

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-46>

УДК 330:338.4:339

Лариса ШАУЛЬСЬКА

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<https://orcid.org/0000-0002-7919-6733>

e-mail: shaulska@knu.ua

Лілія ТАРАСЕНКО

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<https://orcid.org/0000-0001-8224-5113>

e-mail: liliiia.tarasenko@knu.ua

РОЗВИТОК РИНКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛІЗАЦІЙНИХ ВИКЛИКІВ ТА ОБМЕЖЕНЬ

У статті проаналізовано особливості розвитку ринку відновлюваної енергетики в контексті дії викликів та обмежень глобалізації. Розглянуто динаміку розвитку ринку відновлюваної енергетики в останні роки, проаналізовано ключові аспекти, що визначають поширення різних джерел енергії в національному та світовому масштабі. Проаналізовано ефективність генерації енергії з відновлюваних джерел у регіонах світу, а також чинники, що визначають позицію окремих країн у світовому рейтингу відновлюваної енергетики. Визначено залежність обсягів річної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії залежно від приведеної вартості генерації енергії з відповідного типу. Доведено, що одним з визначальних чинників розвитку сфери відновлюваної енергетики залишається собівартість її виробництва поряд із іншими значимими змінними.

Ключові слова: відновлювана енергетика, джерела відновлюваної енергії, глобалізація, ринок, стійкий розвиток, зростання, собівартість.

Larysa SHAULSKA, Liliia TARASENKO

Taras Shevchenko National University of Kyiv

DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY MARKET IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION CHALLENGES AND CONSTRAINTS

The article analyzes peculiarities of the renewable energy market development in the context of globalization challenges and constraints. The research methods used by authors are statistical analysis and synthesis, grouping, correlation, and regression analysis.

Dynamics of renewable energy market development in recent years is considered, and key aspects that determine spread of various energy sources on a national and global scale are analyzed. The article proves renewable energy market growth due to development of technologies, global expansion, dissemination of knowledge and human capital, and growing attractiveness of renewable energy in private sector. It is determined that until 2007 renewable energy market was dominated by hydropower, later and nowadays solar and wind generation took the lead.

Efficiency of energy generation from renewable sources in regions of the world is analyzed, as well as factors that determine position of individual countries in global renewable energy ranking. It is proved that the structure of renewable energy market varies depending on region, per 1 million. population, as well as by country. Leaders in the field of renewable energy production are identified, and key aspects that allow them to remain active market players in the future are defined. Dependence of annual electricity generation volume from renewable energy sources on the present value of energy generation from corresponding type is determined. It is proved that one of determining factors in renewable energy sector development is cost of its production, along with other significant variables. The relationship between the cost of renewable energy generation (wind and solar) and the level of its efficiency is calculated using the regression analysis method. The presence of a high influence along with other important factors is proved.

Key words: renewable energy, renewable energy sources, globalization, sustainable development, market, growth, cost.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В сучасних умовах спостерігається зростання світової залежності від енергії, необхідної для забезпечення потреб стійкого розвитку, що спонукає сферу відновлюваної енергетики активно пристосовуватися до зростаючого попиту. Глобалізаційні трансформації, питання збереження навколишнього середовища та оновлення технологій створюють нові можливості та виклики, які можуть як прискорювати, так і уповільнювати процеси розвитку відновлюваної енергетики. З цих позицій, дослідження ключових аспектів, що визначають розвиток відновлюваної енергетики в умовах глобалізації представляються актуальними, так само як і потреба у визначенні можливих шляхів подолання викликів та обмежень, розробці стратегій для сталого та ефективного використання відновлюваних джерел енергії, виявлення найбільш суттєвих чинників впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання розвитку відновлюваної енергетики привертають увагу дослідників з моменту першої промислової революції, й у подальшому із розвитком технологічного сектору енергетики, появи відновлюваних джерел енергії, їх удосконалення. Теоретичні та практичні аспекти розвитку відновлюваної енергетики вивчають такі дослідники, як Д. Гроппі, А. Пфайфер, Д. Гарсія, Н. Джукіч [1], А. Калаїр, Н. Абас, М. Салем [2], Л. Шин [3], С. Войтко, І. Гайдуцький, Н. Караєва [4], В. Гесць, О. Кириленко, Б. Басок, Є. Базєєв [5], Л. Мелех [6], О. Чумаченко [7], І. Ярош, Ю. Серебрякова [8], Л. Мельник [9] та інші. Більшість науковців окреслює роль та значущість використання джерел відновлюваної енергетики, особливості розвитку галузі у різні періоди часу, теоретичні та практичні аспекти нарощення енергетичних можливостей в контексті національного та світового розвитку, а також значення відновлюваної енергетики для прищвиднення відновлення територій, що постраждали внаслідок катастроф і конфліктів різного характеру.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Незважаючи на зростання значущості сфери відновлюваної економіки у забезпеченні стійкого розвитку, фокусу дослідницької уваги на підвищенні її ролі, питання визначення факторів, що забезпечують її формування в межах глобалізаційних перетворень, досягнення балансу енергетичної сфери залишаються розкритими недостатньо.

Формулювання цілей статті

Метою дослідження є аналіз розвитку ринку відновлюваної енергетики в контексті глобалізаційних викликів та обмежень, а також визначення можливостей їх подолання.

Виклад основного матеріалу

Розвиток сфери відновлюваної енергетики в світі в останні десятиліття є ключовим напрямом в енергетичній галузі і визначається кількома основними тенденціями, такими як загальне зростання обсягів виробництва відновлюваної енергії в межах реалізації концепції стійкого розвитку, зниження вартості технологій відновлюваної енергії, включення питань розвитку відновлюваної енергетики до глобальних стратегій та енергетичної політики держав, зростання значущості інновацій в корпоративному та приватному секторі, а також глобальної обізнаності про соціальні та екологічні проблеми.

Як наголошує у своєму дослідженні Д. Гроппі та інші, успіхи в технологічному розвитку призвели до значного зниження вартості сонячних панелей та вітрових турбін, що зробило їх більш доступними та конкурентоспроможними [1]. Країни всього світу розробляють та впроваджують стратегії, направлені на збільшення частки відновлюваної енергії в енергетичному секторі, значна увага приділяється батарейним технологіям, ефективним системам зберігання енергії та іншим інноваційним рішенням, що, на думку А. Калаїра та інших [2] у певному сенсі виявляється визначальним чинником розвитку ринку. Співпраця між країнами та міжнародні енергетичні ініціативи сприяють обміну технологіями та досвідом, дозволяючи спільне досягнення цілей у галузі відновлюваної енергії. В. Гесць, О. Кириленко, Б. Басок, Є. Базєєв наголошують на тому, що стратегічні прогнози розвитку ринку відновлюваної енергетики неминуче проходять через точки біфуркації, вихід з яких призводитиме до ключових змін у структурі енергетичної галузі [5]. З цих позицій, аналіз розвитку ринку відновлюваної енергетики дозволяє визначити критичні ознаки, що характеризуватимуть незворотній перебіг й остаточний перехід до використання відновлюваних джерел енергії по всьому світу.

Розглянемо особливості розвитку ринку відновлюваної енергетики більш детально. Сонячна та вітрова енергетика знаходяться в лідерах серед альтернативних джерел, що найбільше зростають сьогодні. Незначно відстають від них гідроенергетика, біоенергетика та геотермальна енергія (рис. 1).

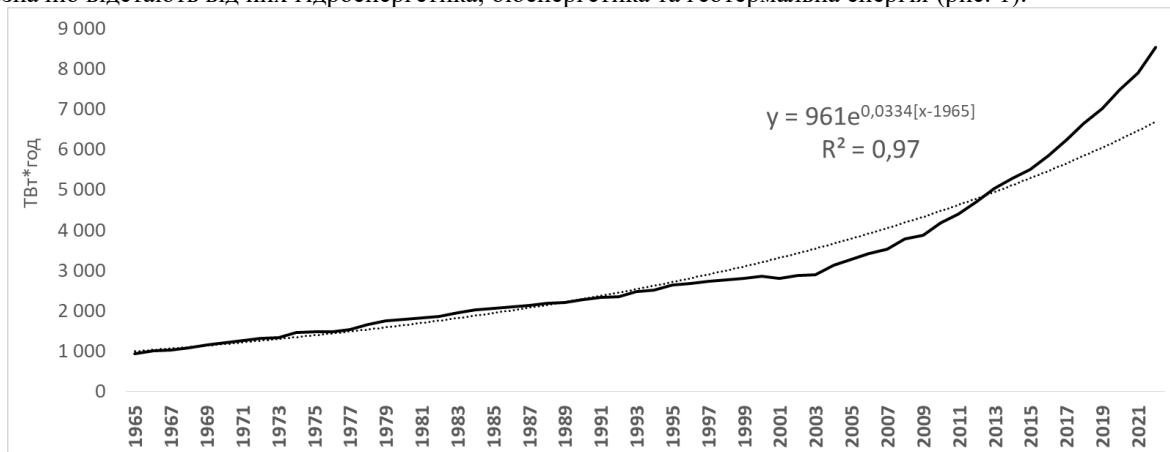


Рис. 1. Динаміка річної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії

Джерело: складено автором за [10]

Як бачимо з рис. 1, динаміку розвитку відновлюваної енергетики в світі впродовж останніх 60 років можна апроксимувати експоненційним трендом з коефіцієнтом детермінації в 97% та показником середньорічного приросту на рівні 3,34%. Активізація зростання річної генерації електроенергії відбувається починаючи з 2005 року, і останні роки значно перевищує прогнозовані розрахунки. Це пов'язано з тим, що до 2000 року відновлювана енергетика в світі була, в основному, представлена гідроенергетикою. Однак з 1990 року в світі почався активний розвиток вітрової енергетики та інших типів відновлюваної енергетики (таких як біопаливо, геоенергетика та інші). На кінець 2007 року, частка вітрової енергетики в структурі глобальної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії уже складала 4,8% (рис. 2).

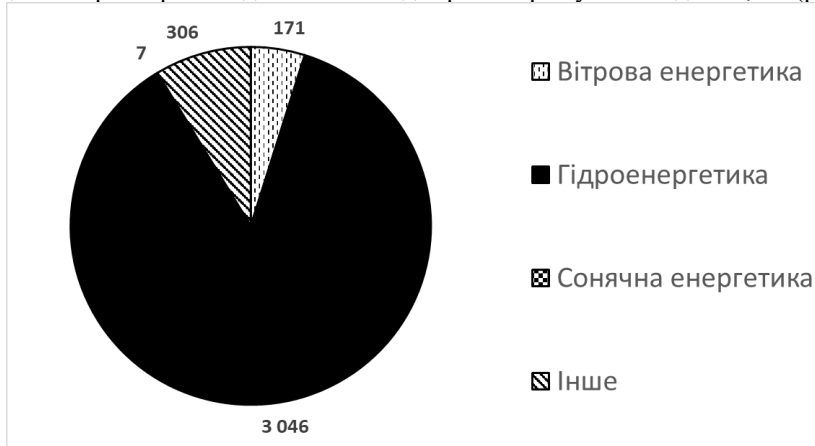


Рис. 2. Структура генерації електроенергії за типами відновлюваної енергетики за 2007 рік, ТВт·год
Джерело: складено автором за [10]

В період з 2007 до 2022 року активно продовжувався розвиток вітрової енергетики, а також відбувся колосальний прогрес в розвитку сонячної енергетики (рис. 3). Удосконалення технологій, їх поширення завдяки процесам глобалізації та обміну знаннями дозволили скоротити витрати на реалізацію проєктів із впровадження відновлюваної енергетики та розширити обсяги виробництва. На кінець 2022 року частка вітрової енергетики в структурі глобальної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії складала 25% при цьому частка сонячної енергетики складала 15%. Таким чином, за останні 30 років відбулось не тільки значне збільшення обсягів генерації електроенергії з відновлюваних джерел, а ще і значна диверсифікація її генерації.

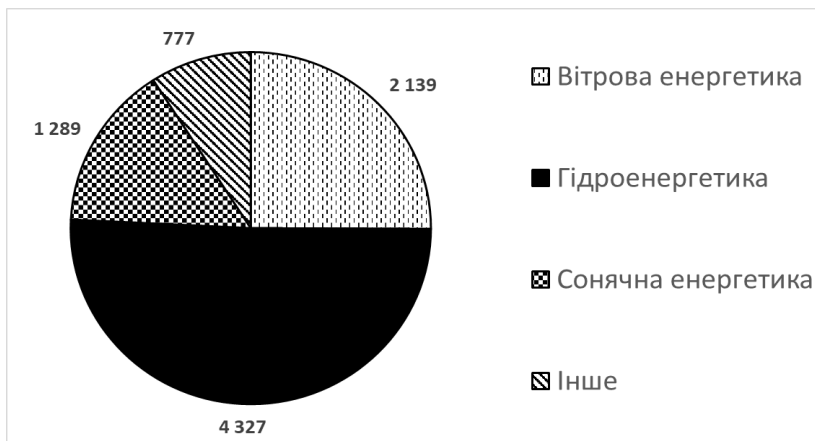


Рис. 3. Структура генерації електроенергії за типами відновлюваної енергетики за 2022 рік, ТВт·год
Джерело: складено автором за [10]

Якщо розглядати динаміку розвитку основних видів відновлюваної енергетики у світі на базовому інтервалі аналізу з 1991 до 2022 року то можна побачити, що традиційний вид відновлюваної енергетики (гідроенергетика) розвивалась за лінійним трендом (коефіцієнт детермінації на рівні 96%) із середньорічним приростом генерованої електроенергії в 75 ТВт·год. Однак, такі види відновлюваної енергетики як вітрова та сонячна демонстрували саме експоненційний тренд свого розвитку (коефіцієнт детермінації на рівні 96% та 99%). Вітрова енергетика мала середньорічний приріст генерованої електроенергії на рівні 22%, тоді як сонячна – на рівні 29%. Всі інші види відновлюваної енергетики (в тому числі й біопаливо) характеризувались лінійним трендом свого розвитку, який за своїми темпами значно поступається гідроенергетиці (рис. 4).

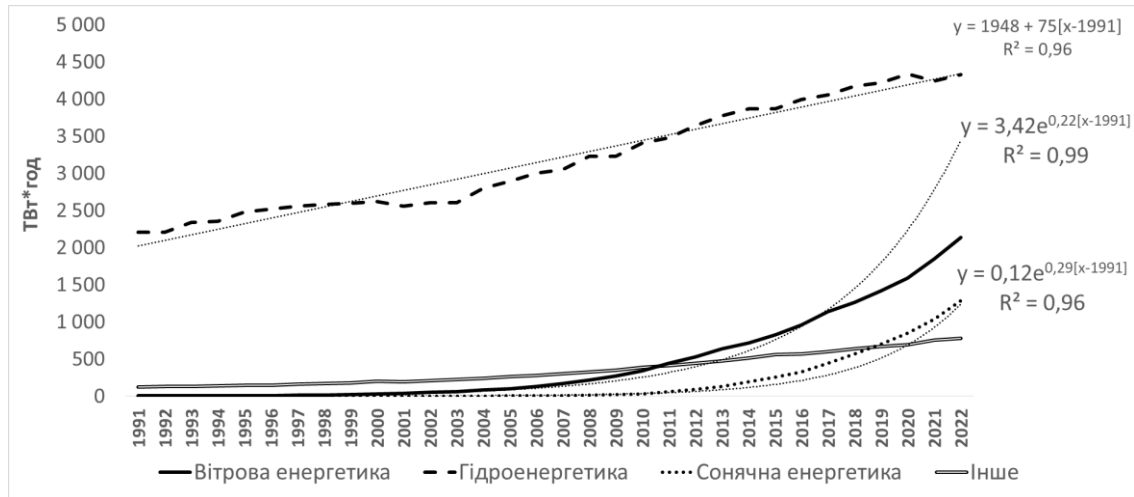


Рис. 4. Динаміка розвитку основних видів відновлюваної енергетики у світі

Джерело: складено автором за [10]

При аналізі розвитку відновлюваної енергетики серед регіонів світу (рис. 5) можна побачити, що на кінець 2022 року абсолютним лідером являється Азія, сукупні потужності якої за 2022 рік згенерували близько, 4 тис. ТВт·год електроенергії. Такі регіони як Європа та Північна Америка на всьому досліджуваному часовому горизонті демонстрували надзвичайно подібні тенденції розвитку відновлюваної енергетики, а на кінець 2022 року їх сумарна генерація електроенергії склала близько, 3 тис. ТВт·год. Дещо менші обсяги генерації електроенергії з відновлюваних джерел демонструвала Південна та Центральна Америка, а ось Африка протягом 2022 року згенерувала не більше 100 ТВт·год електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

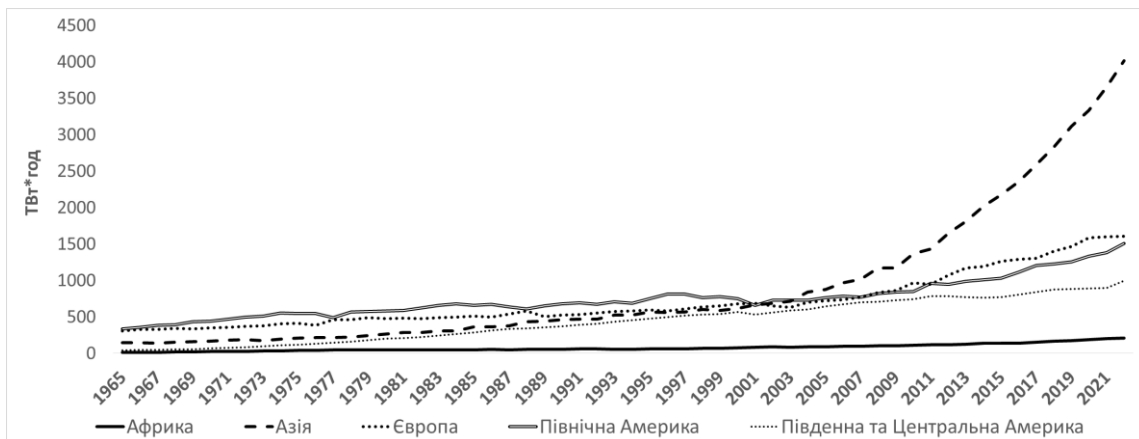


Рис. 5. Обсяги генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії серед регіонів світу

Джерело: складено автором за [10]

На рис. 5 представлено номінальні обсяги генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії серед регіонів світу, й беззаперечним лідером є країни Азії. Однак, якщо розглянути обсяги генерації електроенергії з відновлюваних джерел в перерахунку на 1 млн. населення відповідних регіонів то можна побачити (рис. 6), що найбільшу ефективність в сфері розвитку відновлюваної енергетики з 1965 і до 2022 року демонструвала Північна Америка. Друге та третє місце відповідно до даного показника займає Європа та Південні і Центральна Америка відповідно. При цьому Азія, яка є лідером за номінальним показником генерації електроенергії з відновлюваних джерел, займає 4 місце та у незначному обсягу випереджає Африку.

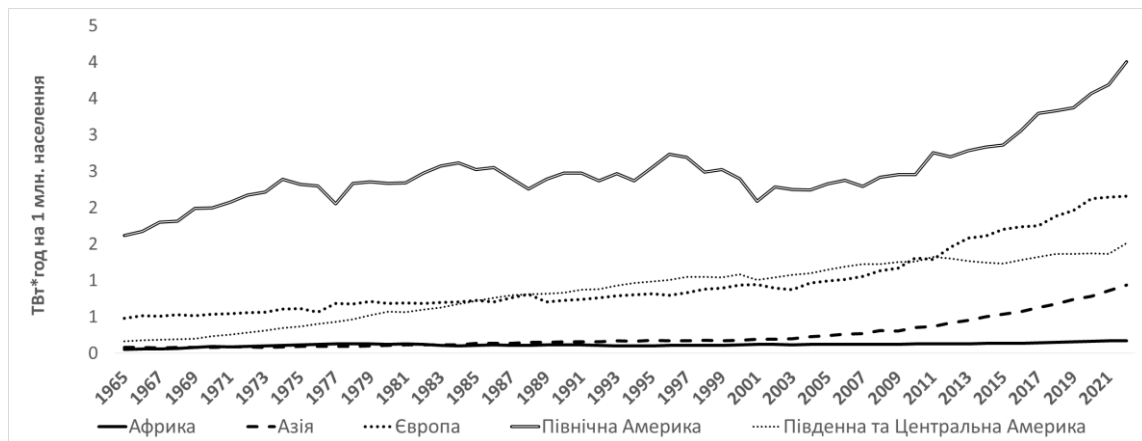


Рис. 6. Ефективність розвитку відновлюваної енергетики серед регіонів світу

Джерело: складено автором за [10]

Деталізований географічний аналіз структури генерації електроенергії з відновлюваних джерел за країнами світу також є показовим. Статистичні дані свідчать, що на кінець 2007 року 66% генерації забезпечували ТОП10 країн, серед яких Китай (14%), Бразилія (11%), Канада (11%), США (10%) тощо (табл. 1).

Таблиця 1

Частка ТОП10 країн в структурі генерації електроенергії з відновлюваних джерел за 2007 рік

№	Країна	Річний обсяг генерації електроенергії, ТВт·год	Частка від світової генерації
1	Китай	501	14%
2	Бразилія	388	11%
3	Канада	375	11%
4	США	348	10%
5	РФ	178	5%
6	Індія	142	4%
7	Норвегія	135	4%
8	Японія	101	3%
9	Німеччина	89	3%
10	Венесуела	82	2%
	Інші	1 189	34%

Джерело: складено автором за [10]

До 2007 року спостерігалось переважання глобального виробництва електроенергії з гідроенергетики, концентрація якої зосереджена саме у цих країнах. У подальшому з 2007 по 2022 рік концентрація генерації електроенергії з відновлюваних джерел серед ТОП10 країн збільшилась з 66% до 74%, в основному, за рахунок таких країн, як: Китай (32%) та США (12%), які станом на сьогодні є абсолютними лідерами за номінальними обсягами генерації електроенергії з вітрової та сонячної енергетики (табл. 2).

Таблиця 2

Частка ТОП10 країн в структурі генерації електроенергії з відновлюваних джерел за 2022 рік

№	Країна	Річний обсяг генерації електроенергії, ТВт·год	Частка від світової генерації
1	Китай	2 716	33%
2	США	968	12%
3	Бразилія	592	7%
4	Канада	445	5%
5	Індія	381	5%
6	Німеччина	250	3%
7	Японія	228	3%
8	РФ	205	2%
9	Норвегія	151	2%
10	Туреччина	137	2%
	Інші	2 143	26%

Джерело: складено автором за [10]

Для китайської економіки характерні значні масштаби виробництва, значний обсяг інвестицій у джерела відновлюваної енергії й розвиток інфраструктури та технологій, що її забезпечують, постійна державна підтримка. Крім того Китай є світовим лідером у виробництві сонячних батарей і вітрових турбін.

Китайські компанії, такі як JinkoSolar, Trina Solar, та Goldwind, займають провідні позиції на ринку. В свою чергу, у США налагодженою та надзвичайно потужною є сфера наукових досліджень у галузі енергетики, а зростання свідомого ставлення до екологічних проблем та обізнаності населення роблять ринок відновлюваної енергетики надзвичайно потужним. Підтримка уряду не обмежується гнучким законодавчим регулюванням – тут також діють програми податкової підтримки для корпоративного й приватного сектору, що робить відновлювану енергетику привабливою для інвесторів і споживачів [4].

В той же час, для багатьох інших країн, в тому числі і для України, генерація відновлюваної енергетики уповільнюється через високу собівартість її виробництва, наявність монополій у сфері теплової енергетики, відсутність дієвих механізмів та політичної волі до вільного розвитку ринку на засадах конкуренції та ефективності.

Проаналізуємо залежність обсягів річної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії від приведеної вартості її генерації із застосуванням методу кореляційно-регресійного аналізу. В якості результативної ознаки (y) обрано річний обсяг генерації електроенергії з відповідного типу ВДЕ у світі, ТВт·год;

В якості факторних ознак (x_1) визначено приведену вартість генерації енергії з відповідного типу ВДЕ у світі, дол. США за 1 КВт·год. Результати розрахунків наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Регресійна залежність обсягів річної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) від приведеної вартості генерації енергії з відповідного типу ВДЕ у світі

Тип ВДЕ	Регресійна модель	R ²	S	T ₀	T ₁	p ₀	p ₁
Вітрова енергетика	$y = 2340 - 20089x_1$	97%	86	30	18	4,5E-11	5,4E-09
Сонячна енергетика	$y = 743 - 2279x_1$	62%	214	7,0	4,1	3,8E-11	0,002

Джерело: складено автором за результатами аналізу

Аналіз регресійної моделі для вітрової енергетики свідчить що фактор зміни собівартості технології пояснює 97% варіації залежної змінної. Маржинальний коефіцієнт впливу зменшення собівартості на обсяги генерації електроенергії з вітрової енергетики складає 20 тис. ТВт·год, тобто при зменшенні собівартості технологій на 1 дол. США за 1 КВт*год. – обсяги генерації електроенергії з вітрової енергетики збільшуються на 20 тис. ТВт·год

Якщо ж проаналізувати регресійну модель для сонячної енергетики, то коефіцієнт детермінації даної моделі складає 62%, що говорить про наявність інших факторів, які значно впливають на темпи розвитку сонячної енергетики у світі. Маржинальний коефіцієнт впливу зменшення собівартості на обсяги генерації електроенергії з сонячної енергетики являється статистично значимим за Т-критерієм Стьюдента та складає 2,3 тис. ТВт·год, тобто при зменшенні собівартості технологій на 1 дол. США за 1 КВт·год. – обсяги генерації електроенергії з сонячної енергетики збільшуються на 2,3 тис. ТВт·год

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведене дослідження дозволило визначити особливості розвитку ринку відновлюваної енергетики в контексті глобалізаційних викликів та обмежень, ключовими з яких є розвиток технологій відновлюваної енергії, поширення знань і навичок, інвестиційна підтримка з боку держави та приватних осіб, викликана зростанням обізнаності населення про роль відновлюваної енергетики у зниженні екологічного тиску й досягненні стійкого розвитку при подальшому інтенсивному масштабуванні виробництва. Включення питань розвитку відновлюваної енергетики й збільшення обсягів генерації у стратегічні програми та плани державного управління дозволяє підвищити її ефективність та розширити долю на загальному енергетичному ринку. Відзначено, що останні роки характеризуються інтенсифікацією генерації сонячної та вітрової генерації у світі, а лідерами у регіональному розрізі виступають Азія та Північна Америка, серед країн – Китай, США, Бразилія, Канада, Індія та інші. У зазначених країнах створено сприятливі умови для розвитку ринку відновлюваної енергії, одночасно з тим, у цій галузі ключовим обмежуючим чинником виступає собівартість її виробництва. Розрахунок кореляційної залежності обсягів річної генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії від приведеної вартості генерації сонячної та вітрової типів енергії доводить, що для вітрової генерації цей взаємозв'язок є високим, а зниження собівартості на її виробництво на 1 долл. США дозволить збільшити обсяги її генерації на 20 тис. ТВт·год. Для сонячної енергетики цей зв'язок менш тісний, що свідчить про наявність інших значущих чинників, однак, зниження собівартості виробництва у такому ж співвідношенні дозволить збільшити обсяги її генерації на 2,3 тис. ТВт·год. Таким чином, сприяння зниженню собівартості генерації відновлюваної енергії у світових масштабах дозволить подолати наявні обмеження, характерні для менш розвинених країн, наблизити їх економіки до світових стандартів стійкого розвитку.

Література

1. Groppi D., Pfeifer A., Garcia D. A., Krajačić G., Duić, N. A. Review on Energy Storage and Demand Side Management Solutions in Smart Energy Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. vol. 135. pp.1-14.
2. Kalair A., Abas N., Saleem, M. S., Kalair A. R., Khan N. Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*. 2020. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/est2.135>
3. Shinn L. Renewable Energy: The Clean Facts. URL: <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>
4. Войтко С. В., Гайдучкий І. П., Караєва Н. В. Динаміка розвитку відновлюваної енергетики на початку третього десятиліття XXI століття. *Ефективна економіка*. 2021. №4. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2021/13.pdf
5. Геєць В. М., Кириленко О. В., Басок Б. І., Базєєв Є. Т. Енергетична стратегія: прогнози і реалії (огляд). *Наука та інновації*. 2020. Вип. 16. № 1. С. 3-15.
6. Мелех Л., Нагірняк О. Правове регулювання альтернативної енергетики в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2021. № 2(30). С. 159–166.
7. Чумаченко О. Роль відновлювальних джерел енергії у електроенергетичному балансі України. *Вчені записки університету «Крок»*. 2022. № 3(67). С. 39–47.
8. Ярош І. С., Серебрякова Ю. О. Розвиток відновлювальної енергетики в контексті реінтеграції тимчасово окупованих територій. *Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права*. 2023. №2. С. 147-151.
9. Melnyk, L. Hr., Shaulska, L. V., Mazin, Yu. O., Matsenko, O. I., Piven, V. S., Konoplov, V. V. Modern Trends in the Production of Renewable Energy: the Cost Benefit Approach // *Mechanism of Economic Regulation*. 2021. № 1. P. 5-16. DOI: <https://doi.org/10.21272/mer.2021.91.01>
10. Research and data to make progress against the world's largest problems. Open world in data. URL: <https://ourworldindata.org/>

References

1. Groppi D., Pfeifer A., Garcia D. A., Krajačić G., Duić N. A. (2021). Review on Energy Storage and Demand Side Management Solutions in Smart Energy Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 135. P. 1-14.
2. Kalair A., Abas N., Saleem M. S., Kalair A. R., Khan N. (2020). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/est2.135>
3. Shinn L. Renewable Energy: The Clean Facts. Available at: <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>
4. Voytko S. V., Gaidutskiy I. P., Karaeva N. V. (2021). Dynamics of renewable energy development at the beginning of the third decade of the XXI century. *Effective economy*. No 4. Available at: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2021/13.pdf
5. Heiets V. M., Kyrylenko O. V., Basok B. I., Bazieiev Ye. T. (2020)/ Energy strategy: forecasts and realities (review)/ *Nauka ta innovatsii*. Vol. 16., No 1. P. 3-15.
6. Melekh L., Hagirnyak O. (2021). Legal regulation of alternative energy in Ukraine. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*. No 2(30). P. 159–166.
7. Chumachenko O. (2022). The role of renewable energy sources in the electricity balance of Ukraine. *Scientific Notes of the University "Krok"*. No 3(67). P. 39–47.
8. Yarosh I. S., Serebryakova Yu. O. (2023). Development of renewable energy in the context of reintegration of the temporarily occupied territories. *Dnipro Scientific Journal of Public Administration, Psychology, Law*. No 2. P. 147-151.
9. Melnyk, L. Hr., Shaulska, L. V., Mazin, Yu. O., Matsenko, O. I., Piven, V. S., Konoplov, V. V. Modern Trends in the Production of Renewable Energy: the Cost Benefit Approach // *Mechanism of Economic Regulation*. 2021. № 1. P. 5-16. DOI: <https://doi.org/10.21272/mer.2021.91.01>
10. Research and data to make progress against the world's largest problems. Open world in data. Available at: <https://ourworldindata.org/>