

СТРУКТУРА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ДОСВІД КИТАЮ

Отримано 31 груд. 2023 р.; рекомендовано до публікації 22 бер. 2024 р.
Доступно онлайн 01 квіт. 2024 р.

Назюта Л. Ю.¹, Степаненко Д. В.²

Автор для кореспонденції: Назюта Людмила,
e-mail: nazutaludmila3@gmail.com

¹ д-р техн. наук., проф.
<https://orcid.org/0009-0005-8692-5243>

² асп.
<https://orcid.org/0009-0009-2032-6861>

^{1,2} Приазовський державний технічний університет, м. Дніпро, Україна

^{1,2} Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. *Анотація. Проаналізовано причини (використання викопного палива як теплоносія) та наслідки (затяжні енергетичні та економічні кризи) глобального потепління.*

Показано, що країни, які розвиваються, використовуючи сучасніші технології, зокрема для виробництва електроенергії, завоюють світові ринки сировини та палива. Вектор технологічного зростання зміщується в країни Азії та Південної Америки.

Розглянуто світову структуру виробництва електроенергії за видами палива в країнах з найбільшим споживанням електроенергії. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) у 2019 році основна частина виробництва електроенергії була вироблена з викопних джерел, незначна частина (10,3 %) – від використання ядерної енергії та 26,7 % – від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Показано, що половина світового виробництва електроенергії у світі припадає на три країни: Китай – 30 %, США – 15,5 % та Індію – 6 %. Значний внесок роблять країни ЄС, виробництво електроенергії яких становить 11,2 % світового виробництва (у тому числі 37,1 % за рахунок ВДЕ).

Світова потужність ВДЕ у 2010 році становила 16,7 %, у 2019 році – 26,3 %, а в 2021 році – 28,7 %. Вона почала зростати завдяки кліматичній політиці ООН, спрямованій на декарбонізацію світової економіки, а також значним інвестиціям у цей енергетичний сектор.

Розглянуто проблеми, що перешкоджають подальшому збільшенню частки ВДЕ в енергетичному секторі Китаю, а також інших країн.

Серед них – недостатня кількість накопичувачів електроенергії (зокрема через високу вартість входу в цей сектор – 200–600 доларів за 1 кВт-год) і, відповідно, необхідність її передачі на великі відстані споживачам. У гідроенергетичному секторі Китаю спостерігається зменшення площі сільськогосподарських угідь та недостатня захищеність великих об'єктів.

Китай є світовим лідером з використання ВДЕ – майже 50 % світового обсягу генерувальних потужностей відновлюваної енергії. Сонячну енергетику, зокрема і їх космічні проекти, слід вважати найперспективнішою серед ВДЕ. Однак повний перехід на ВДЕ наразі неможливий з низки причин. Ключова проблема ВДЕ полягає в забезпеченні безперебійного постачання споживачам. Тому необхідно прискорити створення потужних сховищ енергії та ліній електропередачі кінцевим споживачам.

Ключові слова: *альтернативна енергетика, відновлювані джерела енергії (ВДЕ), виробництво електроенергії, сонячна енергетика, гідроенергетика, енергія вітру, енергетика, зберігання енергії, ЄС, ООН, Китай.*

THE STRUCTURE OF ALTERNATIVE ENERGY. CHINESE EXPERIENCE

Received Dec. 31, 2023; accepted Mar. 22, 2024

Available online Apr. 01, 2024

Nazyuta L.¹, Stepanenko D.²

Author for correspondence: Nazyuta Liudmyla,
e-mail: nazutaludmila3@gmail.com

¹ Dr. of Techn. Sciences, prof.
<https://orcid.org/0009-0005-8692-5243>

² PhD student.
<https://orcid.org/0009-0009-2032-6861>

¹ Azov State Technical University, Dnipro,
Ukraine

² E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS
of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. *The reasons (use of fossil fuels as a heat carrier) and consequences (prolonged energy and economic crises) of global warming are analyzed. It is shown that developing countries, using more advanced technologies, particularly in electricity production, are gaining global markets for raw materials and fuel. The vector of technological growth is shifting to Asian and South American countries.*

The global structure of electricity production by fuel types in countries with the highest electricity consumption is examined. According to the International Energy Agency (IEA) data, in 2019, the majority of electricity production came from fossil sources, a small part from nuclear energy (10.3%), and 26.7% from renewable energy sources (RES).

It is demonstrated that half of the world's electricity production is concentrated in three countries: China (30%), the United States (15.5%), and India (6%). Significant contributions are made by EU countries, accounting for 11.2% of global production (including 37.1% from RES).

Global renewable energy capacity was 16.7% in 2010, 26.3% in 2019, and 28.7% in 2021. This growth is attributed to the UN's climate policy, aiming at decarbonizing the global economy, and substantial investments in the energy sector.

Challenges hindering further growth of renewable energy share in China and other countries are discussed, including the insufficient number of energy storage systems (partly due to high entry costs ranging from 200 to 600 dollars per kWh) and the need for long-distance energy transmission. China, a global leader in renewable energy usage, generates almost 50% of the world's renewable energy capacity. Solar energy, including space projects, is considered the most promising among RES.

However, a complete transition to RES is currently impossible due to various reasons. The key problem lies in ensuring an uninterrupted energy supply to consumers. Therefore, there is a need to accelerate the development of powerful energy storage systems and power lines for end consumers.

Keywords: *alternative energy, renewable energy sources (RES), electricity production, solar energy, hydro-power, wind energy, energy, energy storage, EU, UN, China.*

Альтернативна енергетика в контексті енергетичної та екологічної безпеки

Основними викликами розвитку світової цивілізації на сучасному етапі є проблеми з кліматом планети (глобальне потепління) та затяжні енергетичні кризи. Причини останнього можуть критися у сфері фізичного дефіциту, політики чи логістики.

Під глобальним потеплінням мається на увазі тривале підвищення середньої температури кліматичної системи. Проблемами глобального потепління займаються провідні інститути та вчені з усього світу. Серед них найкомпетентнішими є організації під егідою ООН, зокрема Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). У своїй доповіді на кліматичному

саміті ООН у Мадриді (2019 рік) були розглянуті причини та наслідки глобального потепління за останні десять років. Показано, що основними причинами глобального потепління є діяльність людини та використання викопного палива (вугілля, нафта, газ) як енергоносіїв, внаслідок спалювання яких утворюються парникові гази, накопичені в атмосфері планети. Скорочення викидів парникових газів тісно пов'язане з проблемами зміни енергетичної структури практично всіх країн світу. У звіті наголошується, що споживання енергоресурсів постійно зростає, а їх обсяги перевищують їх відтворення в планетарному масштабі [1, 2].

На думку бельгійського вченого Бернара Фельца, це пов'язано з неконтрольним використанням природних

ресурсів і повільними темпами розвитку альтернативної енергетики. Надмірне споживання має прямий вплив на клімат і може зробити планету непридатною для життя. Тому сучасне суспільство невблаганно наближається до того дня, коли ми будемо змушені будувати своє життя в повній відповідності з екологічними вимогами [3, 4].

Щодо дефіциту енергоресурсів, то за даними British Petroleum (BP) за останні 50 років їх світове споживання зросло майже вчетверо. За розрахунками компанії, якщо рівень видобутку буде збережено, світових запасів вугілля вистачить на 250 років, а нафти й природного газу – на 50 років. При цьому спостерігається постійне зростання споживання сировини та енергоресурсів і, відповідно, їх фізичний дефіцит. У міру того, як країни розвиваються, індустріалізуються і їх населення зростає, ці проблеми накопичуються. Комплексне вирішення цих проблем терміново потребує декарбонізації глобального енергетичного сектору (особливо в країнах з високою вуглецевою залежністю) в контексті скорочення споживання викопного палива, а також забезпечення енергетичної та екологічної безпеки.

На початку XXI століття основні потреби в енергоресурсах задовольнялися за рахунок викопного палива: вугілля, газу та нафти. Країни, які мали до них доступ, зараз мають вищий рівень технологічного розвитку і не поспішають переходити на альтернативні джерела енергії. Водночас у світі відбуваються глобальні зміни. Вектор історичного розвитку зміщується в Азію і Південну Америку. Саме там відбувається новий етап технічної революції.

Альтернативна енергетика – це сукупність перспективних способів отримання, зберігання, передачі та використання енергії з джерел (переважно відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)), які становлять інтерес внаслідок низького ризику заподіяння шкоди навколишньому

середовищу. До ВДЕ зазвичай відносять енергію вітру, сонця та води. Здебільшого альтернативні джерела енергії більш локалізовані й у сукупності з традиційними енергоресурсами забезпечують вищий рівень енергетичної безпеки [5-8].

З огляду на вищевикладене практичний інтерес являє досвід різних країн у використанні альтернативних джерел енергії.

Стан та перспективи альтернативної енергетики

Міжнародне енергетичне агентство (МЕА), що займається загальними енергетичними питаннями на глобальному рівні, є автономним міжнародним органом у складі Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Основною метою цієї організації, яка охоплює 29 країн-членів, є сприяння міжнародному співробітництву у сфері вдосконалення глобальної структури попиту та пропозиції на енергетичні ресурси та енергетичні послуги.

Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA), засноване в 2009 році для підтримки використання всіх форм відновлюваної енергії, займається розробкою технологій і використанням ВДЕ на глобальному рівні. IRENA є головною платформою міжнародного співробітництва (160 членів, включно з ЄС) та надає доступ до передових технологій використання ВДЕ в контексті щорічних звітів на сайті.

На рис. 1 показана структура світового виробництва електроенергії в 2019 році. За даними British Petroleum (BP), світове виробництво електроенергії цього року становило 27 036 ТВт·год, включно з ВДЕ – 7 218,6 ТВт·год або 26,7 % загальної генерації. З них 16 % припадало на гідроенергетику, 5,3 % та 2,6 % – на вітрову та сонячну енергетику відповідно. Більша частина електроенергії вироблялася за рахунок викопних вуглеводнів [7].

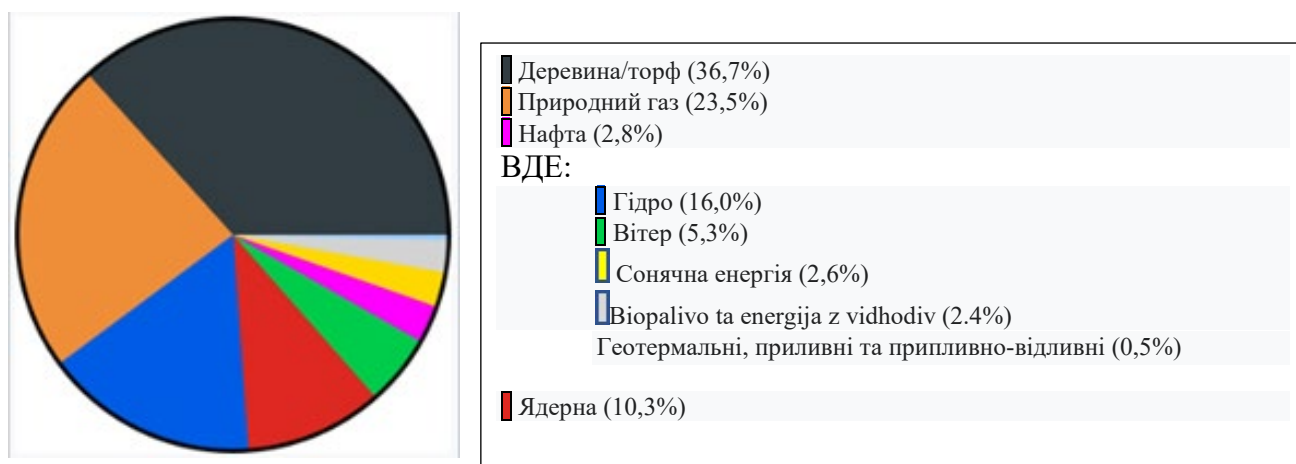


Рис. 1. Частка відновлюваних джерел енергії у світовому виробництві електроенергії в 2019 році

Fig. 1. Share of renewable energy sources in global electricity production in 2019

У 2010 році частка відновлюваних джерел у загальному балансі електроенергії становила 16,7 %. Це майже в 1,7 раза менше, ніж виробництво відновлюваної енергії у 2019 році. Потужності ВДЕ мають тенденцію до зростання завдяки кліматичній політиці ООН та інвестиціям, спрямованим на декарбонізацію світової економіки. Цьому сприяли дефіцит та різке подорожчання викопного палива (природного газу та нафти), а також стійке зниження цін на сонячні та вітрові технології.

За прогнозами американського інформаційного агентства Bloomberg NEF (енергетичний сектор), через 20 років близько 40 % світової енергії вироблятиметься за рахунок ВДЕ. Для того, щоб досягти таких результатів, необхідні інвестиції в розмірі 662 млрд дол. США. Щодо інвестицій у цю галузь, то в 2010 році вони становили 211 млрд дол., з яких 94,7 млрд припало на

вітроенергетику і 26,1 млрд – на сонячну енергетику [7]. На рис. 2, за даними цього агентства, показані інвестиції в розвиток ВДЕ в 2019-2020 роках. Лідером інвестиційної політики у сфері відновлюваної енергетики є Китай з обсягом інвестицій 83,6 млрд дол. у 2020 році. Це в 1,8 раза більше інвестицій в енергетичний сектор США і в 4,3–4,5 раза вище, ніж інвестиції в цей сектор в Японії та Великій Британії. За винятком Китаю, протягом останніх двох років американські та індійські інвестиції мали тенденцію до зростання. Тенденція збільшення інвестицій у відновлювану енергетику та зменшення інвестицій у викопне паливо зберігалася протягом наступних років, незважаючи на економічну кризу та Covid-19. При цьому іноземні інвестиції у вугільну та нафтогазову галузі скоротилися до 48 млрд дол. у 2020 році та досягли нового рекордно низького рівня – 16 млрд дол. у 2021 році [9].

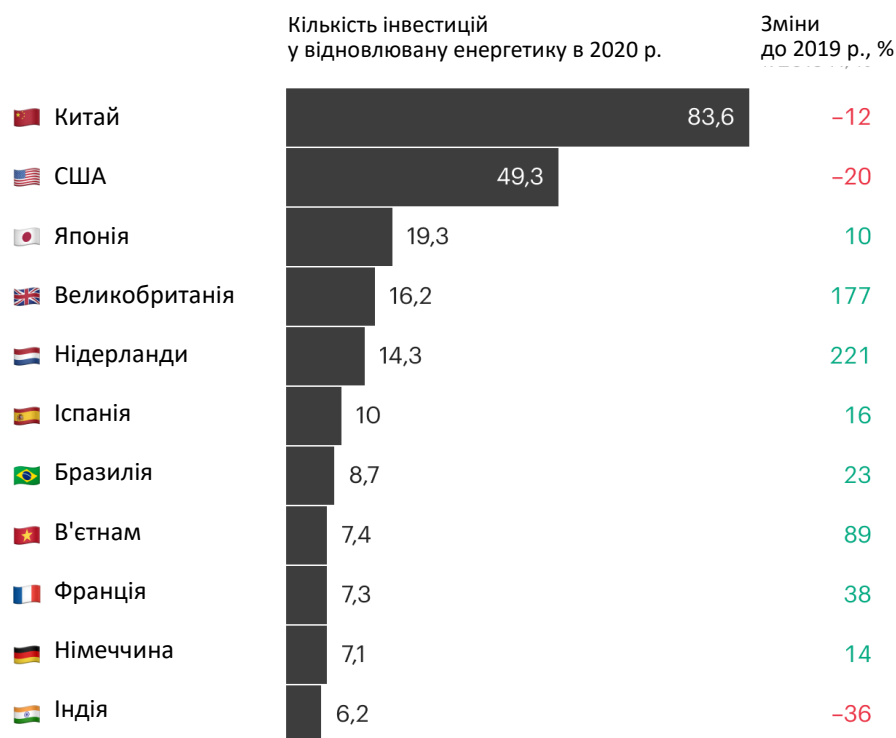


Рис. 2. Інвестиції в розвиток відновлюваних джерел енергії, за даними Bloomberg NEF у 2020 році (млрд дол. США) [9]

Fig. 2. Investments in the development of renewable energy sources according to Bloomberg NEF in 2020 (billion USD) [9]

Ці чинники сприяли зростанню виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, особливо в Європейському Союзі – до 39,1 %, зокрема у Великій Британії та Німеччині (до 41 %), Нідерландах (до 33 %). Виробництво відновлюваної енергії також зросло в Австралії (на 29 %), Китаї (на 29 %), Японії (на 22 %) і США (на 21 %).

У 2021 році світова потужність відновлюваної енергетики становила 8163 ТВт-год, або 28,7 % (порівняно з 26,3 % у 2019 році) загального виробництва електроенергії. За словами генерального директора IRENA

Франческо Ла Камера, зростання виробництва відновлюваної енергії під час енергетичної кризи показало, наскільки стійкими та популярними є ВДЕ [10].

У табл. 1 представлено структуру виробництва електроенергії за видами палива та країни з найбільшим обсягом виробництва (ТОП 6) у 2021 році. Згідно з аналізом, половина світового виробництва електроенергії припадає на три країни: Китай – 30 %, США – 15,5 % та Індію – 6 %. Включення Індії до списку країн, що впливають на кліматичну систему планети, не випадкове. Це вже третя країна в світі за обсягом промислового

виробництва і викидів парникових газів. За прогнозами Світового банку (СБ), у перспективі Індія може стати однією з найбільших країн з розвинутою еконо-

мікою. Тому збільшення ВДЕ в цих країнах матиме значний вплив на кліматичну систему планети та економічну ситуацію в регіонах.

Таблиця 1. Структура виробництва електроенергії за видами палива та країни з найбільшим обсягом (ТВт·год) виробництва (ТОП 6) у 2021 році за видами палива, за даними British Petroleum (*BP Statistical Review of World Energy*)

Table 1. Structure of electricity production by fuel type and countries with the largest production volume (TOP 6) in 2021 in terawatt-hours (TWh) by fuel type according to British Petroleum (*BP Statistical Review of World Energy*)

№ п.п.	Країна	Обсяг виробництва ЕЕ		Структура виробництва ЕЕ за видами палива, %			
		Тв·год	% світового виробництва	Викопні джерела енергії (вугілля, нафта, газ)	Альтернативні джерела енергії		
					Ядерна енергетика	Гідроенергетика	ВДЕ
1	Китай	8534,5	30,0	65,9	4,8	15,2	13,5
2	США	4406,4	15,5	61,1	18,5	5,8	14,2
3	Індія	1714,8	6,0	78,1	2,6	9,3	10,1
4	Росія	1157,1	4,1	61,4	19,2	18,5	0,5
5	Бразилія	654,4	2,3	20,2	2,2	55,4	22,0
6	Канада	641,0	2,3	18,3	14,4	59,4	7,8
	Взагалі	28466,3	100	68,6	9,8	15	12,8
	Країни ОЕСР	11210,2	39,4	54,5	17,5	12,8	17,1
	Україна	155,5	0,6	30,2	55,4	6,7	7,1
	Європейський Союз	2895,3	11,2	35,6	25,3	11,9	25,2

Особливе місце в структурі ВДЕ належить електроенергетичному комплексу ЄС з обсягом виробництва електроенергії 11,2 % світового виробництва (зокрема 37,1 % за рахунок ВДЕ), який посідає третє місце за встановленою потужністю генерувальних джерел після Китаю та США. Водночас ці країни мають значно менші доведені запаси власних енергоресурсів (1,98 % світових запасів, з яких 85 % припадає на вугілля, 9,5 % – на природний газ і 5,2 % – на сиру нафту), ніж їхні конкуренти. Однак ВВП союзу має найнижчу вуглецеву залежність у світі – 0,130 т CO₂ на долар США. Для порівняння, енергоємність ВВП Китаю та США становить 0,409 та 0,213 т CO₂ на долар США відповідно [11].

Світовими лідерами з розвитку ВДЕ є Китай, Данія (світовий лідер з вітроенергетики – до 80 % у 2020 році), Кенія (лідер з будівництва сонячних електростанцій), Індія (перша у світі запустила плавучу сонячну електростанцію) та Ісландія (75 % генерації з гідро- та вітрової енергетики). Частка ВДЕ в енергетичному балансі особливо висока в країнах з великими водними ресурсами, як-от

Бразилія, Канада, Швеція та Норвегія (більше 2/3 виробленої електроенергії).

Варто відзначити позицію Великої Британії в розвитку та фінансуванні ВДЕ. За період 2005–2020 років прямі інвестиції (переважно в офшорну вітроенергетику) становили 146 млрд дол., що значно більше, ніж інвестиції у відновлювану енергетику в США (115 млрд дол.) та Австралії (61,2 млрд дол.).

За оцінками IRENA, для того щоб обмежити підвищення глобальної температури до 1,5 °C до 2050 року, встановлена потужність ВДЕ повинна збільшитися в 10 разів. Це вимагатиме загальних інвестицій у розмірі 131 трлн дол. у ВДЕ та енергоефективні технології. Прогнозується, що прямі іноземні інвестиції у ВДЕ швидко зростатимуть, забезпечуючи енергетичну стійкість та засоби до існування [12].

У Європейському Союзі утворилася асоціація під назвою «Друзі відновлюваних джерел енергії», до якої увійшли 11 країн союзу на чолі з Австрією. Її завданням є протидія спробам Франції та інших європейських держав

(Чехії, Польщі) ввести до кліматичних цілей ЄС зелений (низьковуглецевий) водень, виробництво якого пропонується здійснювати за рахунок атомної енергетики.

Китай є світовим лідером за обсягами використання та розвитку альтернативної енергетики. Структура енергоємності ВВП Китаю подібна до структури України. Китай також планує допомогти їй відновити енергетичний сектор. Виникає питання: які види відновлюваної енергетики можна рекомендувати Україні для декарбонізації економіки?

Метою цієї роботи є аналіз структури альтернативної енергетики в Китаї в контексті декарбонізації світової економіки, і особливо країн, що розвиваються, на етапі їхньої індустріалізації. Це може бути корисним для України у відновленні її енергетичного потенціалу.

Розвиток альтернативної енергетики в Китаї

Політика Китаю з декарбонізації економіки представлена в роботах [13-15]. У роботах [16-18] проаналізовано досвід Китаю в досягненні вуглецевої нейтральності, зокрема за рахунок розвитку ВДЕ. У лютому 2005 року був прийнятий закон «Про відновлювану енергетику», який заклав правову базу для розвитку галузі. У 2007 році було затверджено Середньостроковий та довгостроковий план розвитку відновлюваної енергетики.

За даними IRENA, в Китаї за період з 2008 по 2018 рік потужність вітрових електростанцій зросла в 22 рази, сонячних – у 700 разів. А в 2022 році на Китай припала майже половина світового зростання потужностей з виробництва відновлюваної енергії.

У 2015 році обсяг генерації відновлюваної енергії при виробництві електроенергії в Китаї становив 24 %. У 2019 році частка ВДЕ сягнула 30 % (у США – 10 %). У 2020 році електроенергія з ВДЕ за обсягом генерації становила стільки ж, скільки й уся електроенергія у Франції та Німеччині разом узятих. У 2021 році встановлена потужність ВДЕ Китаю становила 1063 ГВт, а її виробництво – 30 % світового виробництва електроенергії.

Згідно з офіційними даними Державного управління енергетики, до кінця 2020 року понад 36 % електрогенерувальних потужностей Китаю припадало на ВДЕ. При цьому структура генерації була такою: гідроенергія – 18 %, атомна – 2 %, сонячна та вітрова енергія – 18 % загального балансу електроенергії. Теплові електростанції виробляли близько 62 % електроенергії. Загальна частка ВДЕ у виробництві електроенергії включно з атомною енергетикою становила 38 %. Це значно більше, ніж планувалося раніше.

Структура електроенергетики Китаю під час кризи 2018–2021 років представлена в табл. 2. Згідно з аналізом, незважаючи на світову енергетичну кризу, виробництво електроенергії в країні зросло в 1,22 раза, зокрема за рахунок ВДЕ (в 2,22 раза). Зазначимо, що зниження виробництва електроенергії на ТЕЦ (з 70,4 до 65,8 % у загальному балансі) відбулося переважно за рахунок використання природного газу. При цьому в 2022 році Китай експортував 18,91 млрд кВт·год електроенергії та посідає 10-те місце у світі за обсягами експорту, а імпорту електроенергії досяг 6,185 млрд кВт·год.

Таблиця 2. Встановлена потужність Китаю та виробництво електроенергії за період 2018–2021 рр.

Table 2: China's installed capacity and electricity generation in 2018-2021

Встановлена потужність електроенергетики Китаю (ГВт)			
	2018 *	2019 *	2021 **
ТЕС	1144,08	1190,55	1300,0
Гідроелектростанція	352,59	356,40	390,0
Атомна електростанція	44,66	48,74	50,0
Вітер	184,27	210,05	330,0
Сонце	174,33	204,68	310,0
ВЗАГАЛІ:	1900,12	2010,65	2380,0
Потужність електростанцій Китаю (ТВт·год)			
	2018 *	2019 *	2021 **
ТЕС	4924,9	5045, 0	5623,8
Гідроелектростанція	1232,1	1301,9	1300,0

Потужність електростанцій Китаю (ТВт·год)			
	2018 *	2019 *	2021 **
Атомна електростанція	295,0	348,7	405,5
Вітер	365,8	405,7	775,7
Сонце	176,9	223,8	427,0
ВЗАГАЛІ:	6994,7	7325,3	8534,3

* <https://renen.ru/kak-poteryat-bolee-polutrilliona-dollarov-ugolnaya-energetika/>

** [https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/6/1070/Electric power industry to China](https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/6/1070/Electric%20power%20industry%20to%20China)

У Китаї високі темпи розвитку сектору відновлюваної енергетики є інвестицією. Китай одногослоно визнаний світовим лідером з інвестицій в технології чистої енергетики. Країна активно розвиває ринок відновлюваної енергетики за допомогою іноземних та державних інвестицій, які спрямовані на створення інфраструктури та обладнання в цій галузі. У 2017 році іноземні інвестиції в проекти «зеленої» енергетики перевищили 44 млрд дол. При цьому відновлювана енергетика в країні розвивалася переважно за рахунок внутрішніх ресурсів. У 2020 році розмір інвестицій у розвиток ВДЕ склав 83,6 млрд дол. проти 49,3 млрд дол. в енергетичному секторі США.

І жодна інша країна не інвестувала в «зелену» енергетику стільки, скільки Китай. На цей момент вона вже пройшла досить солідний шлях у розвитку і стала світовим лідером з використання альтернативних джерел енергії. Якщо в 2015 році Китай лише трохи випереджав Німеччину за загальною потужністю сонячної генерації (43 ГВт проти 39 ГВт), то за підсумками 2019 року Китай перевершив Німеччину в 4 рази, а США – в 2,5 рази.

Китай багато інвестує як у будівництво заводів, що працюють на основі відновлюваної електроенергії, так у розвиток екологічно чистих енергетичних технологій, зокрема у виробництво акумуляторів та електромобілів. Загальна потужність сонячних панелей в країні – 204 ГВт. Це майже третина від загальної потужності сонячних електростанцій у світі. Однак виробленої енергії китайській економіці явно недостатньо для того, щоб компенсувати попит галузей, які зараз працюють на викопному паливі, включаючи чорну та кольорову металургію.

За сценарієм міжнародної консалтингової компанії Wood Mackenzie для досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року потужності сонячної та вітрової енергетики, а також об'єктів для зберігання енергії доведеться збільшити в 11 разів – до 5 тис. ГВт. Загальне виробництво електроенергії потрібно буде збільшити у 2,5 рази – до 18,8 тис. ГВт. Весь транспорт у країні має бути електрифікований, а кількість електромобілів має сягнути 325 мільйонів. Це у 80 разів більше, ніж сьогодні. Слід зазначити, що в цей час в Китаї стрімке зростання в галузі сонячної та вітрової енергетики змінилося більш розміреним кроком. Одна з причин – нестабіль-

ність генерації з відновлюваних джерел. Інша – значні витрати, пов'язані з обладнанням електростанцій. Однак з промисловістю, яка виробляє енергетичне обладнання (наприклад, сонячні панелі), в Китаї все гаразд.

Китай є основним світовим виробником сонячних панелей і вітрових електростанцій (75 % і 60 % світового виробництва). Загалом він контролює майже 80 % світового виробництва сонячних панелей та 50 % обладнання для їхнього виробництва. Щоб зберегти свій імідж, у березні 2023 року Китай оголосив про скорочення експорту ключових технологій їхнього виробництва, а також комплектуючих матеріалів – кремнієвих злитків та кремнієвих сплавів.

Ключова проблема ВДЕ полягає в забезпеченні безперебійного постачання споживачам, особливо після заходу сонця та за відсутності вітру. Потрібен потужний накопичувач енергії, який дозволяє зберігати надлишок електроенергії протягом тривалого часу.

Щодо виробництва промислових накопичувачів енергії, то вони переважно використовуються як буфер для накопичення, зберігання та передачі електроенергії в мережу або для підтримки функціонування енергосистеми для забезпечення необхідної якості роботи. Провідні країни та міжнародні компанії прагнуть стати великими гравцями на цьому ринку. За оцінками, глобальна встановлена потужність накопичувачів енергії до 2040 року збільшиться в 122 рази – до 1095 ГВт. А загальна потужність акумуляування без урахування гідро- та атомних електростанцій сягне 2850 ГВт·год.

У статті [19] представлені найбільші накопичувачі енергії, які будуть введені в експлуатацію протягом 2020 року. Серед них – завод у Даляні, Китай, який є найбільшим у світі залізоокислювально-відновним сховищем енергії потужністю 200 МВт та енергоемністю 800 МВт·год; найбільший акумулятор (на основі літій-іонної технології) – 100 МВт (129 МВт·год), побудований компанією Tesla Inc. у Південній Австралії (його батарей може вистачити приблизно на 15 років); а також найбільша в Північній Америці закулісна система зберігання, яка забезпечує точну диспетчеризацію акумуляторів і кібербезпеку мережі. Також становить інтерес

аккумуляторних станцій в Мосс-Лендінг (штат Каліфорнія) загальною потужністю 567,5 МВт.

Висока вартість (200–600 дол. за кВт·год) та недоліки цих систем (ефективність залежить від температури навколишнього середовища) не дозволяють досягти значного зростання в цій енергетиці. У Китаї велика частина потужностей з виробництва електроенергії розташована на півночі й північному заході, тоді як основна маса населення перебуває на сході й південному сході. Тому Китай будує найбільшу в світі лінію електропередачі (1,1 млн вольт), здатну передавати величезну кількість енергії на тисячі кілометрів. Лінія електропередачі Чанцзі-Гуцюань – це колосальний проєкт, який зможе передати 2000 МВт електроенергії, якої вистачить для живлення 26,5 млн людей. Однак не слід забувати, що втрати у виробництві та передачі енергії становлять не менше 27 %.

Впровадження системи накопичення електроенергії є ключовим чинником переходу всіх країн (зокрема й України) на низьковуглецеву енергетику. Оскільки частка ВДЕ в енергобалансі зростатиме, це дозволить збалансувати систему та знизити витрати на транспортування електроенергії до кінцевого споживача. Тому в Україні з метою трансформації енергетичного сектору ДТЕК спільно з канадською компанією Sungrid у 2021 році запустила першу систему накопичення електроенергії об'ємом 1 МВт в Енергодарі поблизу Запорізької ТЕС. Система використовується для стабілізації роботи існуючих джерел. На думку В. Кудрицького (НЕК «Укренерго»), це дозволило б трансформувати енергетичний сектор не лише в умовах декарбонізації, а й привело б до суттєвого здешевлення генерації електроенергії [20–21].

Серед відомих технологій накопичення і зберігання електричної енергії найпоширенішими є електрохімічні накопичувачі. За даними Bloomberg NEF на початок 2019 року Китай виробив 73% світових літій-іонних акумуляторів у порівнянні з США (12 %), які займають за цим показником друге місце в світі після Китаю. Очікується, що загальна потужність сховищ у 100 ГВт буде встановлена в Китаї наприкінці 2030 року. При цьому світовий ринок сховищ становитиме 500 ГВт, а 75 % ринку припадатиме на Китай та США.

Енергетична галузь Китаю також розробляє ще більш амбітні проєкти для майбутнього виробництва енергії. Наприклад, у космосі планують побудувати сонячну електростанцію (СЕС), яка передає енергію на Землю у вигляді мікрохвиль. У цьому контексті вчені з Міністерства науки і технологій Китаю заявили, що вже тестують технологію і мають намір створити її до 2050 року.

Генерація енергії на орбіті та подальша передача на Землю за допомогою мікрохвильового або лазерного випромінювання може стати майбутнім альтернативної енергетики в Україні. Ця технологія і можливість її використання на сучасному етапі представлені в роботах М. Полякова (засновника і партнера Venture Partners) [22].

Нині дослідження у сфері сонячної енергетики Space-Based Solar Power (SBSP) ведуться практично у всіх розвинених країнах ЄС, у США, Австралії, Японії та Китаї. Однак, на думку експертів у галузі космічної енергетики, Китай – найближче до практичного завершення проєкту.

Китайські фахівці в галузі аерокосмічного сектору розробляють свою концепцію Space Solar Power System (SSPS – аналог SBSP), яка називається OMEGA. Ця програма має дуже довгострокову перспективу і така електростанція може з'явитися на навколорізній орбіті не раніше 2050 року. За оцінками, космічна сонячна електростанція Китаю буде здатна генерувати та передавати на Землю до 2 ГВт електроенергії, що наразі еквівалентно ~6,25 млн наземних сонячних панелей.

У цей час технології космічної сонячної енергетики SBSP розробляються в ряді країн. Однак зростаючий попит на енергоресурси, а також проблема зміни клімату спонукають багато космічних агентств і приватні компанії активізувати зусилля в цьому напрямі [23].

Крім питань перетворення енергії Китаю потрібно буде розробити нову концепцію орбітальної безпеки при використанні SSPS. Сильне мікрохвильове випромінювання може вплинути на роботу повітряного транспорту. Можливе зіткнення космічної сонячної електростанції з метеоритами та іншим орбітальним сміттям може відхилити мікрохвильовий промінь супутника та спричинити космічні аварії. Крім того, площа однієї мікрохвильової СЕС може становити приблизно 10 квадратних кілометрів. Для будівництва таких гігантських інженерних споруд знадобляться міцні та надлегкі матеріали, які потрібно буде виводити на орбіту поетапно.

Головною перевагою SBSP є більш високий коефіцієнт використання сонячної радіації (майже в 10 разів) і низькі витрати на транспортування електроенергії. В умовах зростаючої загрози глобального потепління сонячна енергетика є єдиною альтернативою на шляху до досягнення незалежності від викопного палива.

Щодо гідроенергетики, то, на думку експертів у цій сфері, подальше зростання цього енергетичного сектору може спричинити негативний ефект через затоплення сільськогосподарських земель [24].

Є й інші причини, що заважають Китаю розширювати свою гідроенергетичну систему. Серед них головною є екологічна безпека діючих об'єктів, зокрема досвід ліквідації аварій на гідроелектростанціях. З погляду поточної ситуації в енергетиці інтерес становить аналіз аварій на найбільших гідроелектростанціях Китаю.

Одна з найбільших у світі аварій сталася на греблі Баньцяо, яка має висоту 118 м і водосховище площею 375 млн м³. Внаслідок проєктних і будівельних помилок у греблі після введення її в експлуатацію з'явилися тріщини і протікання, що призвело до її прориву під час повені 1975 року. Масштаби аварії вражають: через повині

загинуло 26 000 людей, ще 145 000 загинули через го-
лод і епідемії. Зруйновано близько 6 млн будинків [25].

Слід зазначити, що крім цієї аварії міжнародні експерти стурбовані введенням в експлуатацію найбільшої у світі самопливної греблі «Три ущелини» (об'ємом 50 млрд т води) та потужністю 22,5 ГВт [26]. Проект греблі викликав хвилю протестів як у Китаї, так і за кордоном. Група впливових кліматологів заявила, що електростанція в Китаї спричинила зрушення осі Землі. На їхню думку, щоб покласти край щорічному розливу Янцзи, набагато розумніше було б побудувати кілька невеликих гребель на її притоках. У червні 2023 року через повені дамба була на межі прориву. Перші тріщини на греблі вже виявлені. Вони можуть призвести до прориву греблі. Якщо гребля провалиться, в середній течії Янцзи станеться повінь, масштаби і наслідки якої немислимі.

Водночас доступність гідроенергетики стримує попит Китаю на викопне паливо та допомагає обмежити світові ціни на природний газ.

Детальний опис аварій у гідроенергетичній системі (ГЕС) не випадковий. До війни частка гідроелектростанцій в енергобалансі України становила 6,7 % (сонячні та вітрові електростанції – 7,1 %). Десять гідроелектростанцій працювали на річках Дніпро та Дністер. Серед них найбільшою є Дніпровська ГЕС. Вибух Каховської ГЕС показав недоліки будівництва та експлуатації великих заводів, а також їхню залежність від кліматичних умов, особливо в умовах військових дій. Тому досвід Китаю у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій може мати вирішальний вплив на вибір обсягів та масштабів будівництва нових та відновлення існуючих гідроенергетичних об'єктів в Україні.

Висновки

Китай є світовим лідером з використання ВДЕ – майже 50 % світового обсягу генерувальних потужностей відновлюваної енергії. Досвід Китаю у сфері відновлюваної енергетики має велике значення для країн з високою енергоємністю ВВП. Сонячну енергетику слід вважати найперспективнішою серед ВДЕ, зокрема особливу увагу слід приділити їх космічним проектам. Однак повний перехід на відновлювану енергетику в Китаї, як і в Україні, неможливий з низки причин. Ключова проблема ВДЕ полягає в забезпеченні безперебійного постачання електроенергії споживачам. Тому необхідно прискорити створення потужних сховищ енергії та ліній електропередачі кінцевим споживачам.

Масштаби китайської енергетики настільки великі, що навіть у разі введення в експлуатацію всіх споруджуваних об'єктів альтернативної енергетики не вдасться досягти необхідного скорочення споживання вуглеводнів. Тому в умовах декарбонізації Китай наразі робить ставку на атомну енергетику.

ПОСИЛАННЯ

1. Назюта Л. Ю., Степаненко Д. В. На шляху до декарбонізації світової економіки. Глобальне потепління. Кліматичні конференції ООН. Вісник Приазовського державного технічного університету. 2022. Вип. 4., С. 97–108. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.45.2022.276242>
2. Несмотря на предупреждения климатологов, мир неуклонно движется к катастрофе – новый доклад ООН. <https://news.un.org/ru/story/2019/11/1367841>
3. Кто ответит за изменение климата? <https://news.un.org/ru/story/2019/12/1369101>
4. Альтернативные источники энергии: плюсы и минусы. <https://www.bezpeka-shop.com/blog/poleznye-sovety/alternativnye-istochniki-energii-plyusy-i-minusy/>
5. Мировая энергетическая революция. Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. <https://voenka.kiev.ua/>
6. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ). <https://www.isjaee.com/jour>
7. Статистика по глобальному энергетическому переходу. <https://energystats.enerdata.net/>
8. Димитров О., Яковлева О., Хмельнюк М. _ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС ИЛИ БУДУЩЕЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ? DOI: 10.15673/0453-8307.4/2014.28048 <https://www.researchgate.net/publication/307834157>
9. Инвестиции в развитие возобновляемых источников энергии по данным Bloomberg NEF в 2020 году (млрд. долл. США). <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc>
10. The share of renewables in the global power mix has increased by 10 percentage points since 2010 to nearly 30%. <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
11. Экологическая политика стран Евросоюза: становление и достижения. <https://ecopolitic.com.ua/news/ekologicheskaya-politika-stran-evrosojuza-stanovlenie-i-dostizheniya/>
12. Глобальные тенденции инвестиций в возобновляемую энергетику. <https://dia.dp.gov.ua/ru/globalnye-tendencii-investicij-v-vozobnovlyaemuyu-energetiku/>
13. По якій стратегії розвивається енергетика Китаю? <https://iclub.energy/blog/valeriybezus/tpost/h2k7m2mk3s-po-yaki-strateg-rozvivatsya-energetika-k>

14. Энергетическая стратегия Китая: как повысить экологичность экономики без ущерба для ее роста. <https://www.hse.ru/news/expertise/494690711.html>
15. Глобальная энергетическая политика Китая и место в ней Центральной Азии. <http://cc-sauran.kz/rubriki/politika/136-globalnaya-energeticheskaya-kitaya.html>
16. Количественный анализ плана достижения Китаем углеродной нейтральности к 2060 г. <https://oil-gas.com.ua/novosti/>
17. Энергетике Китая нужно больше ветра и солнца, а не газа. <https://www.dw.com/ru/kitaj-mirovoj-lider-po-ustanovke-vetrogeneratorov-i-solnecnyh-batarej/a-65083722>
18. Куц Т. Пути получения «зеленой» энергии в Китае: традиционные и не очень. <https://alternative-energy.com.ua/puti-polucheniya-zelenoj-energii-v-kitae-tradiczionnye-i-ne-ochen/>
19. Деньги из воздуха: как Китай развивает «зеленую» энергетику. <https://nangs.org/news/renewables/denygi-iz-vozduha-kak-kitay-razvivaet-zelenuyu-energetiku>
20. ТОП-5 самых больших energy storage проектов 2020 года. <https://getmarket.com.ua/ru/news/top-5-samyh-bol-shih-energy-storage-proektov-2020-goda>
21. Сердюк Е. Путь к трансформации энергетики: что такое Energy Storage и почему это нужно Украине. https://innovation.24tv.ua/ru/put-k-transformacii-jenergetiki-cto-takoe-poslednie-novosti_n1637929
22. Нечипоренко М. ДТЕК встановив перший в Україні накопичувач енергії для балансування зеленої енергетики. <https://thepage.ua/news/dtek-ustanovil-pervyj-v-ukraine-nakopitel-energii>
23. Поляков М. Космическая солнечная энергетика и перспективы развития альтернативной энергетики на орбите. <https://maxpolyakov.com/ru/kosmicheskaya-solnechnaya-energetika-kak-vid-alternativnogo-istochnika-energii/>
24. Приставка Е. Электростанция на орбите: кто будет поставлять энергию из космоса на Землю. <https://nangs.org/news/renewables/ev/elektrostantsiya-na-orbite-kto-budet-postavlyaty-energiyu-iz-kosmosa-na-zemlyu>
25. Сорокина Н.Л., Кучерявая И.Н. СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КИТАЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ. Институт электродинамики НАН Украины. <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2019-12/21.pdf>
26. Плотина Баньцяо. http://www.cawater-info.net/review/banqiao_accident.htm
27. Плотина "Три ущелья": чем опасен супер-проект для Китая? <https://www.dw.com/ru/>

REFERENCES:

1. Nazuta L, Stepanenko D. ON THE WAY TO DECARBONIZATION OF THE LIGHT ECONOMY. GLOBAL WARMING. CLIMATE CONFERENCES OF THE UNITED NATIONS. VESTNIK PRIAZOVSKOGO STATE TECHNICAL UNIVERSITY. 2022. 45. P. 97–108. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.45.2022.276242>
2. Despite warnings from climate scientists, the world is steadily heading for catastrophe – new UN report. <https://news.un.org/ru/story/2019/11/1367841>
3. Who will be responsible for climate change? <https://news.un.org/ru/story/2019/12/1369101>
4. Alternative Energy Sources: Pros and Cons. <https://www.bezpeka-shop.com/blog/poleznye-sovety/alternativnye-istochniki-energii-plyusy-i-minusy/>
5. The World Energy Revolution. How Renewables Will Change Our World. <https://voenka.kiev.ua/>
6. International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology (ISJAE). <https://www.isjaee.com/jour>
7. Statistics on the global energy transition. <https://energystats.enerdata.net/>
8. Dimitrov O. Yakovleva O., Khmelnyuk M. ENERGY CRISIS OR THE FUTURE OF ALTERNATIVE ENERGY? DOI: 10.15673/0453-8307.4/2014.28048. <https://www.researchgate.net/publication/307834157>
9. Investments in the development of renewable energy sources according to Bloomberg NEF in 2020 (billion US dollars). <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc>
10. The share of renewables in the global power mix has increased by 10 percentage points since 2010 to nearly 30%. <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
11. Environmental Policy of the EU Countries: Formation and Achievements of. <https://ecopolitic.com.ua/news/ekologicheskaya-politika-stran-evrosojuza-stanovlenie-i-dostizheniya/>
12. Global Trends in Renewable Energy Investment. <https://dia.dp.gov.ua/ru/globalnye-tendencii-investicij-v-vozbnovyayemuyu-energetiku/>
13. What is China's energy strategy? <https://iclub.energy/blog/valeriybezus/tpost/h2k7m2mk3s-po-yaki-strateg-rozvivatsya-energetika-k>
14. China's Energy Strategy: How to Make the Economy Greener Without Compromising Growth. <https://www.hse.ru/news/expertise/494690711.html>

15. China's Global Energy Policy and Central Asia's Place in It. <http://cc-sauran.kz/rubriki/politika/136-globalnaya-energeticheskaya-kitaya.html>
16. A Quantitative Analysis of China's Carbon Neutrality Plan by 2060. <https://oil-gas.com.ua/novosti/>
17. China's Energy Needs More Wind and Solar, Not Gas. <https://www.dw.com/ru/kitaj-mirovoj-lider-po-ustanovke-vetrogeneratorov-i-solnechnyh-batarej/a-65083722>
18. Kuts T. Ways to get "green" energy in China: traditional and not so traditional. <https://alternative-energy.com.ua/puti-polucheniya-zelenoj-energii-v-kitae-tradiczionnye-i-ne-ochen/>
19. Money Out of the Blue: How China Is Developing Green/Energy <https://nangs.org/news/renewables/denygi-iz-vozduha-kak-kitay-razvivaet-zelenuyu-energetiku>
20. TOP-5 largest energy storage projects of 2020. <https://getmarket.com.ua/ru/news/top-5-samyh-bolshih-energy-storage-proektov-2020-goda>
21. The Path to Energy Transformation: What Is Energy Storage and Why Ukraine Needs It. https://innovation.24tv.ua/ru/put-k-transformacii-jenergetiki-cto-takoe-poslednie-novosti_n1637929
Kateryna Serdyuk
22. Nechyporenko M. DTEK Installs Ukraine's First Energy Storage Device for Balancing Green Energy. <https://thepage.ua/news/dtek-ustanovil-pervyj-v-ukraine-nakopitel-energii>
23. Polyakov M. Space Solar Energy and Prospects for the Development of Alternative Energy in Orbit. <https://maxpolyakov.com/ru/kosmicheskaya-solnechnaya-energetika-kak-vid-alternativnogo-istochnika-energii/>
24. Pristavka E. A power plant in orbit: who will supply energy from space to Earth. <https://nangs.org/news/renewables/ev/elektrostantsiya-na-orbite-kto-budet-postavlyaty-energiyu-iz-kosmosa-na-zemlyu>
25. Sorokina N.L., Kucheryavaya I.N. CHINA'S MODERN ACHIEVEMENTS IN THE ENERGY AND HYDROPOWER SECTOR. Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2019-12/21.pdf>
26. Banqiao Dam. http://www.cawater-info.net/review/banqiao_accident.htm
27. The Three Gorges Dam: What Are the Dangers of the Super Project for China? <https://www.dw.com/ru/>