

DOI: [10.32702/2307-2105-2021.4.11](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.11)

УДК 330.341.1:620.91

*С. В. Войтко,
д. е. н., професор, професор кафедри міжнародної економіки,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-2488-3210*

*І. П. Гайдучий,
д. е. н., доцент кафедри міжнародної економіки,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-4689-1665*

*Н. В. Караєва,
к. е. н., доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-3731-3946*

ДИНАМІКА РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ПОЧАТКУ ТРЕТЬОГО ДЕСЯТИЛІТТЯ ХХІ СТОЛІТТЯ

S. Voitko

*Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of International Economics,
National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky KPI*

I. Gaidutskiy

*Doctor of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of International Economics,
National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky KPI*

N. Karaieva

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automatic design of energy processes and system, National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky KPI

RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT DYNAMICS AT THE BEGINNING OF THE THIRD DECADE OF THE XXI CENTURY

У статті доведено актуальність дослідження динаміки розвитку відновлюваної енергетики в умовах необхідності досягнення глобальних цілей сталого розвитку та декарбонізації. Виокремлено перелік проривних технологій енергетики за п'ять останніх років з метою їх реалізації задля поліпшення рівнів якості та безпеки життя. На основі дослідження форсайту технологій за MIT Technology Review визначено, що близько 15 % проривних технологій належать до енергетики, зокрема відновлюваної. У статті надана інтерпретація результатів аналізу співвідношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел та обсягів викидів CO₂. Проаналізовано динаміку виробництва електроенергії відновлюваними джерелами (за виключення гідроенергетики) відносно загального обсягу виробництва цього типу енергії у світі за 45 років. На основі аналізу співвідношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел України до загального по країнах світу та генерації

країн Європейського Союзу до країн світу з 2007 по 2019 рік визначено особливості тенденцій генерації енергії з відновлюваних джерел для України та Європейського Союзу.

The article proves the relevance of the study of renewable energy development dynamics in terms of the need to achieve global goals of sustainable development (including Goal 7 "Affordable and clean energy", Goal 13 "Climate Action") and decarbonisation. According to the Paris Climate Agreement, decarbonisation should become the dominant parameter of competitiveness. This proves the importance to research the dynamics of energy generation from renewable sources and its potential impact of this on reducing CO₂ emissions. The article provides an interpretation of the results of the analysis of the ratio of energy generation from renewable sources and CO₂ emissions. The dynamics of electricity production from renewable sources (excluding hydropower) comparing to the total production of this type of energy in the world for 45 years is analyzed. Based on the analysis of the ratio of energy generation from renewable sources in Ukraine to the world and EU generation to the world generation from 2007 to 2019, the key trends in renewable energy for Ukraine, the European Union and the world are highlighted. It was found that currently in the European Union there is a decrease in the percentage of renewable energy use, while in Ukraine there is a significant increase. A list of possible reasons for the decrease in the rate of electricity production from renewable sources is proposed. The importance of the development of the latest energy technologies in order to decarbonize the economy, reduce CO₂ emissions, improve the climate on Earth is noted. Based on a technology foresight study by the MIT Technology Review, it is determined that about 15% of breakthrough technologies belong to energy, including renewable energy. Within the framework of "10 Breakthrough Technologies" we are talking about the following technologies: "hot" solar cells in the areas of their production and use; carbon-free natural gas as a substitute for natural gas in limited areas; new wave nuclear energy in terms of replacing traditional nuclear power plants; carbon dioxide traps within areas where CO₂ emissions are significant, lithium-metal batteries as a product of the newest factories; green hydrogen within European programs and initiatives.

Ключові слова: відновлювана енергетика; декарбонізація; проривні технології; обсяги викидів CO₂.

Key words: renewable energy; decarbonization; breakthrough technologies; CO₂ emissions.

Постановка проблеми. Енергія супроводжує людство споконвічно, проте непродумане використання енергії може суттєво зашкодити самому людству. Технології отримання енергії розвиваються, хоча до цих пір затребуваним є звичайне спалювання викопного палива чи деревини. Людство усвідомило низку помилок у використанні енергії. Перехід до «зеленої» енергетики стало пріоритетним напрямом реалізації концептуальних положень сталого розвитку. Проривні технології сфери енергетики вирішують, насамперед, глобальні цілі сталого розвитку, а саме Ціль 7 «Відновлювана енергія» та Ціль 13 «Боротьба зі зміною клімату» [1]. Натеper чинною є Паризька кліматична угода [2], яка прийшла на зміну Кіотському протоколу [3] і значною мірою формує порядок денний у сфері енергетики та екології на третє десятиліття 21 століття. Декарбонізація має стати домінантним параметром конкурентоспроможності.

Окрім цього людство існує в умовах Четвертої промислової революції, переходить на постіндустріальний шлях розвитку, до Шостого технологічного укладу, економіка якого спрямована на виробництво та споживання знання і високоінтелектуальних, екологічнобезпечних технологій. Саме цей комплекс визначає напрями розвитку промисловості та сфери послуг у цьому десятилітті, а енергетика, яка є забезпечуючою ресурсами галуззю, має повною мірою відповідати запитам суспільства у площині якості та безпеки життя, зокрема збереженні навколишнього середовища та запобіганню зміні клімату. Ось саме цьому заявлена проблематика дослідження є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розвиток енергетики посів чинне місце ще з початку Першої промислової революції, склав значну частку Першого технологічного укладу. Розвиток енергетичного сектору є актуальним і в умовах Індустрії 4.0, про що свідчать результати роботи [4], заслуговують на увагу й унікальні вимоги до систем енергозабезпечення [5], поступового переходу від використання викопного палива до використання відновлюваних джерел [6], вирізняється робота й над стратегіями розвитку енергетики, зокрема для України [7] тощо. Окрім висвітлення проблематики енергозабезпечення необхідним є аналіз ретроспективи розвитку енергетичної сфери, зокрема відновлюваної енергетики, та виокремлення кращих технологій, які спроможні забезпечити суттєвий прорив у вітчизняній енергетичній сфері. Варто зазначити внесок Forbes у визначенні більш успішних особистостей чи бізнесменів у різних сферах, зокрема у сфері

енергетики, у тому числі й використання відновлюваних джерел енергії. Один з найтехнологічніших закладів вищої освіти – Массачусетський технологічний інститут, аналізує можливість появи нових технологій та щороку оприлюднює своє бачення стосовно найперспективніших.

Формулювання цілей статті. Цілі дослідження: 1) виявити новітні технології енергетики, які сприяють декарбонізації економіки; 2) проаналізувати динаміку виробництва електроенергії, обсягів електрогенерації та частки генерації з відновлюваних джерел; 3) визначити співвідношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел та обсягів викидів CO₂; 4) визначити особливості тенденцій генерації енергії з відновлюваних джерел для України, країн Європейського Союзу (ЄС) і країн світу.

За інформаційну базу обрано статистичні дані провідних організацій, які здійснюють аналізування показників об'єкта дослідження, та Держстату України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Массачусетський технологічний інститут (Massachusetts Institute of Technology) вже 20 років оприлюднює добірку важливих для суспільства технологій. За останні п'ять років (2017–2021 pp.) у розділі із загальною назвою «10 Breakthrough Technologies» у звітах «MIT Technology Review» [8] наведені такі проривні технології сфери енергетики: 2017 рік – «гарячі» сонячні елементи (Hot Solar Cells); 2018 рік – безвуглецевий природний газ (Zero-Carbon Natural Gas); 2019 рік – ядерна енергетика нової хвилі (New-Wave Nuclear Power) і уловлювач вуглекислого газу (Carbon Dioxide Catcher); 2020 рік – спроможність кліматичних змін (Climate Change Attribution); 2021 рік – літій-металеві батареї (Lithium-Metal Batteries) і «зелений» водень (Green Hydrogen). Отже, маємо 7 технологій з 50 досліджених, які безпосередньо пов'язані з енергетикою, до того ж переважна більшість цих технологій відноситься до відновлюваної енергетики. Зазначене показує актуальність розвитку відновлюваної енергетики та її похідних, а також екологічно спрямованих ініціатив.

На рис. 1 візуалізовано динаміку виробництва електроенергії відновлюваними джерелами (за виключення гідроенергетики) відносно загального обсягу виробництва цього типу енергії у світі.

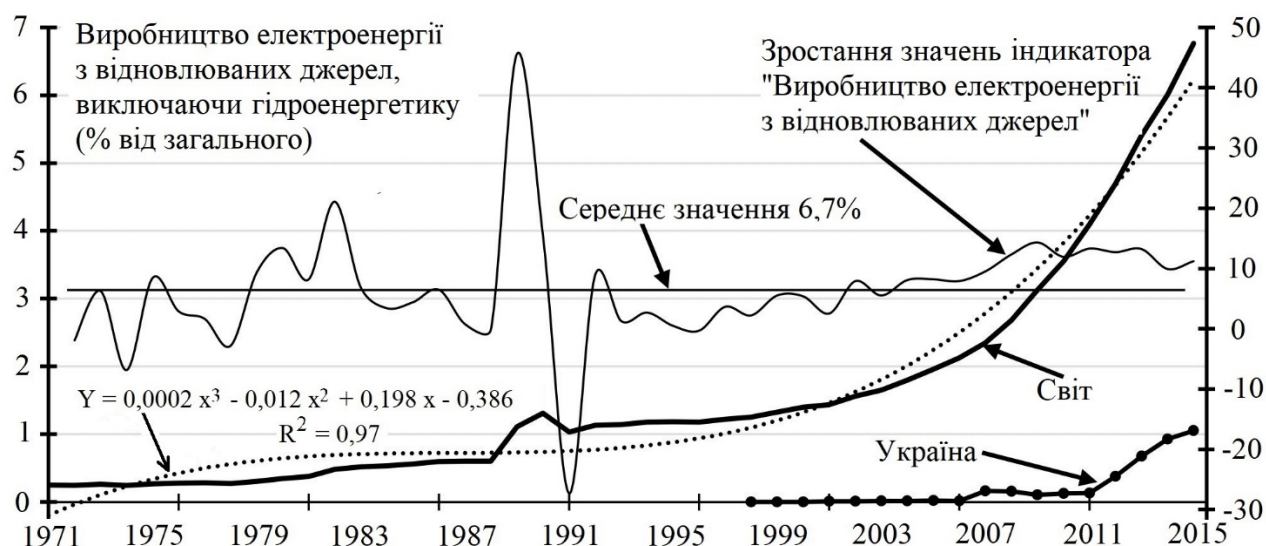


Рис. 1. Динаміка виробництва електроенергії з відновлюваних джерел (за виключенням гідроенергетики) відносно загального обсягу загально у світі з 1971 по 2015 pp.

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [9]

Дослідження приросту обсягів виробництва електроенергії надає змогу стверджувати, що за останнє півстоліття лише 6 років характеризуються зменшенням темпів виробництва електроенергії відновлюваними джерелами. Це 1972 та 1974 роки – вплив глобальної енергетичної /нафтової/ кризи, 1978 рік – нова політика США та інших країн стосовно економії палива легковими автомобілями (Програма CAFE), 1988 рік – приватизація у нафтовій та електроенергетичній промисловості, 1991 рік – світова економічна криза, 1996 рік – Мексиканська, Бразильська та Азіатська економічні кризи. Звичайно, ці пояснення безпосередньо та повною мірою не стосуються електроенергетики, а більшою мірою завдають впливу на промисловість і сферу послуг крупних економік загалом. А от вже опосередковано промислове виробництво та потреба у енергії впливає на коливання темпів зростання, що наведені на рис. 1.

За ці роки маємо середнє зростання співвідношення обсягів електроенергії відновлюваними джерелами до загального обсягу на рівні 6,7 % за рік. Зазначимо, що з 2004 року це середнє значення вже переважає 8,0 %. Тобто спостерігається світова тенденція до переходу багатьох країн на відновлювані джерела енергії.

Українська енергетика значно поступається у розвитку відновлюваних джерел енергії: на 2019 рік лише досягла 4,9 % від загального виробництва (разом гідроенергетика, енергія біопалива та відходи, вітрова та сонячна енергія) [10]. Проте варто відзначити, що з 2004 року ця частка суттєво виросла, і в 2015 році всього у 6,4 рази нижче світового рівня, тоді як саме у 2004 році різниця була у 100 раз.

Варто додати, що на січень 2021 року частка виробництва з відновлюваних джерел енергії сягнула 3,5% [11].

Дослідження електрогенерації в Україні упродовж менш тривалого часу, а саме з 2007 по 2019 рік, надає змогу стверджувати, що маємо скорочення загального обсягу виробленої електроенергії та суттєвого зростання частки генерації з відновлюваних джерел (рис. 2). Дані з джерела [12] відрізняються менш ніж на 1 % від даних Укренерго.

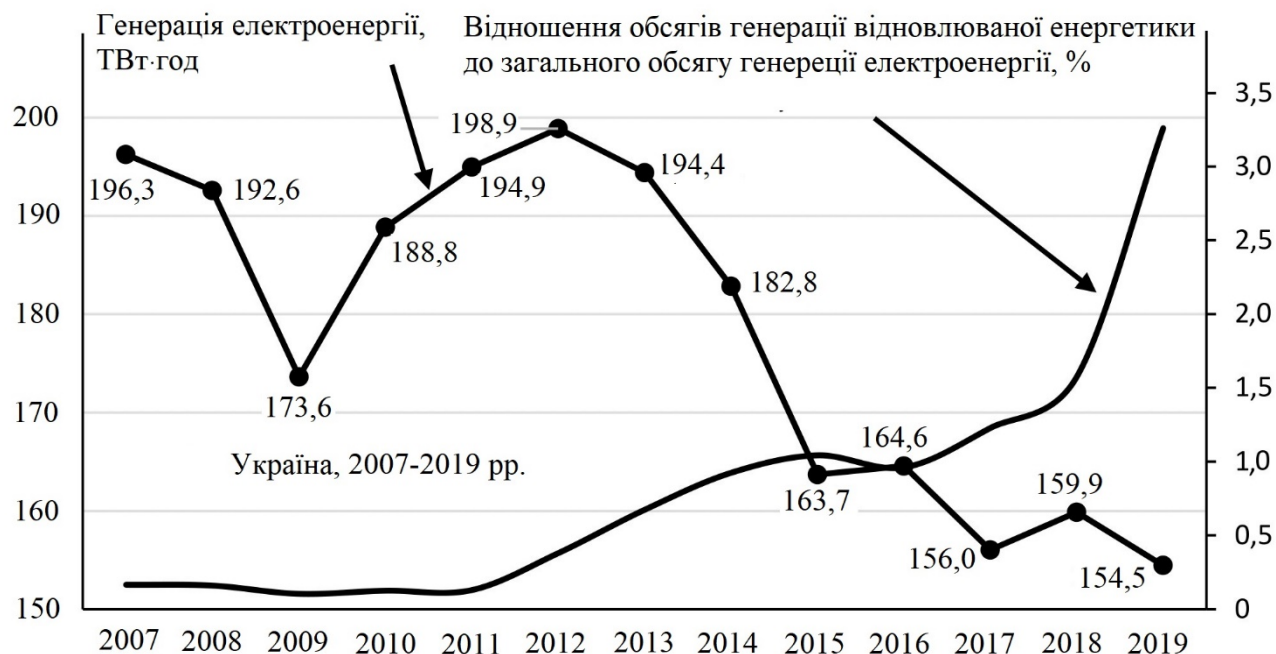


Рис. 2. Обсяги електрогенерації та частка генерації з відновлюваних джерел в Україні за 2007–2019 роки
Джерело: розроблено авторами з використанням даних [12]

Так, у 2012 році електрогенерація сягнула майже 200 ТВт·год, а у 2019 році лише 154 ТВт·год. Таке зниження обсягів пов'язано з агресією Російської Федерації та тимчасової окупації нею 7 % території України. До того ж знизилася споживання електроенергії промисловими підприємствами.

В умовах декарбонізації доцільним є дослідження динаміки генерації енергії з відновлюваних джерел і можливого впливу цього на зниження обсягів викидів CO₂. На рис. 3 зазначене візуалізовано для України.



Рис. 3. Співвідношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел та обсягів викидів CO₂ у динаміці з 2007 по 2019 рік

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [12]

На відтинку часу від 2007 року по 2011 рік у явному вигляді виділяється вплив глобальної економічної кризи, а саме незначне зменшення викидів з 2007 по 2009 рік у зв'язку зниженням ділової активності, обсягів промислового виробництва. Потім, з 2010 року по 2012 рік, спостерігалось збільшення обсягів викидів CO₂, проте вже не досягає рівня 2007 року. Починаючи з 2012 року обсяги й надалі знижуються майже у два рази. Суттєвого зростання набувають обсяги генерації енергії з відновлюваних джерел – у 15 разів за період, що розглядається. Ще заслуговує на увагу те, що з 2016 року суттєво зростають обсяги генерації енергії з відновлюваних джерел при практично сталих обсягах викидів CO₂, на рівні до 200 млн тонн.

З метою порівняння розвитку України та країн ЄС у сфері генерації енергії з відновлюваних джерел наведемо графік співвідношень обсягів цієї генерації України до загального по країнах світу та генерації країн ЄС до країн світу (рис. 4). Наразі спостерігається тенденція до постійного зменшення відношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел країн ЄС до країн світу від 42,7 % до 27,4 %. Проте й це є досить високим показником, адже країнами ЄС генерується понад 25 % усіх світових обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел при 3,1 % території суші Землі. Зовсім інша ситуація в Україні. Країна, яка займає близько 0,45 % території суші, генерує всього 0,18 % обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел.

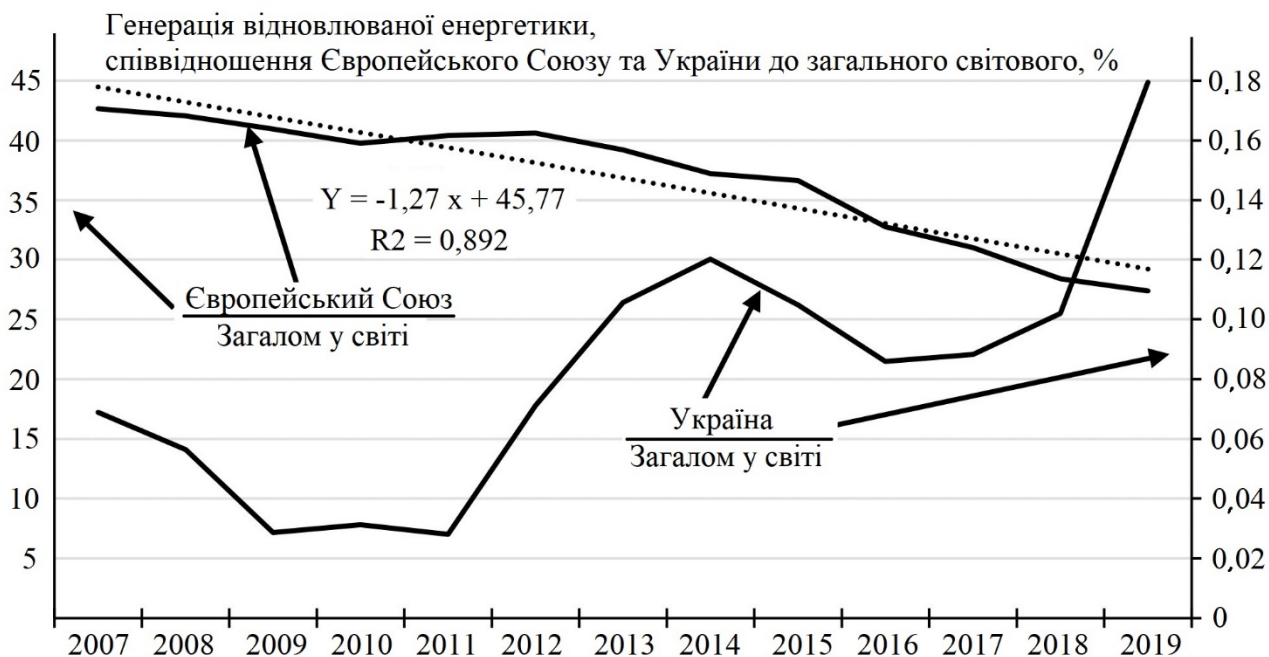


Рис. 4. Співвідношення обсягів генерації енергії з відновлюваних джерел України до загального по країнах світу та генерації країн ЄС до країн світу з 2007 по 2019 рік

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [12]

Висновки і перспективи подальших досліджень. На підставі аналізування статистичних даних виробництва електроенергії з відновлюваних джерел визначено, що середнє значення зростання співвідношення обсягів електроенергії відновлюваними джерелами до загального обсягу виробництва електроенергії сягає 6,7 % за рік. Проте, з 2004 року це середнє значення вже переважає 8,0 % на рік, що свідчить про прискорення розвитку відновлюваної енергетики. Встановлено, що в українській енергетиці частка відновлюваних джерел енергії у 2019 році досягла всього значення 4,9 % від загального виробництва (сумарно гідроенергетика, енергія біопалива та відходів, а також вітрова та сонячна енергія). Результати дослідження форсайту технологій за MIT Technology Review свідчать, що близько 15 % проривних технологій належать до енергетики, зокрема відновлюваної.

Відзначено важливість розвитку енергетики з метою декарбонізації економіки, зниження обсягів викидів CO₂, поліпшення клімату на Землі. Саме у цьому зрізі Україна має прогрес, починаючи з 2016 року. Проте спостерігається призупинка у зменшенні обсягів викидів CO₂ за останні 5 років. Зниження цих обсягів сягає близько двох разів з 2007 по 2015 рік і є досить важливим для України, а от зупинка зниження потребує подальших наукових досліджень. Доведено, що наразі для країн Європейського Союзу маємо зниження відсотків у використанні відновлюваної енергії, тоді як для України маємо доволі суттєве зростання. Перспективним напрямом подальшої декарбонізації є впровадження технологій у межах «10 Breakthrough Technologies», а саме «гарячі» сонячні елементи у сферах їх виробництва та використання; безвуглецевий природний газ як заміник природному в обмежених сферах; ядерна енергетика нової хвилі у частині заміни традиційних АЕС; уловлювач вуглекислого газу у межах територій, де викиди CO₂ є суттєвими, у тому числі й середмісті, літій-металеві батареї як продукт новітніх збудованих фабрик; зелений водень у межах європейських програм та ініціатив.

Список використаної літератури.

1. Sustainable Development Goals United Nations Development Programme. URL: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (assessed 20 April 2021).
2. The Paris Agreement. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (assessed 20 April 2021).
3. Kyoto Protocol. (Last modified on: 14 January 2009). URL: https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf (assessed 20 April 2021).
4. Borowski, P.F. (2021). Innovative Processes in Managing an Enterprise from the Energy and Food Sector in the Era of Industry 4.0. *Processes*, 9, 381. URL: <https://doi.org/10.3390/pr9020381> (assessed 20 April 2021).
5. 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. pp.1-14.
6. 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> (assessed 20 April 2021).
7. Геєць В. М., Кириленко О. В., Басок Б. І., Базєєв Є. Т. (2020). Енергетична стратегія: прогнози і реальності (огляд). *Наука та інновації*. Т. 16, № 1. С. 3-15.
8. Ten Breakthrough Technologies Massachusetts Institute of Technology. URL: <https://www.technologyreview.com/> (assessed 20 April 2021).
9. The World Bank Data and Research (2021), World Bank Statistics Database. URL: <http://data.worldbank.org> (assessed 20 April 2021).
10. Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007-2019. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 20.04.2021).
11. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей – 2020. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2020/12/Proyekt-zvitu-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej-2020.pdf> (дата звернення: 20.04.2021).
12. Statistical Review of World Energy British Petroleum Corp. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (assessed 20 April 2021).

References.

1. United Nations Development Programme (2021), “Sustainable Development Goals”, Available at: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (assessed 20 April 2021).
2. United Nations Framework Convention on Climate Change (2015), “The Paris Agreement”, Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (assessed 20 April 2021).
3. United Nations Framework Convention on Climate Change (2009), “Kyoto Protocol (Last modified on: 14 January 2009)”, Available at: https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf (assessed 20 April 2021).
4. Borowski, P.F. (2021), “Innovative Processes in Managing an Enterprise from the Energy and Food Sector in the Era of Industry 4.0”, *Processes*, vol. 9, 381, Available at: <https://doi.org/10.3390/pr9020381> (assessed 20 April 2021).
5. Groppi, D. Pfeifer, A. Garcia, D. A. Krajačić, G. and Duić, N. A. (2021), “Review on Energy Storage and Demand Side Management Solutions in Smart Energy Islands”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, pp.1-14.
6. Kalair, A. Abas, N. Saleem, M. S. Kalair, A. R. and 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> (assessed 20 April 2021).
7. Heiets, V. M. Kyrilenko, O. V. Basok, B. I. and Bazieiev, Ye. T. (2020), “Energy strategy: forecasts and realities (review)”, *Nauka ta innovatsii*. vol. 16, no 1, pp. 3-15.
8. Massachusetts Institute of Technology (2021), “Ten Breakthrough Technologies”, Available at: <https://www.technologyreview.com/> (assessed 20 April 2021).
9. The World Bank Data and Research (2021), “World Bank Statistics Database”, Available at: <http://data.worldbank.org> (assessed 20 April 2021).
10. State Statistics Service of Ukraine (2020), “Renewable energy consumption for 2007-2019”, Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (assessed 20 April 2021).
11. Ukrenerg (2020), “Report on conformity assessment (sufficiency) of generating capacities – 2020”, Available at: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2020/12/Proyekt-zvitu-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej-2020.pdf> (assessed 20 April 2021).
12. British Petroleum Corp. (2021), “Statistical Review of World Energy”, Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (assessed 20 April 2021).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2021 р.