

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

Ефективна економіка. 2025. № 8.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.8.88>

УДК 620.9:330.3:339.9

Н. В. Трушкіна,

*к. е. н., старший дослідник, старший науковий співробітник сектору
промислової політики та інноваційного розвитку відділу
промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр
індустріальних проблем розвитку НАН України, м. Харків*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7738>

Є. О. Луньов,

*здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю
051 «Економіка», Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8994-8409>

Л. Є. Луньов,

*здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю
051 «Економіка», Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3164-0508>

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СЕКТОРУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

N. Trushkina,

*PhD in Economics, Senior Research Fellow, Research Center for Industrial
Problems of Development of the NAS of Ukraine, Kharkiv*

Ye. Lunov,

Postgraduate Student, Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine, Kyiv

L. Lunov,

Postgraduate Student, Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine, Kyiv

GLOBAL TRENDS IN THE RENEWABLE ENERGY SECTOR DEVELOPMENT

В умовах стрімкого розвитку зеленої економіки проблеми трансформації енергетичної інфраструктури стають вкрай гострими і потребують проведення ґрунтовних наукових досліджень. З огляду на це, мета даної статті полягає у дослідженні й узагальненні особливостей використання ключових технологій розвитку відновлювальної енергетики у світі. Для досягнення поставленої мети дослідження використовувалися такі загальнонаукові методи: аналізу й синтезу, індукції та дедукції, абстрагування, порівняння, класифікації, структурно-логічного узагальнення, системний підхід.

У статті проаналізовано тенденції та закономірності розвитку сегментів світового ринку відновлювальної енергетики. У результаті проведеного дослідження встановлено, що на даний час у глобальному світі особливої актуальності набувають проблеми трансформації енергетичної інфраструктури у контексті реалізації кліматичної та енергетичної політик. При цьому світовий ринок (особливо європейський сегмент) є найпривабливішим для розвитку відновлювальної енергетики, який у майбутньому може стати «драйвером розвитку» національних економік країн світу. Для цього доцільним є формування екологічно спрямованої державної політики країн світу шляхом об'єднання зусиль щодо розроблення і прийняття стратегічних програм, експертної допомоги з боку міжнародних партнерів, фінансової підтримки модернізації енергетичного сектору. Слід зазначити, що необхідно приділяти увагу удосконаленню й впровадженню механізму фінансового забезпечення трансформації національної енергетичної інфраструктури з використанням нетрадиційних джерел фінансування.

Крім цього, потрібно внести зміни й доповнення до Енергетичних стратегій країн світу, у яких передбачити стале розширення використання усіх видів відновлюваної енергетики. Це, у свою чергу, може стати одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держав. Доведено, що перспективами подальших наукових досліджень має стати аналіз екологічних аспектів розвитку світової енергетичної системи в умовах кліматичних змін.

In the conditions of rapid development of the green economy, the problems of energy infrastructure transformation are becoming extremely acute and require thorough scientific research. In view of this, the purpose of this article is to study and summarize the features of the use of key technologies for the development of renewable energy in the world. To achieve the stated goal of the study, the following general scientific methods were used: analysis and synthesis, induction and deduction, abstraction, comparison, classification, structural and logical generalization, and a systemic approach.

The article analyzes the trends and patterns of development of segments of the global renewable energy market. As a result of the research, it was established that at present, in the global world, the problems of energy infrastructure transformation in the context of the implementation of climate and energy policies are gaining particular relevance. At the same time, the global market (especially the European segment) is the most attractive for the development of renewable energy, which in the future may become a “driver of development” of national economies of the world. For this purpose, it is advisable to form an environmentally oriented state policy of the countries of the world by combining efforts to develop and adopt strategic programs, expert assistance from international partners, and financial support for the modernization of the energy sector. It should be noted that it is necessary to pay attention to improving and implementing the mechanism for financial support for the transformation of the national energy infrastructure using non-traditional sources of financing.

In addition, it is necessary to make changes and additions to the Energy Strategies of the countries of the world, which provide for the sustainable expansion of the use of all types of renewable energy. This, in turn, can become one of the tools for guaranteeing the energy security of states. It is proved that the prospects for further scientific research should be the analysis of environmental aspects of the development of the world energy system in the context of climate change.

Ключові слова: енергетична система, розвиток енергетичної інфраструктури, енергетичний перехід, зміни клімату, відновлювальні джерела енергії, альтернативна енергетика, зелена трансформація, декарбонізація, зелені технології, екологічно чисті технології, енергетична безпека, сталий розвиток, світові тенденції.

Keywords: energy system, energy infrastructure development, energy transition, climate change, renewable energy sources, alternative energy, green transformation, decarbonization, green technologies, environmentally friendly technologies, energy security, sustainable development, global trends.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На даний час одним із перспективних напрямів трансформації енергетичної інфраструктури визнано розвиток сектору відновлювальної енергетики. Це обумовлено необхідністю зеленої трансформації енергетичної системи у країнах світу у рамках імплементації принципів енергетичного переходу. А це, у свою чергу, має позитивно вплинути на енергетичний баланс країн світу, забезпечити зростання частки відновлюваної енергетики та створення сприятливих умов для підвищення інвестиційної привабливості цієї сфери. Як стверджує вчений О. Суходоля [1], відмова від викопних видів палива, розширення використання відновлюваних джерел енергії, розвиток інтелектуальних мереж стали пріоритетом політики країн ЄС та акцентованого стимулювання впровадження таких технологій. При цьому енергетичні технології нового технологічного укладу є драйвером суттєвих структурних змін не тільки у системах та способах задоволення потреб споживачів в енергії, але й моделях економічного розвитку країн світу [1].

З точки зору дослідників Національного інституту стратегічних досліджень С. Іванюти та Л. Якушенко [2], перехід до чистої енергії має залучати споживачів і приносити їм користь. Джерела відновлюваної енергії відіграватимуть у цьому ключову роль. Розумна інтеграція відновлюваних

джерел енергії, енергоефективність та інші сталі рішення в окремих секторах допоможуть досягти декарбонізації за мінімально можливих витрат [2].

Це підтверджується й статистичними даними. Як показує міжнародна практика, в останні роки збільшується питома вага відновлювальної енергетики у більшості країн світу. Так, у 2022 р. частка відновлюваних джерел енергії у світовому енергетичному балансі збільшилася до 29,8%, тобто на 10 відсоткових пунктів порівняно з 2010 роком [3]. У країнах Європи амбітна політика у сфері відновлюваних джерел енергії та зниження витрат на виробництво електроенергії за допомогою сонячних і вітряних технологій стимулюють виробництво відновлюваної енергії та сприяють значному збільшенню питомої ваги відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі. У Європі частка відновлювальних джерел енергії у виробництві електроенергії зросла за 2000-2022 рр. на 22,9 в.п. або з 20,1 до 43% [3].

За даними Eurostat [4], обсяг енергоспоживання на основі відновлюваних джерел енергії та біопалива у країнах Європейського Союзу збільшився за 2000-2021 рр. у 2,3 рази або з 48806 до 110442 тис. т н.е. За цей період питома вага кінцевого споживання енергії на основі відновлюваних джерел у країнах ЄС зросла на 6,5 в.п. або з 5,3 до 11,8% загальносвітового обсягу. Варто відзначити, що частка вітрової та сонячної енергетики у світовому енергетичному балансі стабільно зростає, досягнувши у 2022 році 11,8%. Питома вага вітрової енергії у виробництві електроенергії у світі становила у 2022 році 7,3%, а сонячної – 4,5%. Частка вітрової та сонячної енергії в Європі збільшилася за 2000-2022 рр. на 20,8 в.п. або з 0,9 до 21,7% [5].

Отже, науковці наголошують, що розвиток відновлюваних джерел енергії сприяє розширенню та диверсифікації енергетичного портфолію країни, що зменшить ризики від змін на ринках енергоресурсів і коливань цін [6].

Тому теоретико-методологічні та практичні питання розвитку відновлювальної енергетики у світі потребують подальшого вивчення і вимагають глибокого дослідження, аналізу та поглиблення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу зелених та інноваційних технологій на моделі функціонування енергетичних систем і визначення пріоритетних напрямів адаптації існуючих моделей регулювання діяльності суб'єктів енергетичного сектору у контексті реалізації державної кліматичної політики широко висвітлюються у працях таких українських вчених, як А. Глущенко [7]; С. Іванюта, Л. Якушенко [2]; О. Суходоля [1; 8]; І. Чичкало-Кондрацька, А. Лекунович, Я. Легка [9] та інші.

Провідні зарубіжні (J.-P. Amigues et al. [10]; E. I. Cevik et al. [11]; Erdiwansyah et al. [12]; Y. Liu et al. [13]; G. Miller [14]; Y. Shang et al. [15]; E. Ustaoglu [16]) та вітчизняні (О. Гуцалюк та ін. [17]; С. Кудря та ін. [18]; Т. Мурована [19]; І. Олексів, А. Дрібнюк [20]; І. Приходько та ін. [21]; М. Савченко, Т. Романець [22]; О. Чумаченко [23]) науковці присвятили значну увагу теоретико-методологічним, інституційним, нормативно-правовим, організаційним, фінансовим, інвестиційним засадам стимулювання розвитку відновлювальної енергетики.

Вивченню особливостей і тенденцій розвитку альтернативної енергетики як стратегічного напрямку забезпечення енергетичної безпеки та стійкості економічної системи присвячено чимало наукових праць українських дослідників. Серед них: О. Гальцова та ін. [24]; О. Кубатко та ін. [6]; М. Кизим, В. Хаустова та ін. [25-27]; Н. Рязанова [28] та інші вчені.

Незважаючи на наявні ґрунтовні напрацювання вчених і фахівців-практиків, потребують поглибленого дослідження світові тенденції та закономірності розвитку відновлювальної енергетики. Важливість зазначеної проблематики, її актуальність і значущість вирішення обумовили вибір тематики дослідження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Означена проблема зумовила *мету даної статті*, яка полягає у дослідженні й узагальненні особливостей використання ключових технологій розвитку відновлювальної енергетики у світі. Для досягнення поставленої мети дослідження використовувалися такі загальнонаукові методи: аналізу й

синтезу, індукції та дедукції, абстрагування, порівняння, класифікації, структурно-логічного узагальнення, системний підхід.

Виклад основного матеріалу дослідження. Чиста енергетика переживає стрімке зростання, оскільки прискорюється впровадження кількох ключових технологій на основі підтримки політики та постійного скорочення витрат. З 2019 р. зростання чистої енергії випереджає зростання викопного палива у співвідношенні два до одного. Виробництво електроенергії з низьким рівнем викидів зросло майже на 2000 ТВт-год, приблизно на 20%, незважаючи на перебої в роботі гідроенергетики через посухи та незаплановані простої деяких атомних електростанцій. Навпаки, виробництво електроенергії на основі викопного палива зросло на 910 ТВт-год, приблизно на 5%, що менше, ніж зростання лише сонячної фотоелектричної енергії – 930 ТВт-год з 2019 р. – і нарівні зі збільшенням виробництва енергії вітру [29].

Глобальні інвестиції в чисту енергетику за цей період зросли майже на 50%, приблизно на 10% у середньому на рік. І складатимуть у 2024 р. майже 2 трлн дол. [29] Однак до 2030 р. інвестиції мають збільшитися приблизно до 4,5 трлн дол. на рік, щоб забезпечити те, що вимагається в сценарії NZE (Net Zero Emissions by 2050 Scenario), і розгортання чистої енергії має розширюватися: наразі воно значною мірою зосереджено в розвинутих економіках і Китаї [30].

Імпульс, що стоїть за технологіями чистої енергії, змінює перспективи щодо викидів навіть за поточними політичними параметрами. У STEPS (Stated Policies Scenario) прогнозується, що викиди CO₂ будуть на 6,5 Гт нижчими у 2030 р., ніж у базовому сценарії до Паризького сценарію 2015 р. (рис. 1).

У APS (Announced Pledges Scenario) розгортання семи ключових технологій чистої енергії – сонячна фотоелектрична енергія, енергія вітру, атомна енергія, електричні транспортні засоби, теплові насоси, низькі викиди водню та уловлювання вуглецю – становить близько три чверті пов'язаних з енергією CO₂ скорочення викидів між 2023 і 2035 рр. Розширення цих

технологій також є основним фактором, що сприятиме зниженню попиту на викопне паливо за сценарієм NZE [29].

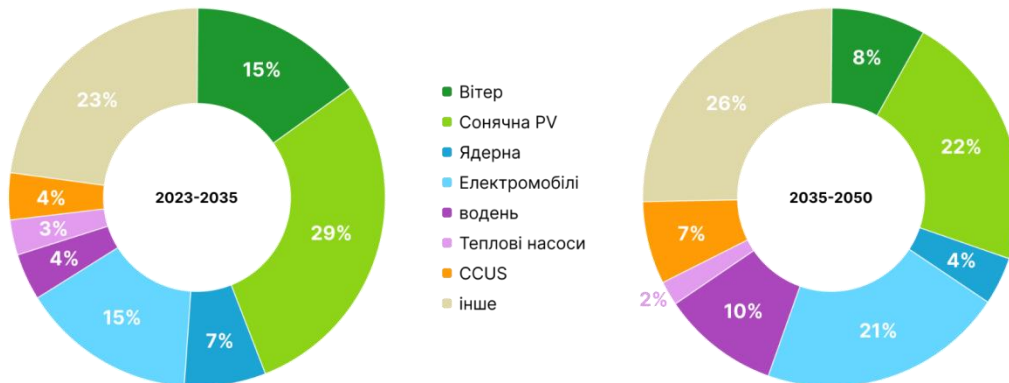


Рис. 1. Внесок технологій чистої енергії у скорочення викидів CO₂ від спалювання енергії в APS у 2023-2050 роки

Примітка: «Інше» включає підвищення енергоефективності, перехід на інші види палива, наприклад електрифікацію або перехід на біомасу, а також зміни поведінки.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

У 2023 р. збільшення сонячної фотоелектричної потужності зросло більш ніж на 80% і досягло 425 ГВт. Розгортання сонячної фотоелектричної системи зросло в 2,5 рази в Китаї, на який припало понад 60% усіх додаткових потужностей. Швидке розширення виробництва в Китаї призвело до зниження вартості фотоелектричних модулів на 50% з грудня 2022 р. Це, у свою чергу, підвищило конкурентоспроможність сонячної фотоелектричної системи та сприяло її поширенню. На країни з розвиненою економікою припадає більша частина зростання з додаванням потужностей майже на 60 ГВт у Європейському Союзі та понад 30 ГВт у Сполучених Штатах. У решті країн світу кількість сонячних фотоелектричних установок у 2023 р. перевищила 70 ГВт. До 2035 р. кількість фотоелектричних сонячних

електростанцій збільшиться майже на 60% у сценарії STEPS, подвоїться у сценарії APS і зросте у 2,5 рази у сценарії NZE [29] (рис. 2).

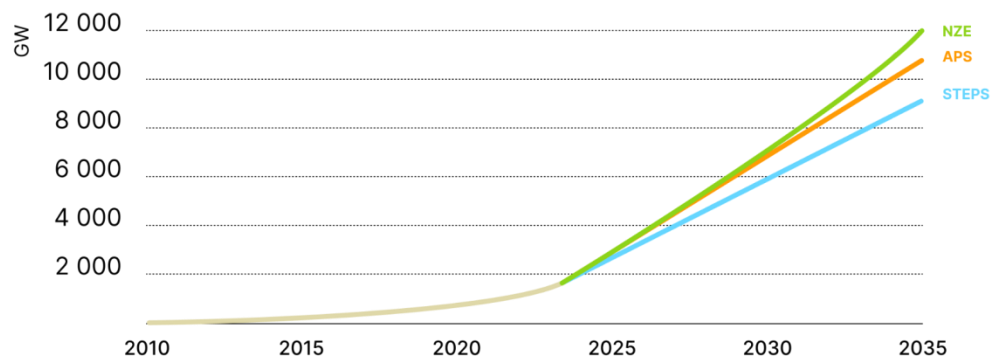


Рис. 2. Потужність сонячних фотоелектричних систем за сценаріями у 2010-2035 рр.

Примітка: APS (Announced Pledges Scenario); NZE (Net Zero Emissions by 2050 Scenario); STEPS (Stated Policies Scenario).

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Сьогодні сонячні фотоелектричні системи виробляють трохи більше 5% від загального виробництва електроенергії, але в 2030 р. вони збільшать свою частку до 17%, і, таким чином, вони відіграватимуть вирішальну роль у допомозі виконати обіцянку COP 28 (Conference of Parties, UNFCCC) щодо потроєння потужностей відновлюваних джерел до 2030 р. У 2035 р. сонячна фотоелектрична енергія випереджає вугільну та газову генерацію та стане основним джерелом електроенергії, забезпечуючи 25% загальної генерації за сценарієм STEPS, 30% за сценарієм APS і 35% за сценарієм NZE. Швидке зростання сонячної фотоелектричної енергії збільшує потребу в гнучкості енергосистеми для забезпечення безпеки електроенергії [29].

У 2023 р. збільшення потужностей вітроелектростанцій у всьому світі становило більш ніж на 50% і досягло 116 ГВт, перевищивши попередній рекорд у 2020 році (рис. 3).

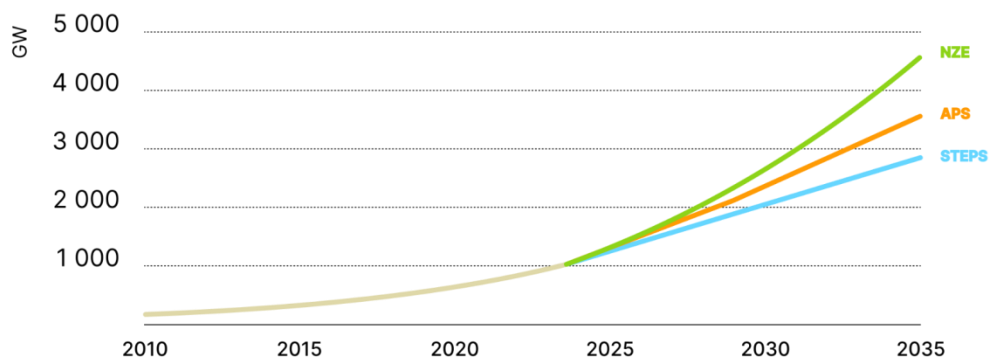


Рис. 3. Потужність вітрової енергії за сценаріями у 2010-2035 рр.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

На наземні вітрові проекти припадає 107 ГВт доповнень, що становить 92% від загального обсягу. На сьогоднішній день Китай збільшив потужність більше, ніж будь-яка інша країна, додавши 76 ГВт вітрової потужності, що становить 66% від загальної кількості. Розширення в країнах з розвинутою економікою було набагато нижчим: у Європейському Союзі збільшено лише 15 ГВт вітрових потужностей, нарівні з 2022 р., і трохи більше 6 ГВт у США, порівняно з понад 14 ГВт у 2020 р. і 2021 р.

Проте потужність у США і ЄС очікується, що в найближчі роки значно зросте, частково відображаючи довгострокову політичну підтримку, надану Законом США про скорочення інфляції, а також нещодавню політику Європейського Союзу щодо вирішення проблем, пов'язаних із повільним і складним отриманням дозволів. Такі проблеми, як вартість фінансування, невизначеність доходів і затримки в підключенні до електромережі, продовжують стримувати швидше розгортання, особливо на ринках, що розвиваються, і у країнах, що розвиваються, крім Китаю [29].

Сьогодні енергія вітру є найбільшим джерелом змінної відновлюваної електроенергії. Понад 60 країн встановили цілі щодо розгортання вітрової енергетики у рамках своїх кліматичних обіцянок. Цей вид відіграє центральну роль у зусиллях щодо виконання обіцянки COP 28 щодо потроєння

потужностей відновлюваних джерел енергії до 2030 р. Додаткова потужність вітрової енергії зростає за всіма сценаріями. Вітер стане другим за потужністю джерелом електроенергії у STEPS до 2035 р., перевищивши 2800 ГВт встановленої потужності та 7500 ТВт-год. Швидша електрифікація та прискорене розгортання електроенергії з низьким рівнем викидів призведе до того, що ці цифри збільшаться ще швидше, оскільки встановлена потужність вітру зросте до понад 3500 ГВт у сценарії APS і понад 4500 ГВт у сценарії NZE до 2035 р. [29].

У країнах, відкритих для цієї технології, ядерна енергетика може бути важливим джерелом електроенергії з низьким рівнем викидів. Зараз вона забезпечує 9% світової електроенергії. Вона може запропонувати потужність базового навантаження, підвищити стабільність і гнучкість мережі, а також оптимізувати використання потужності мережі, що робить її цінною частиною портфоліо технологій з низьким рівнем викидів, розроблених для досягнення нульових викидів до 2050 р. У 2023 р. п'ять нових ядерних реакторів сумарною потужністю 5,5 ГВт почали роботу у Китаї, Кореї, Словаччині та США. У поєднанні з 1,6 ГВт існуючих реакторів, які були перезапущені після призупинення експлуатації. Це компенсувало виведення ядерних потужностей на 6,3 ГВт у 2023 р., що призвело до чистого збільшення робочої ядерної потужності. За перші дев'ять місяців 2024 р. до мережі було підключено 4,5 ГВт нових ядерних потужностей з нових ядерних реакторів у Китаї, Індії, Об'єднаних Арабських Еміратах і США. Станом на жовтень 2024 р. на стадії будівництва перебувало 62 реактори потужністю близько 75 ГВт, що збільшило б ядерну потужність у всьому світі майже на 20% за умови підключення до систем електроенергії [29].

Як показує аналіз, атомні потужності та виробництво будуть збільшуватися в кожному сценарії, хоча й повільніше, ніж деякі інші енергетичні технології з низьким рівнем викидів (рис. 4). Ринки, що розвиваються, є рушійною силою цього зростання. Зокрема Китай, на частку якого припадатиме 40% світових ядерних потужностей за сценарієм STEPS до

2035 р. і майже 50% за сценарієм NZE. Ці прогнозовані доповнення означають, що Китай буде на шляху до того, щоб приблизно до 2030 р. мати найбільшу ядерну потужність у світі за кожним сценарієм [29].

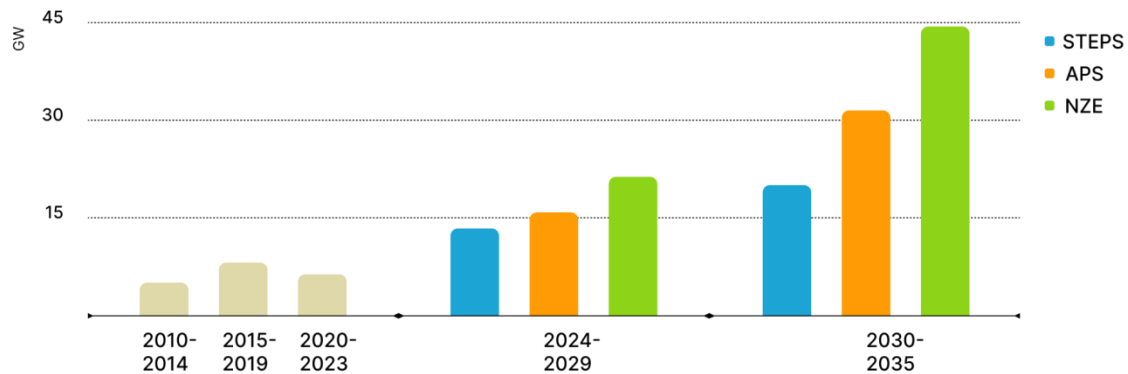


Рис. 4. Середньорічне збільшення потужностей атомної енергетики за сценаріями у 2010-2035 рр.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Малі модульні реактори розробляються у кількох розвинутих економіках, включаючи Канаду, Францію, Японію, Корею, Великобританію та США. Розробляють їх також і у Китаї. Якщо їх вдасться успішно вивести на ринок за «розумну» ціну, вони можуть створити нові можливості для ядерної енергетики на переважній більшості ринків у всьому світі.

Хоча на електромобілі зараз припадає близько 20% продажів нових автомобілів, вони складають менше 5% від загальної кількості автомобілів на дорогах. Низька маржа, висока інфляція, поступове скасування стимулів для купівлі у деяких країнах і відсутність громадської інфраструктури зарядки викликали питання про те, як швидко можна збільшити поширеність електромобілів. У 2023 р. світові продажі електромобілів, включаючи електричні акумулятори та гібриди, що підключаються до електромережі, досягли близько 14 млн одиниць. У першій половині 2024 р. продажі електромобілів зросли приблизно на 25% порівняно з тим самим періодом 2023 р., головним чином завдяки високим показникам у Китаї, на частку якого

припадає 60% світових продажів. Тільки у серпні 2024 р. продажі електромобілів у Китаї перевищили 1 млн, а загалом у 2024 році продажі перевищать 10 млн. Очікується, що до кінця 2024 року електромобілі становитимуть майже половину всіх автомобілів, проданих у Китаї. Очікується, що у 2024 р. продажі у світі становитимуть приблизно 17 млн, тобто більше, ніж кожен п'ятий проданий автомобіль.

За сценарієм STEPS частка продажів електромобілів зростає до 2023 р. до 55% (рис. 5).

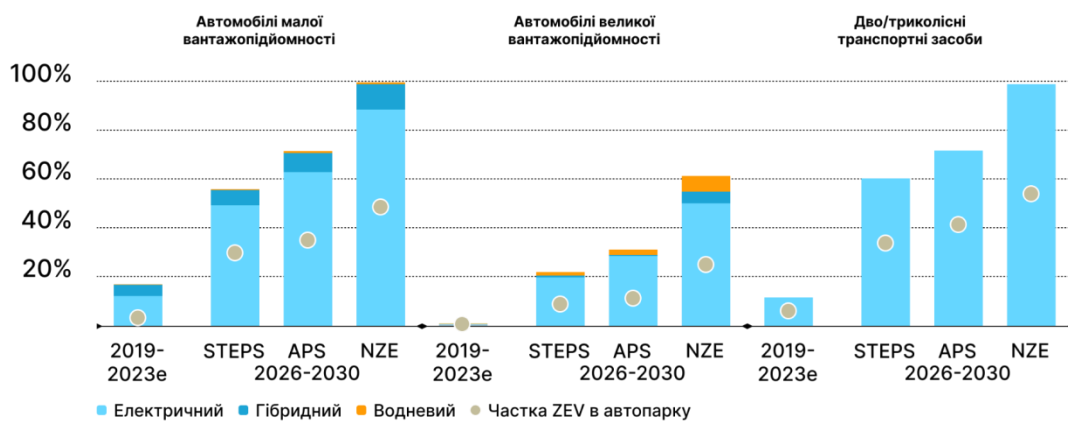


Рис. 5. Глобальна частка ринку транспортних засобів з нульовим рівнем викидів за типом та сценарієм у 2023-2035 рр.

Примітка: ZEV = транспортний засіб з нульовими викидами.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Основні чинники зростання включають швидке розширення китайського ринку електромобілів, запроваджені правила EPA (Environmental Protection Agency) у Сполучених Штатах, стандартів викидів CO₂ у Європейському Союзі і запуск нових моделей електромобілів на таких ринках, як Індія, Південно-Східна Азія та Латинська Америка. Постійне зниження вартості акумуляторів також відіграє певну роль: середні глобальні ціни на елементи акумуляторів опустяться нижче 80 дол. США/кВт-год протягом перших дев'яти місяців 2024 р. [29; 31].

Значні інвестиції за останні п'ять років призвели до того, що потужність виробництва акумуляторів набагато перевищила поточний попит. У 2023 р. глобальна потужність виробництва акумуляторів електромобілів становила близько 2,2 ТВт-год, тоді як попит – приблизно 750 ГВт-год. Тим не менш, поточна надлишкова ємність може тривати недовго: попит на акумулятори має зрости дуже швидко – більш ніж у чотири рази до 2030 р. за сценарієм STEPS, у п'ять разів за сценарієм APS і у сім разів за сценарієм NZE. Електромобілі стають доступнішими через загострення конкуренції, особливо в Китаї. Близько 60% електромобілів, які сьогодні продаються в Китаї, дешевші, ніж їх середній еквівалент двигуна внутрішнього згоряння. Але загалом електромобілі залишаються дорожчими, ніж їхні еквіваленти з ДВЗ у Європі та США, хоча багато залежить від конкретної країни та автомобільного сегменту [32].

Масове впровадження електромобілів вимагає виведення на ринок більш доступних моделей. Багато автовиробників планують випускати дешевші електричні моделі в Європі та США. Зниження цін на акумулятори також має підвищити доступність.

Варто відмітити, що сьогодні на теплові насоси припадає 12% продажів побутового опалювального обладнання в усьому світі. Вони вже випередили продажі систем опалення на основі викопного палива на деяких ринках, таких як Франція і США. До 2035 р. їхня частка ринку має зрости майже вдвічі за сценарієм STEPS, досягнувши приблизно 30% за сценарієм APS і 40% за сценарієм NZE [29] (*рис. 6*).

Однак у 2023 р. світові продажі теплових насосів впали на 3%, що стало зміною після двох років поспіль двозначного зростання, спричиненого енергетичною кризою. У Китаї продажі зросли на 12%, але це був єдиний великий ринок, який протистояв цій тенденції. Декілька факторів із різним регіональним впливом сприяли глобальному уповільненню, зокрема зниження цін на природний газ із пікових показників 2022 р.; зміни у політиці та субсидіях; зменшення обсягів будівництва нових будинків; незадоволеність споживачів через високі процентні ставки та інфляцію. Зменшення продажів

теплових насосів у 2023 р. також відображає більш широкий спад продажів опалювального обладнання у деяких регіонах світу. Широке застосування теплових насосів у різноманітних сферах життєдіяльності може допомогти досягти кліматичних цілей. Незважаючи на невелике падіння продажів у 2023 р., є підстави очікувати зростання у наступні роки. Теплові насоси стають все більш конкурентоспроможними з газовими котлами на ключових ринках протягом терміну служби [29].

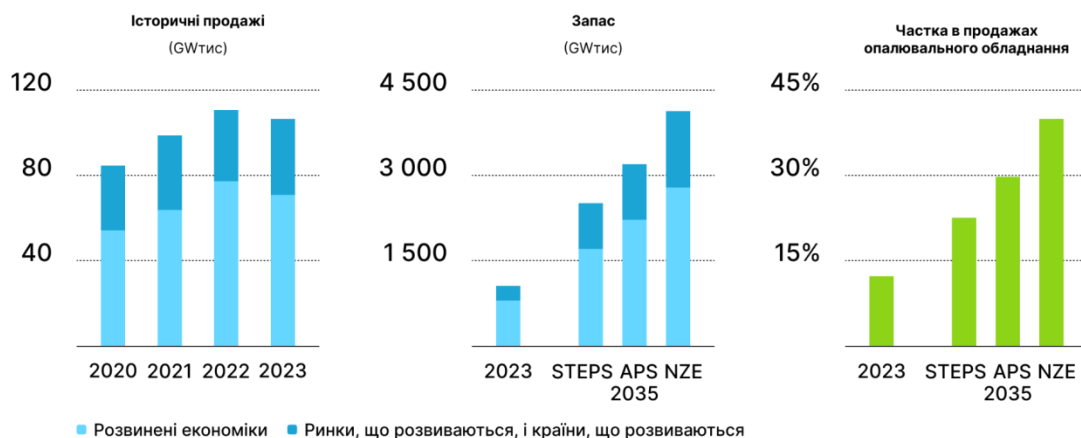


Рис. 6. Глобальні продажі та запаси теплових насосів за сценаріями у 2020-2035 рр.

Примітка: GWтис= теплові гігавати.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Якщо розглядати як охолодження, так і опалення, то вже теплові насоси являють собою один із найбільш економічно ефективних варіантів навіть на ринках, де ціни на природний газ відносно низькі (наприклад у США). Крім цього, є численні оголошення про інвестиції та майбутні заходи підтримки фінансування, такі як Закон про зниження інфляції у США, які спрямовані на розвиток місцевих виробничих можливостей і зниження витрат.

Незважаючи на досягнутий прогрес і прогнози зростання продажів, початкові витрати часто залишаються високими, особливо для домогосподарств із низьким і середнім доходом, а структура тарифів на електроенергію та податків на енергію все ще ставить теплові насоси в невідгідніші умови

порівняно з котлами на викопному паливі в деяких країнах світу. Збереження стабільної політики та субсидій для теплових насосів у довгостроковій перспективі, а також реформування тарифів на електроенергію і газ у контексті зниження цін на газ матиме вирішальне значення для забезпечення видимості учасників ринку, одночасно зберігаючи швидке розширення виробничих потужностей, яке спостерігається в останні роки. Зростаючі обсяги продажів вимагатимуть все більшої кількості кваліфікованих установників, що є ще одним питанням, яке слід розглянути урядам країн світу.

Світове виробництво водню досягло у 2023 р. 97 Мт, збільшившись майже на 2,5% порівняно з 2022 р. Виробництво залишається переважно залежним від викопного палива [29] (рис. 7).

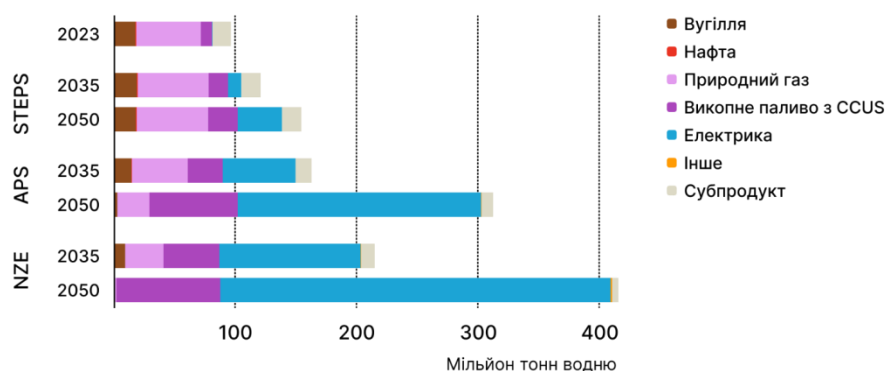


Рис. 7. Глобальне виробництво водню за технологіями та сценаріями у 2023-2050 рр.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Водень, вироблений з природного газу без CCUS (carbon capture, utilization and storage), становив 63% загального світового обсягу. Виробництво водню з низьким рівнем викидів у 2023 р. було менше 1 млн т водню (Mt H₂) і в основному отримано з викопного палива за допомогою технологій CCUS. Виробництво електролізу води було менше 100 тис. т водню (кт H₂) і в основному знаходиться в Китаї.

Виробництво водню з низьким рівнем викидів швидко зростає в APS, більш ніж потроївшись з 2035 р. по 2050 р. Однак воно залишається на рівні

двох третин рівня, необхідного в сценарії NZE до 2050 р. У 2023 р. світова встановлена потужність електролізерів води для спеціального виробництва водню досягла 1,4 ГВт, а потужність, додана в 2023 р., майже відповідала загальній глобальній встановленій потужності до 2022 р. Китай, на частку якого у 2020 р. припадало менше 10% глобальної встановленої потужності, відповідав за понад чотири п'ятих потужностей, які були введені в дію у 2023 р., включаючи найбільший у світі проект електролізера, завод Куца потужністю 260 МВт від Sinopec. [29].

Прогнозований рівень виробництва водню з низьким рівнем викидів у рамках анонсованих проєктів може досягти до 2030 р. 49 Мт H₂. За винятком тих, що знаходяться на дуже ранніх стадіях розробки, виробництво може перевищити до 2030 р. 26 Мт H₂ і може відповідати вимогам APS у 2030 р. для виробництва водню з низькими викидами. Однак ці 26 Мт H₂ буде складати лише 40% від загального виробництва водню з низьким рівнем викидів, необхідного за сценарієм NZE у 2030 р. Якщо включити проєкти на ранніх стадіях, 49 Мт H₂ становитимуть до 2030 р. три чверті прогнозованих потреб за сценарієм NZE. Найбільша частина залишкового розриву в цьому сценарії складається з низьких викидів водню, отриманого у результаті електролізу, тоді як виробництво з викопного палива за допомогою CCUS вже ближче до прогнозованого значення за сценарієм NZE [29].

До 2050 р. виробництво водню з низьким рівнем викидів в APS становитиме 82% світового виробництва водню завдяки його використанню у промисловості, транспорті, виробництві палива на основі водню та виробництві електроенергії. За сценарієм NZE, частка виробництва водню з низьким рівнем викидів складатиме 70% усього виробництва водню до 2035 р., і зростатиме до 95% до 2050 р. Водень з низьким рівнем викидів, вироблений з викопного палива за допомогою технологій CCUS, становить понад 20% загального виробництва водню як за сценарієм APS, так і NZE до 2050 р., уловлюючи понад 585 Мт CO₂ за APS і близько 615 Мт CO₂ за сценарієм NZE [29].

До 2050 р. на глобальне виробництво електролізера припадатиме 65% загального виробництва водню за сценарієм APS і майже 80% за NZE. Це потребує установки електролізера потужністю 2000 ГВт за сценарієм APS і 3000 ГВт за NZE. Потужності відновлюваної енергетики необхідно буде значно збільшити, щоб задовольнити попит на електроенергію, який виникає у результаті виробництва водню з низьким рівнем викидів [29].

До 2050 р. встановлена потужність відновлюваних джерел енергії для виробництва водню досягне 3000 ГВт за сценарієм APS і майже 5000 ГВт за NZE, причому майже 80% цієї потужності надходить від сонячної фотоелектричної енергії. Спеціальна генерація відновлюваних джерел енергії для виробництва водню становитиме понад 10% світового виробництва електроенергії за APS до 2050 р. і 15% за NZE. Глобальна торгівля воднем і паливом на основі водню зросте у 2050 р. майже до 60 млн т водневого еквіваленту (Mt H₂-екв) за сценарієм APS і майже 75 Mt H₂-eq за NZE, що становить близько 20% загального попиту на водень із низьким рівнем викидів в обох сценаріях. Це вимагає розвитку розгалуженої інфраструктури для зберігання та транспортування як водню, так і аміаку, навіть якщо деякі елементи існуючої інфраструктури для викопного палива можуть бути використані.

Аналіз свідчить, що система уловлювання, утилізації та зберігання вуглецю (CCUS, carbon capture, utilization and storage) наразі використовується приблизно на 45 об'єктах у всьому світі з потужністю уловлювання приблизно 50 Мт CO₂ на рік. Хоча розширення операційної потужності в останні роки відбувалося повільно, оголошені проєкти вказують на потенційне значне зростання. Реалізація усіх проєктів, анонсованих у всьому світі, які можуть бути завершені до 2030 р., становитиме 435 Мт CO₂ потужностей уловлювання та близько 615 Мт CO₂ обсягу зберігання на рік. Однак це далеко не гарантовано, оскільки лише 20% оголошеної ємності захоплення та 15% оголошеної ємності зберігання досягли остаточного інвестиційного рішення або вже працюють [33].

На наступне десятиліття список оголошених проєктів не відповідає тому, що необхідно для уловлювання 1,3 Гт CO₂ у всьому світі до 2035 р. відповідно до сценарію APS і ще нижче 2,5 Гт CO₂ необхідні за NZE (рис. 8). Щоб наблизитися до цільових показників NDC (Nationally Determined Contribution) і чистих нульових викидів, необхідні нові проєкти зі скорочення викидів від електростанцій, які працюють на викопному паливі, і у промислових процесах, які важко витримати. Як за сценарієм APS, так NZE технологія CCUS також використовується для виробництва водню з низьким рівнем викидів із природного газу, що становить 10-15% від загальних викидів, які щорічно збираються до 2050 р. [29].

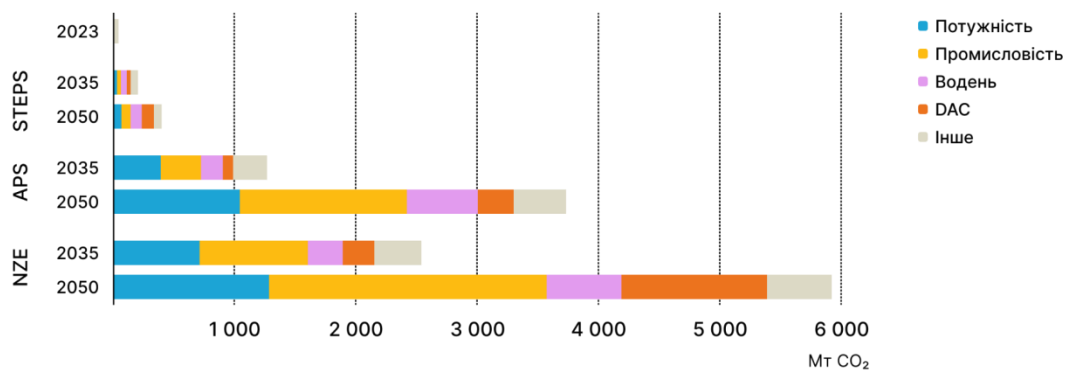


Рис. 8. Глобальні щорічні викиди CO₂ за секторами та сценаріями у 2023-2050 рр.

Примітка: DAC = пряме захоплення повітря; Mt CO₂ = млн т вуглекислого газу.

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання джерела [29].

Уловлювання та утилізація вуглекислого газу з атмосфери збільшується, особливо за сценарієм NZE, щоб досягти 1,2 Гт CO₂ до 2050 р., або п'ята частина усіх уловлених викидів. В енергетичному секторі технології уловлювання вуглецю дають змогу значно зменшити CO₂ викиди від вугільних електростанцій, які викинули 11,3 Гт CO₂ у 2023 р., або майже 30% світового обсягу CO₂, пов'язаного з енергетикою. Сьогодні працює близько 9000 вугільних установок, багато з яких мають потенційно тривалий термін служби.

CCUS може зіграти роль у зменшенні їхніх викидів, щоб зберегти кліматичні цілі у межах досяжності. У рамках STEPS уловлювання вуглецю в енергетичному секторі досягає обмеженого прогресу, оскільки кілька проєктів досягли стадії остаточного інвестиційного рішення, і є кілька конкретних політичних цілей. Однак за сценаріями APS і NZE уловлювання вуглецю швидко розширюється до 2035 р. і далі, досягаючи приблизно 1050 Мт CO₂ за сценарієм APS і 1300 Мт CO₂ за NZE до 2050 р. Це підтримує скорочення викидів для вугільних електростанцій, досягнуте за цими сценаріями, разом із перепрофілюванням їх для забезпечення гнучкості, модернізації задля використання аміаку з низьким рівнем викидів або передчасним виведенням з експлуатації [34].

У промисловому секторі наразі існує великий розрив між оголошеннями про проєкт і необхідними темпами уловлювання викидів у APS до 2035 року. Сьогодні в промисловості працює близько 4,5 млн. тонн потужностей уловлювання, а ще 39 млн. тонн запланованих потужностей перейшли до етапу ТЕО або далі. Однак, навіть якби вся запланована потужність була реалізована, вона була б значно меншою за 330 Мт CO₂/рік, охоплених APS до 2035 року, половина з яких, за прогнозами APS, буде розгорнута в цементному підгалузі, а більша частина решти – у виробництві хімічних речовин і сталі [29].

Завдяки оголошенням про проєкти та реалізації політик, таких як Закон США про зниження інфляції, канадський інвестиційний податковий кредит CCUS і Система торгівлі викидами ЄС, дві третини розгортання в 2030 р. за сценарієм APS припадає на країни з розвиненою економікою. Ці інноваційні проєкти та допоміжні політики демонструють доцільність і покращують конкурентоспроможність технологій уловлювання вуглецю. Проте дві третини розгортання CCUS у промисловому секторі до 2035 р., за прогнозами, припадатимуть на країни з ринком, що розвивається, і країни, у яких зосереджено енергоємні галузі.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Отже, у результаті проведеного дослідження встановлено, що на даний час у

глобальному світі особливої актуальності набувають проблеми трансформації енергетичної інфраструктури [35-38] у контексті реалізації кліматичної та енергетичної політик. При цьому світовий ринок (особливо європейський сегмент) є найпривабливішим для розвитку відновлювальної енергетики, який у майбутньому може стати «драйвером розвитку» національних економік країн світу.

Для цього доцільним є формування екологічно спрямованої державної політики країн світу шляхом об'єднання зусиль щодо розроблення і прийняття стратегічних програм, експертної допомоги з боку міжнародних партнерів, фінансової підтримки модернізації енергетичного сектору.

Слід зазначити, що необхідно приділяти увагу удосконаленню й впровадженню механізму фінансового забезпечення трансформації національної енергетичної інфраструктури з використанням нетрадиційних джерел фінансування [37].

Крім цього, потрібно внести зміни й доповнення до Енергетичних стратегій країн світу, у яких передбачити стале розширення використання усіх видів відновлюваної енергетики. Це, у свою чергу, може стати одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держав.

У подальших дослідженнях планується розглянути екологічні аспекти розвитку світової енергетичної системи в умовах кліматичних змін.

Література

1. Суходоля О. М. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання: аналіт. доп. Київ: НІСД, 2022. 36 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>.

2. Європейський зелений курс і кліматична політика України: аналіт. доп. / С. П. Іванюта, Л. М. Якушенко; за заг. ред. А. Ю. Сменковського. Київ: НІСД, 2022. 95 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.12>.

3. Share of renewable energy sources in electricity production. *Enerdata*. 2022. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (дата звернення: 16.06.2025).

4. Energy Balances for 2000-2021. *Eurostat*. 2021. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956218/Energy-balance-sheets-February-2021-edition.zip/4b1d6665-f303-be7d-a7e5-1e0da16ec0d9?t=1612709565471> (дата звернення: 16.06.2025).

5. Share of wind and solar energy in electricity production. *Enerdata*. 2022. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html> (дата звернення: 16.06.2025).

6. Кубатко О., Калініченко Л., Треус А., Лінь Д., Міщенко Я. Альтернативна енергетика як напрямок енергетичної стійкості країни. *Підприємництво та інновації*. 2024. № 32. С. 64-70. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/32.10>.

7. Глущенко А. М. «Зелений» енергетичний перехід як драйвер низьковуглецевої економіки: досвід ЄС. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 76. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-13>.

8. Енергетична безпека України: перспективна модель управління ризиками: монографія / О. М. Суходоля, Ю. М. Харазішвілі, Г. Л. Рябцев; за ред. О. М. Суходолі. Київ: НІСД, 2023. 152 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-book.2023.01>.

9. Чичкало-Кондрацька І. Б., Лекунович А. Ю., Легка Я. В. Перспективи та інструменти впровадження «зелених» технологій у зарубіжних країнах. *Ефективна економіка*. 2019. № 10. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.10.13>.

10. Amigues J.-P., Kama A. A. L., Moreaux M. Equilibrium transitions from non-renewable energy to renewable energy under capacity constraints. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2015. Vol. 55. P. 89-112. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2015.04.001>.

11. Cevik E. I., Yıldırım D. Ç., Dibooglu S. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in the US: A Markov-Switching VAR analysis. *Energy and Environment*. 2021. Vol. 32. Iss. 3. P. 519-541. <https://doi.org/10.1177/0958305X20944035>.
12. Erdiwansyah, Mahidin, Mamat R. et al. Target and demand for renewable energy across 10 ASEAN countries by 2040. *Electricity Journal*. 2019. Vol. 32. Iss. 10. Article 106670. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106670>.
13. Liu Y., Hu Z., Liu Z. Pattern of patent-based renewable energy technology innovation in China. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 2016. Vol. 9. Iss. 4. P. 1815-1823.
14. Miller G. Beyond 100 % renewable: Policy and practical pathways to 24/7 renewable energy procurement. *Electricity Journal*. 2020. Vol. 33. Iss. 2. Article 106695. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106695>.
15. Shang Y., Han D., Gozgor G., Mahalik M. K., Sahoo B. K. The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States. *Renewable Energy*. 2022. Vol. 197. P. 654-667. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.159>.
16. Ustaoglu E. Extreme return connectedness between renewable energy tokens and renewable energy stock markets: evidence from a quantile-based analysis. *Environmental science and pollution research international*. 2024. Vol. 31. Iss. 4. P. 5086-5099. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31563-9>.
17. Hutsaliuk O., Havrylova N., Alibekova B., Rakayeva A., Bondar I., Kovalenko Y. Management of Renewable Resources in the Energy Sector: Environmental, Economic and Financial Aspects. *Circular Economy for Renewable Energy. Green Energy and Technology* / Edited by V. Koval, P. Olczak. Cham: Springer, 2023. P. 69-89. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0_5.
18. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
19. Мурована Т. О. Сучасний стан і тенденції інвестування у розвиток відновлювальних джерел. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 7. С. 15-19.

20. Олексів І. Б., Дрібнюк А. М. Аналіз сучасних інструментів інвестування у відновлювальну енергетику України. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2023. № 2(9). С. 315-325.

21. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлювальної енергетики в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 62. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47>.

22. Савченко М. В., Романець Т. П. Інвестиції у відновлювальну енергетику: світові тренди та сучасні інструменти. *Бізнес Інформ*. 2024. № 3. С. 23-30. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-23-30>.

23. Чумаченко О. Роль відновлюваних джерел енергії у електроенергетичному балансі України. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2022. № 3(67). С. 39-47. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47>.

24. Гальцова О. Л., Перевозова І. В., Максименко Т. О. Прийняття управлінського рішення при переході на альтернативні джерела енергії на підприємстві. *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Сер.: Економічні науки*. 2020. № 2(42). С. 72-82. <https://doi.org/10.31388/2519-884X-2020-42-72-82>.

25. Wang D., Gryshova I., Balian A., Kyzym M., Salashenko T., Khaustova V., Davidyuk O. Assessment of Power System Sustainability and Compromises between the Development Goals. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article 2236. <https://doi.org/10.3390/su14042236>.

26. Економічна доцільність виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні: кол. монографія / М. О. Кизим, В. Є. Хаустова, Д. М. Костенко, Є. І. Котляров, Т. І. Салашенко, І. О. Губарева. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2023. 242 с.

27. Обґрунтування створення виробництва синтетичного моторного палива з вугілля в Україні: кол. монографія / В. Є. Хаустова, М. О. Кизим, Є. І. Котляров, І. В. Шульга, І. О. Губарева, В. В. Шпілевський, Т. І. Салашенко,

Д. М. Костенко, М. М. Хаустов; за ред. В. Є. Хаустової. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2024. 514 с.

28. Рязанова Н. О. Економічний розвиток альтернативної енергетики в Україні: теорія, методологія, стратегічні орієнтири. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2020. 415 с.

29. World Energy Outlook 2024. Paris: International Energy Agency, 2024. 398 p.

30. World Energy Investment 2024. Paris: International Energy Agency, 2024. 219 p.

31. Asian NCM cell prices fall to lowest levels in over three years. *Benchmark Minerals*. 2024. 25 June. URL: <https://source.benchmarkminerals.com/article/asian-ncm-cell-prices-fall-to-lowest-levels-in-over-three-years> (дата звернення: 17 червня 2025 р.).

32. Global EV Outlook 2024. Moving towards increased affordability. Paris: International Energy Agency, 2024. 174 p.

33. Fajardy M., Greenfield C. It is time for CCUS to deliver. *International Energy Agency*. 2024. 15 March. URL: <https://www.iea.org/commentaries/it-is-time-for-ccus-to-deliver> (дата звернення: 21 червня 2025 р.).

34. Coal in Net Zero Transitions. Strategies for rapid, secure and people-centred change. Paris: International Energy Agency, 2022. 224 p.

35. Trushkina N., Pahlevanzade A., Pahlevanzade A., Maslennikov Ye. Conceptual provisions of the transformation of the national energy system of Ukraine in the context of the European Green Deal. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2021. Vol. 24. Iss. 4. P. 121-138. <https://doi.org/10.33223/epj/144861>.

36. Луцьов Є. О. Управління відновлювальними ресурсами в енергетиці в контексті забезпечення економічної стійкості енергетичних систем. *Вісник економічної науки України*. 2023. № 1(44). С. 139-150. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1\(44\).139-150](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1(44).139-150).

37. Kwilinski A., Khaustova V., Trushkina N. Transformation of the Energy Infrastructure in the Context of the Implementation of the European Green Deal.

Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control / Edited by V. Babak, A. Zaporozhets. Cham: Springer, 2024. Vol 561. P. 59-79. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_3.

38. Луцьов Є. О., Луцьов Л. Є., Трушкіна Н. В. Інвестиційне забезпечення розвитку енергетичних систем: світові тренди та інструментарій. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. 2024. № 2(32). С. 73-96. [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2024-2\(32\)-006](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2024-2(32)-006).

References

1. Sukhodolya, O. M. (2022), *Novitni enerhetychni tekhnolohiyi ta yikh vplyv na funktsionuvannya system enerhopostachannya* [New energy technologies and their impact on the functioning of energy supply systems], National Institute for Strategic Studies, Kyiv, Ukraine.

2. Ivanyuta, S. P., Yakushenko, L. M. and Smenkovskyi, A. Yu. (2022), *Yevropeyskyy zelenyy kurs i klimatychna polityka Ukrayiny* [European Green Deal and Climate Policy of Ukraine], National Institute for Strategic Studies, Kyiv, Ukraine.

3. Enerdata (2022), “Share of renewable energy sources in electricity production”, available at: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (Accessed 16 June 2025).

4. Eurostat (2021), “Energy Balances for 2000-2021”, available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956218/Energy-balance-sheets-February-2021-edition.zip/4b1d6665-f303-be7d-a7e5-1e0da16ec0d9?t=1612709565471> (Accessed 16 June 2025).

5. Enerdata (2022), “Share of wind and solar energy in electricity production”, available at: <https://energystats.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html> (Accessed 16 June 2025).

6. Kubatko, O. et al. (2024), “Alternative energy as a direction of the country's energy sustainability”, *Entrepreneurship and innovation*, vol. 32, pp. 64-70, <https://doi.org/10.32782/2415-3583/32.10>.

7. Glushchenko, A. (2025), “Green” energy transition as a driver of a low-carbon economy: the EU experience”, *Economy and Society*, [Online], vol. 76, <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-13> (Accessed 21 June 2025).

8. Sukhodolya, O. M. et al. (2023), *Enerhetychna bezpeka Ukrayiny: perspektyvna model upravlinnya ryzykamy* [Energy security of Ukraine: a promising risk management model], National Institute for Strategic Studies, Kyiv, Ukraine, <https://doi.org/10.53679/NISS-book.2023.01>.

9. Chychkalo-Kondratska, I., Lekunovych, A. and Legka, Y. (2019), “Prospects and tools for “green” technology implementation in foreign countries”, *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 10, <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.10.13> (Accessed 16 June 2025).

10. Amigues, J.-P., Kama, A. A. L., and Moreaux, M. (2015), “Equilibrium transitions from non-renewable energy to renewable energy under capacity constraints”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 55, pp. 89-112, <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2015.04.001>.

11. Cevik, E. I., Yildirim, D. Ç., and Dibooglu, S. (2021), “Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in the US: A Markov-Switching VAR analysis”, *Energy and Environment*, vol. 32(3), pp. 519-541, <https://doi.org/10.1177/0958305X20944035>.

12. Erdiwansyah et al. (2019), “Target and demand for renewable energy across 10 ASEAN countries by 2040”, *Electricity Journal*, vol. 32(10), 106670, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106670>.

13. Liu, Y., Hu, Z., and Liu, Z. (2016), “Pattern of patent-based renewable energy technology innovation in China”, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, vol. 9(4), pp. 1815-1823.

14. Miller, G. (2020), “Beyond 100 % renewable: Policy and practical pathways to 24/7 renewable energy procurement”, *Electricity Journal*, vol. 33(2), 106695, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106695>.

15. Shang, Y. et al. (2022), “The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States”, *Renewable Energy*, vol. 197, pp. 654-667, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.159>.

16. Ustaoglu, E. (2024), “Extreme return connectedness between renewable energy tokens and renewable energy stock markets: evidence from a quantile-based analysis”, *Environmental science and pollution research international*, vol. 31(4), pp. 5086-5099, <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31563-9>.

17. Hutsaliuk, O. et al. (2023), “Management of Renewable Resources in the Energy Sector: Environmental, Economic and Financial Aspects”, *Circular Economy for Renewable Energy. Green Energy and Technology*, Springer, Cham, Germany, pp. 69-89. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0_5.

18. Kudrya, S. O. et al. (2020), *Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi* [Renewable energy sources], Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

19. Murovana, T. O. (2018), “Current status and trends of investment in the development of renewable sources”, *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, vol. 7, pp. 15-19.

20. Oleksiv, I. B., and Dribnyuk, A. M. (2023), “Analysis of modern investment instruments in renewable energy in Ukraine”, *Management and entrepreneurship in Ukraine: stages of formation and development problems*, vol. 2(9), pp. 315-325.

21. Prykhodko, I., Ihnatyshyn, V., and Prykhodko, Yu. (2024), “Features of the renewable energy development in Ukraine and the world”, *Economy and Society*, [Online], vol. 62, <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47> (Accessed 23 June 2025).

22. Savchenko, M. V., and Romanets, T. P. (2024), “Investments in Renewable Energy: Global Trends and Modern Tools”, *Business Inform*, vol. 3, pp. 23-30. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-23-30>.

23. Chumachenko, O. (2022), “The role of renewable energy sources in the electrical energy balance of Ukraine”, *Scientific notes of the University “KROK”*, vol. 3(67), pp. 39-47. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47>.
24. Galtsova, O. L., Perevozova, I. V., and Maksymenko, T. O. (2020), “Making management decision in the transition to alternative energy sources in the enterprise”, *Scientific Papers of Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University. Ser.: Economic Sciences*, vol. 2(42), pp. 72-82, <https://doi.org/10.31388/2519-884X-2020-42-72-82..>
25. Wang, D. et al. (2022), “Assessment of Power System Sustainability and Compromises between the Development Goals”, *Sustainability*, vol. 14, 2236, <https://doi.org/10.3390/su14042236>.
26. Kyzym, M. O., Khaustova, V. Ye., et al. (2023), *Ekonomichna dotsilnist vyrobnytstva tverdoho biopalyva z enerhetychnykh kultur v Ukrayini* [Economic feasibility of solid biofuel production from energy crops in Ukraine], FOP Liburkina L. M., Kharkiv, Ukraine.
27. Khaustova, V. Ye., Kyzym, M. O., et al. (2024), *Obgruntuvannya stvorenniya vyrobnytstva syntetychnoho motornoho palyva z vuhillya v Ukrayini* [Justification of the creation of synthetic motor fuel production from coal in Ukraine], FOP Liburkina L. M., Kharkiv, Ukraine.
28. Ryazanova, N. O. (2020), *Ekonomichnyy rozvytok alternatyvnoyi enerhetyky v Ukrayini: teoriya, metodolohiya, stratehichni oriyentyry* [Economic development of alternative energy in Ukraine: theory, methodology, strategic guidelines], LLC “TROPEA”, Kyiv, Ukraine.
29. International Energy Agency (2024), *World Energy Outlook 2024*, International Energy Agency, Paris, France.
30. International Energy Agency (2024), *World Energy Investment 2024*, International Energy Agency, Paris, France.
31. Benchmark Minerals (2024), “Asian NCM cell prices fall to lowest levels in over three years”, available at: <https://source.benchmarkminerals.com/article/asian-ncm-cell-prices-fall-to-lowest-levels-in-over-three-years> (Accessed 17 June 2025).

32. International Energy Agency (2024), *Global EV Outlook 2024. Moving towards increased affordability*, International Energy Agency, Paris, France.
33. Fajardy, M., and Greenfield, C. (2024), “It is time for CCUS to deliver”, *International Energy Agency*, available at: <https://www.iea.org/commentaries/it-is-time-for-ccus-to-deliver> (Accessed 21 June 2025).
34. International Energy Agency (2022). *Coal in Net Zero Transitions. Strategies for rapid, secure and people-centred change*, International Energy Agency, Paris, France.
35. Trushkina, N., Pahlevanzade, A., Pahlevanzade, A., and Maslennikov, Ye. (2021), “Conceptual provisions of the transformation of the national energy system of Ukraine in the context of the European Green Deal”, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, vol. 24(4), pp. 121-138. <https://doi.org/10.33223/epj/144861>.
36. Lunov, Ye. O. (2023), “Management of Renewable Resources in the Energy Sector in the Context of Ensuring the Economic Sustainability of Energy Systems”, *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, vol. 1 (44), pp. 139-150. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1\(44\).139-150](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1(44).139-150).
37. Kwilinski, A., Khaustova, V., and Trushkina, N. (2024), “Transformation of the Energy Infrastructure in the Context of the Implementation of the European Green Deal”, *Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Cham, Germany, vol. 561, pp. 59-79, https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_3.
38. Lunov, Ye., Lunov, L., and Trushkina, N. (2024), “Investment support for the energy systems development: global trends and tools”, *Bulletin of East European University of Economics and Management*, vol. 2(32), pp. 73-96, [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2024-2\(32\)-006](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2024-2(32)-006).

Стаття надійшла до редакції 08.08.2025 р.