також вкладає великі обсяги інвестицій у водневу економіку. Так, у березні 2023 року Міністерство енергетики США отримало \$750 млн на наукові дослідження, спрямовані на декарбонізацію енергетичного сектора країни, зокрема шляхом розвитку водневої енергетики. До 2030 року очікується перетворення регіону Північної Америки на найбільшого гравця глобального ринку водневих технологій [18; 19].

Значний розвиток водневої економіки відмічається в країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону. Лідерами у розвитку водневих технологій у цьому регіоні є такі країни: Китай, Японія, Індія, Австралія. У згаданих країнах реалізуються масштабні проєкти створення водневих трубопроводів, розбудови водневої інфраструктури, виробництва чистого «зеленого» водню. Не останню роль в цьому відіграє великий потенціал відновлюваних джерел енергії в країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону [19].

Варто згадати також регіон Близького Сходу та Північної Африки (MENA). Економіка країн даного регіону має два вагомні фактори стимулювання розвитку водневих технологій: вдале географічне розташування (велика кількість природних ресурсів відновлюваної енергетики) та значні обсяги вільного фінансового капіталу. Так, наприклад, вартість генерування сонячної енергії у країнах Перської затоки є однією з найнижчих у світі. Відповідно у деяких країнах регіону, таких як Оман і Саудівська Аравія, наразі створені потужні інноваційні проєкти у галузі водневої економіки. Тим не менш, країни MENA на даному етапі розвитку водневих технологій ще не спроможні лідувати на глобальному ринку виробництва та використання водню [18; 19]. Можна припустити, що владні установи згаданих держав не зацікавлені у здійсненні активної водневої трансформації паливно-енергетичного комплексу через можливість отримання значних прибутків у нафтогазовому секторі. Тому важливо залучати країни Близького Сходу та Північної Африки до підписання міжнародних угод і впровадження глобальних проєктів у сфері зеленої економіки.

Україна має вагомий потенціал розробки та подальшого впровадження водневих технологій в енергетичний сектор. Сприятливими чинниками розвитку вітчизняної водневої економіки є наявність значних обсягів природних відновлюваних ресурсів, а також функціонування великої газотранспортної мережі, яка за показником максимальних обсягів зберігання газу є третьою в світі та яка може бути використана для потреб зберігання та транспортування водню не тільки в Україні, а й за кордон. Відповідно, за розрахунками фахівців, потенційна сукупна потужність виробництва чистого «зеленого» водню на основі вітчизняних енергоресурсів перевищує 500 ГВт (337 млрд кВт/год). До 2050 року експорт України за оптимістичним прогнозом зможе задовольнити до 10% потреб країн ЄС у водні, а загальні обсяги видобутку водню за сприятливої державної політики складатимуть щонайменше 5 млрд м³ [6; 13]. При цьому активно здійснюватиметься

декарбонізація вітчизняної економіки, що відповідає виконанню зобов'язань України за підписаними міжнародними договорами екологічного спрямування: Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату, Кіотським протоколом, Паризькою кліматичною угодою тощо. Водночас стабільний розвиток водневих технологій є необхідною складовою Зеленого курсу ЄС, а отже важливим чинником стимулювання євроінтеграційних процесів України.

Вагомим є значення водневої трансформації вітчизняної економіки і в період повоєнного відновлення. Повномасштабне російське вторгнення на територію України призвело до значних руйнувань критичної та соціальної інфраструктури, в тому числі об'єктів енергетичного сектора. Частина зруйнованих енергооб'єктів використовували застарілі неекологічні технології видобування електроенергії. Відповідно повоєнна відбудова енергетики України має ґрунтуватися на дотриманні засад BBB (Build Back Better), тобто відновлені об'єкти мають використовувати більш ефективні та екологічно чисті технології для постачання електроенергії. В цьому контексті водневі технології виступають важливим чинником розвитку зеленої економіки. Інша важлива перевага водневих електролізерів та водневих паливних компонентів – децентралізація енергомережі України. Саме тому необхідність відбудови енергокомплексу України внаслідок повномасштабного вторгнення можна розглядати як один із факторів стимулювання розвитку вітчизняної водневої економіки.

Основою водневої трансформації будь-якої економіки є розробка та впровадження сучасних інноваційних водневих технологій. Більшість інноваційних проєктів зазначеного спрямування розробляються в установах НАН України та інших науково-дослідних інститутах, серед яких можна відзначити Інститут відновлюваної енергетики, Інститут вугільних енерготехнологій, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря, Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського тощо. До основних напрямів вітчизняних наукових досліджень у галузі водневої енергетики варто відносити пошук ефективних технологій виробництва водню з відновлюваних джерел, зберігання водню, а також застосування паливних комрок. Конкретні наукові проєкти у сфері водневих технологій, за якими отримано практично значущі результати: отримання водню з використанням геотермальних джерел енергії, пропозиція нових водень-акумуляуючих матеріалів, біотехнології отримання водню з харчових відходів тощо [11]. Водночас варто зауважити, що незважаючи на досить ґрунтовні отримані теоретичні результати в галузі водневої енергетики, дослідницьким командам не вистачає фінансування для закупівлі необхідного обладнання, реалізації всіх перспективних ідей, а також на низькому рівні перебуває координація зусиль з іншими науковими установами, освітніми закладами для масштабування дослідницьких робіт. Саме тому більшість отриманих вітчизняних розробок не знаходять свого широкого застосування в енергетиці та інших галузях.

Існують також інші проблеми розвитку вітчизняної водневої економіки. Так, ставка екологічного податку, як одного з головних стимулів впровадження промисловими підприємствами екологічно орієнтованих технологій, залишається однією з найнижчих у Європі навіть після проведених реформ екологічного оподаткування. Крім того, досі не затверджено розроблений проєкт Водневої стратегії України.

У лютому 2024 року Міністерство енергетики України опублікувало новий проєкт Водневої стратегії України. Даний стратегічно важливий документ передбачає можливість комплексного розвитку водневих технологій в Україні, розглядає потенціал розвитку за різними напрямками вітчизняної водневої економіки: від виробництва водню до його зберігання і використання. Під час розробки нового проєкту Водневої стратегії України враховано найбільш успішний світовий досвід здійснення водневої трансформації, розглядаються можливості залучення іноземних інвестицій у сектор водневої економіки. Значну увагу приділено необхідності розробки національних водневих стандартів, які відповідатимуть європейським і тим самим дещо спростять євроінтеграційні процеси у розрізі модернізації вітчизняної енергетики [2; 10].

Водночас проєкт Водневої стратегії України потребує уточнень. Так, у відповідному нормативному документі не зафіксовані основні принципи реалізації окреслених стратегічних цілей, недостатньо детально розглянуті необхідні послідовні кроки для їх досягнення. Також, запропоновані механізми вирішення проблем вітчизняної водневої економіки не представлені належним чином у Дорожній карті реалізації стратегічних цілей. До того ж, пропонується проєкт неповною мірою враховує актуальну критичну ситуацію української енергетики в умовах повномасштабного російського вторгнення в Україну, не розглядає розвиток водневих технологій у контексті повоєнного відновлення [2; 3]. Таким чином, можна стверджувати, що розроблений проєкт Водневої стратегії України потребує суттєвих доопрацювань, що забезпечить можливість її практичного втілення в умовах водневої трансформації вітчизняної економіки.

За результатами систематизації окреслених проблем водневої трансформації в Україні можна виокремити наступні стримувальні чинники, які обмежують стабільний та перманентний розвиток вітчизняної водневої економіки:

- недостатня державна підтримка водневої трансформації української економіки;
- необхідність спрямування всіх можливих вільних коштів на потреби забезпечення обороноздатності країни в умовах повномасштабного російського вторгнення;
- недостатній рівень взаємодії державного, приватного та освітньо-наукового секторів щодо впровадження водневих технологій;
- недостатній рівень екологічної відповідальності багатьох представників вітчизняного приватного сектора;
- недостатній рівень співпраці та міжнародних зв'язків України з іншими країнами щодо питань розвитку водневої економіки.

Враховуючи низку окреслених проблем та стримувальних факторів розвитку водневої енергетики в Україні, можна констатувати, що рівень впровадження водневих технологій у вітчизняну економіку залишається досить низьким. Відповідно необхідні скоординовані зусилля державної влади, приватного сектора та науково-освітніх установ з метою забезпечення водневої трансформації енергетичного сектора української економіки. При цьому доцільним є застосування наступних інструментів стимулювання розвитку та впровадження водневих технологій [1; 5; 9; 16]:

- удосконалення нормативно-правової бази водневої енергетики, затвердження планових документів розвитку даного енергетичного сектора (доопрацювання

проєкту та затвердження Водневої стратегії України на період до 2050 року, а також розробка Дорожньої карти розвитку водневої енергетики в Україні), внесення необхідних змін до податкового законодавства, законодавства у сфері інтелектуальної власності тощо;

- застосування фінансово-фінансових стимулів впровадження екологічно орієнтованих, зокрема водневих технологій на вітчизняних промислових підприємствах, заохочення проєктів модернізації виробничих потужностей компаній відповідно до засад водневої трансформації;

- державна підтримка інноваційних проєктів водневої економіки, формування відповідної інвестиційної політики, створення сприятливих умов діяльності компаній, які впроваджують інноваційні водневі технології, залучення вітчизняних та іноземних інвесторів у сферу водневої енергетики;

- будівництво потужних електролізерів для виробництва водню на основі відновлюваних джерел енергії, атомної енергії, використання природного газу з подальшою переробкою утворених відходів, часткове переоснащення окремих функціонуючих електростанцій (насамперед ГЕС, ГАЕС, АЕС) для потреб водневої економіки;

- розвиток водневої інфраструктури, використання провідних шляхів газотранспортної мережі для зберігання та транспортування водню, дослідження можливостей експортно-імпортних зв'язків із країнами ЄС у контексті міжнародної торгівлі воднем та водневими паливними елементами;

- активізація наукових досліджень у галузі водневих технологій, державне фінансування відповідних науково-дослідних тем, проєктів, надання науковим установам необхідної матеріально-технічної бази для комплексного проведення наукових досліджень, підтримка міжнародної співпраці з питань обміну досвідом розробки водневих технологій.

Комплексне поєднання інструментів стимулювання розвитку української водневої енергетики дозволить досягти високого рівня водневої трансформації та декарбонізації вітчизняної економіки, а також перетворення України на потужного гравця на світовому ринку водневих технологій.

Висновки. На сучасному етапі активної реалізації заходів обмеження шкідливих викидів та зменшення вуглецевого сліду в контексті декарбонізації економік різних країн, надзвичайно важливу роль відіграє впровадження в промисловості, зокрема в паливно-енергетичному комплексі інноваційних технологій, заснованих на видобуванні та використанні водню. Стрімкий розвиток глобального ринку водневих технологій підтверджують численні аналітичні дослідження, за прогнозами яких вже за 30 років щонайменше чверть світових потреб в електроенергії задовольнятиметься за рахунок використання екологічно чистого водню. Саме тому протягом останніх років більшість сучасних розвинених країн прийняли національні водневі стратегії, відповідно до яких передбачається державна підтримка та стимулювання ініціатив, спрямованих на розвиток водневої економіки. Вже зараз успішно функціонують деякі інноваційні проєкти у сфері розробки водневих паливних елементів, удосконалення технологічних процесів електролізу, транспортування водню, комбінованого виробництва тепла та електроенергії на основі суміші природного газу і водню тощо. У майбутньому глобальний перехід на водневі технології тільки посилюватиметься. За умови ефективної державної політики щодо розвитку водневої енергетики, Україна може гармонійно увійти до світового ринку водневих технологій та відігравати на ньому ключову роль. В Україні досить високий потенціал відновлюваних джерел енергії, наявна розвинута газотранспортна мережа, яка може використовуватися для зберігання та транспортування водню, проте ціла низка внутрішніх та зовнішніх факторів гальмують розвиток вітчизняної водневої енергетики. На основі аналізу успішного закордонного досвіду, наукових досліджень із окресленої проблематики, можна запропонувати певні інструменти стимулювання розвитку та впровадження водневих технологій, серед яких: удосконалення нормативно-правової бази, будівництво потужних електролізерів, державна підтримка інноваційних проєктів у сфері водневої економіки тощо. Комбіноване поєднання визначених інструментів сприятиме водневій трансформації енергетичного сектору в контексті декарбонізації вітчизняної економіки.

Бібліографічний список:

1. Воднева енергетика. Міністерство енергетики України. URL: <https://www.mev.gov.ua/reforma/vodneva-enerhetyka> (дата звернення: 24.09.2024).
2. Воднева стратегія України: проєкт / Міністерство енергетики України. Київ, 2024. 54 с. URL: <https://surl.li/etxhgi> (дата звернення: 20.01.2025).
3. Гнатенко О. Що не так з проєктом Водневої стратегії України-2050? LIGA.net. URL: <https://surl.li/agjklk> (дата звернення: 22.01.2025).
4. Данія інвестує 19 млн доларів США у виробництво водню. *Avenston*. URL: <https://avenston.com/articles/daniya-h2/> (дата звернення: 17.09.2024).
5. Смельяненко Л. М., Дмитрієва О. В. Контент-аналіз стратегічних ініціатив розвитку водневої економіки різних країн світу та України. *Трансформаційна економіка*. 2024. № 3 (08). С. 26–36.
6. Замазєєва Г. Водень: як світ розвиває енергетику майбутнього і як не відставати Україні. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/08/17/703302/> (дата звернення: 22.09.2024).
7. Зеленько О. О., Гуцан Т. Г., Осьмірко І. В. Воднева енергетика та перспективи її розвитку в економіці України. *Бізнес Інформ*. 2022. № 8. С. 20–26.
8. Каденський М. Водень називають інноваційним енергоносієм майбутнього. Як він може перекроїти глобальну енергетику. *Журнал Forbes Ukraine*. URL: <https://surl.li/lrnnff> (дата звернення: 02.09.2024).
9. Кудря С. О., Репкін О. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я., Ткаленко М. А. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 4. С. 22–28.
10. Міненерго опублікувало проєкт Водневої стратегії України. *Ukrainian Hydrogen Council*. URL: <https://surl.li/mbatry> (дата звернення: 22.01.2025).
11. Ободович О. М., Переяславцева О. О., Целень Б. Я., Резакова Т. А. Реалії сьогодення та перспективи майбутнього розвитку водневої енергетики у світі та в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2024. Т. 46. № 2. С. 52–61.

12. Репкін О. Водень як паливо – світовий тренд. Досвід яких країн і для чого може перейняти Україна. *LIGA.net*. URL: <http://surl.li/atnxrr> (дата звернення: 19.09.2024).
13. Стельмашенко Ю. О., Філіппова В. Д. Державна політика розвитку водневої енергетики як альтернативного джерела енергії. *Вісник ХНТУ*. 2023. № 1(84). С. 244–249.
14. Шевченко В. Г., Ляшенко В. І., Осадча Н. В. Світові тенденції розвитку водневої енергетики. *Вісник економічної науки України*. 2021. № 2. С. 17–26.
15. Шрайбер О. А., Дубровський В. В., Тесленко О. І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Т. 32 (71). № 5. С. 199–209.
16. Ярошенко Я. В., Бобров О. В., Колб А. А., Ципленков Д. В., Гребенюк А. М., Лобода А. Ю. Водень та перспективи водневої енергетики. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2023. № 75–8. С. 85–96.
17. Discover the Top 10 Hydrogen Trends in 2025. *StartUs Insights*. URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-hydrogen-economy-trends-innovations-in-2021/> (дата звернення: 09.09.2024).
18. Hydrogen Market by Sector (Generation Type (Gray, Blue, Green), Storage (Physical, Material), Transportation (Long, Short)), Application (Energy (Power, CHP), Mobility, Chemical & Refinery (Refinery, Ammonia, Methanol)), Region – Global Forecast to 2030. *MarketsandMarkets*. URL: <http://surl.li/ietnov> (дата звернення: 07.09.2024).
19. The Rise of Green Hydrogen: Stats, Trends, and Future Projections. *Plug*. URL: <https://www.plugpower.com/the-rise-of-green-hydrogen-stats-trends-and-future-projections/> (дата звернення: 11.09.2024).

References:

1. Vodneva enerhetyka. Ministerstvo enerhetyky Ukrainy [Hydrogen energy. Ministry of Energy of Ukraine]. Available at: <https://www.mev.gov.ua/reforma/vodneva-enerhetyka> (accessed September 24, 2024).
2. Ministry of Energy of Ukraine. (2015) Vodneva stratchiia Ukrainy : proiekt [Hydrogen Strategy of Ukraine: Project]. Kyiv, 54 p. Available at: <https://surl.li/etxhgi> (accessed January 20, 2025).
3. Hnatenko O. (2024) Shcho ne tak z proiektom Vodnevoi stratchii Ukrainy-2050? LIGA.net [What's wrong with the draft Hydrogen Strategy of Ukraine-2050? LIGA.net]. Available at: <https://surl.li/agjklk> (accessed January 22, 2025).
4. Daniia investuie 19 mln dolariv SSHa u vyrobnytstvo vodniu. *Avenston* [Denmark invests \$19 million in hydrogen production. Avenston]. Available at: <https://avenston.com/articles/daniya-h2/> (accessed September 17, 2024).
5. Yemelianenko L. M., Dmitrieva O. V. (2024) Kontent-analiz stratchichnykh initsiatyv rozvytku vodnevoi ekonomiky riznykh krain svitu ta Ukrainy [Content analysis of strategic initiatives for the development of the hydrogen economy in different countries of the world and Ukraine]. *Transformatsiina ekonomika – Transformational economy*, vol. 3(08), pp. 26–36.
6. Zamazieieva H. (2023) Voden: yak svit rozvyvaie enerhetyku maibutnoho i yak ne vidstavaty Ukraini. *Ekonomichna pravda* [Hydrogen: how the world is developing the energy of the future and how to keep up with Ukraine. *Ekonomichna pravda*]. Available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/08/17/703302/> (accessed September 22, 2024).
7. Zelenko O. O., Hutsan T. H., Osmirko I. V. (2022) Vodneva enerhetyka ta perspektyvy yii rozvytku v ekonomitsi Ukrainy [Hydrogen energy and prospects for its development in the economy of Ukraine]. *Biznes Inform – Business Inform*, vol. 8, pp. 20–26.
8. Kadenskyi M. (2021) Voden nazyvaiut innovatsiynym enerhonosiem maibutnoho. Yak vin mozhe perekroity hlobalnu enerhetyku. *Zhurnal Forbes Ukraine* [Hydrogen is called the innovative energy carrier of the future. How it can reshape the global energy sector. *Forbes Ukraine Magazine*]. Available at: <https://surl.li/lrmnff> (accessed September 2, 2024).
9. Kudria S. O., Riepkina O. O., Yatsenko L. V., Shynkarenko L. Ya., Tkalenko M. A. (2019) Kontseptsiiia dorozhnoi karty rozvytku vodnevoi enerhetyky Ukrainy na period do 2035 roku [Concept of a roadmap for the development of hydrogen energy in Ukraine for the period until 2035]. *Vidnovliuvana enerhetyka – Renewable energy*, vol. 4, pp. 22–28.
10. Minenerho opublikovalo proekt Vodnevoi stratchii Ukrainy. Ukrainian Hydrogen Council [The Ministry of Energy has published the draft Hydrogen Strategy of Ukraine. Ukrainian Hydrogen Council]. Available at: <https://surl.li/mbatry> (accessed January 22, 2025).
11. Obodovych O. M., Pereiaslavtseva O. O., Tselen B. Ya., Rezakova T. A. (2024) Realii sohodennia ta perspektyvy maibutnoho rozvytku vodnevoi enerhetyky u sviti ta v Ukraini [Current realities and prospects for the future development of hydrogen energy in the world and in Ukraine]. *Teplofizyka ta teploenerhetyka – Thermal physics and thermal power engineering*, vol. 2(46), pp. 52–61.
12. Riepkina O. (2021) Voden yak palyvo – svitovyi trend. Dosvid yakykh krain i dlia choho mozhe pereiniaty Ukraina. *LIGA.net* [Hydrogen as a fuel is a global trend. The experience of which countries and for what purpose can Ukraine adopt. LIGA.net]. Available at: <http://surl.li/atnxrr> (accessed September 19, 2024).
13. Stelmashenko Yu. O., Filippova V. D. (2023) Derzhavna polityka rozvytku vodnevoi enerhetyky yak alternatyvnogo dzherela enerhii [State policy for the development of hydrogen energy as an alternative energy source]. *Visnyk KhNTU – KhNTU Bulletin*, vol. 1(84), pp. 244–249.
14. Shevchenko V. H., Liashenko V. I., Osadcha N. V. (2021) Svitovi tendentsii rozvytku vodnevoi enerhetyky [Global trends in hydrogen energy development]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy – Bulletin of Economic Science of Ukraine*, vol. 2, pp. 17–26.
15. Shraiber O. A., Dubrovskiy V. V., Teslenko O. I. (2021) Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku vodnevoi enerhetyky u sviti [Current status and prospects for the development of hydrogen energy in the world]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific Notes of the V. I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences*, vol. 5(71), pp. 199–209.
16. Yaroshenko Ya. V., Bobrov O. V., Kolb A. A., Tsyplenkov D. V., Hrebenuk A. M., Loboda A. Yu. (2023) Voden ta perspektyvy vodnevoi enerhetyky [Hydrogen and prospects of hydrogen energy]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Collection of scientific papers of the National Mining University*, vol. 75–8, pp. 85–96.
17. Discover the Top 10 Hydrogen Trends in 2025. *StartUs* Available at: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-hydrogen-economy-trends-innovations-in-2021/> (accessed September 9, 2024).
18. Hydrogen Market by Sector (Generation Type (Gray, Blue, Green), Storage (Physical, Material), Transportation (Long, Short)), Application (Energy (Power, CHP), Mobility, Chemical & Refinery (Refinery, Ammonia, Methanol)), Region – Global Forecast to 2030. *MarketsandMarkets*. Available at: <http://surl.li/ietnov> (accessed September 7, 2024).
19. The Rise of Green Hydrogen: Stats, Trends, and Future Projections. *Plug*. Available at: <https://www.plugpower.com/the-rise-of-green-hydrogen-stats-trends-and-future-projections/> (accessed September 11, 2024).