

С. В. Нараєвський,
к. е. н., доцент, доцент кафедри міжнародної економіки, Національний технічний
університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5527-893X>

DOI: 10.32702/2306-6814.2024.15.127

ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ КРАЇН "ВЕЛИКОЇ ЧЕТВІРКИ (ЗАХІДНА ЄВРОПА)"

S. Naraievskyi,
PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economics,
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION IN THE ELECTRICITY INDUSTRY OF THE "BIG FOUR (WESTERN EUROPE)" COUNTRIES

У статті аналізується технологічна трансформація електроенергетики країн "Великої четвірки (Західна Європа)" (G4), яка була проведена протягом XXI ст. Передумовою для проведення трансформації енергетики була нафтова криза 1973 р. Більшість країн Європи, у тому числі "великі" країни, зосередили свою увагу на розвитку відновлюваної енергетики. Серед різних напрямів відновлюваної енергетики основними технологічними напрямками було обрано вітрову та сонячну енергетику.

Визначено, що найбільшого зниження виробництва електроенергії було досягнуто у тепловій енергетиці, де у якості палива використовується вугілля (Німеччина, Франція, Великобританія) та продукти переробки нафти (Італія). Серед інших технологічних напрямів традиційної енергетики, що зазнали суттєвого скорочення була атомна енергетика, яка у Німеччині повністю припинила виробництво електроенергії у квітні 2023 р.

За масштабами розвитку відновлюваної енергетики європейським лідером була Німеччина, у якій цей напрям забезпечує майже половину загальних обсягів виробництва електроенергії. За окремими напрямками відновлюваної енергетики Німеччина була лідером у розвитку вітрової та сонячної енергетики, а Великобританія — за розвитком офшорної вітрової енергетики.

Проведено порівняльний аналіз ефективності роботи вітрової та сонячної енергетики у країнах G4. У вітровій енергетиці лідируючу позицію займала Великобританія завдяки успішному розвитку, насамперед офшорної вітрової енергетики, якій властиво значно вищий коефіцієнт використання встановленої потужності порівняно з наземною вітровою енергетикою. У сонячній енергетиці лідируючі позиції займала Франція та, з незначним відставанням, Італія, завдяки природному фактору (високому рівню сонячної інсоляції).

Зазначені основні переваги та недоліки вітрової та сонячної енергетики. Серед недоліків основним є нестабільність виробництва електроенергії, яка залежить від погодних умов. Серед переваг основними є модульний характер потужностей, менші терміни введення в дію об'єктів генерації та менші суми початкових інвестицій для розбудови цих об'єктів. Модульний характер та розосередження генеруючих потужностей є додатковим безпековим фактором враховуючи ситуацію в Україні.

The article analyzes the technological transformation of the electricity industry of the "Big Four (Western Europe)" (G4) countries, which was carried out during the 21st century. The oil crisis of 1973 became a prerequisite for the transformation of the energy industry. Most European countries, including the "big" countries, have focused their attention on the development of renewable energy. Wind and solar energy chosen were as the main technological directions among various renewable energy technologies.

Thermal energy experienced the biggest decline in electricity production: based on coal (Germany, France, Great Britain) based on refined oil products (Italy). Nuclear energy also experienced a significant reduction in production, and the last power units of nuclear power plants shut down were in Germany in April 2023.

In Germany, renewable energy provided about half of the electricity production and it was the European leader in this direction. Germany was a leader in the development of wind and solar energy, and Great Britain held a leading position in the development of offshore wind energy. Germany has its own powerful manufacturers of wind energy equipment: Siemens Energy, Nordex, and Enercon. Chinese companies occupy dominant positions both on the world market in general and on the European market in particular.

A comparative analysis of the efficiency of wind and solar energy in the G4 countries carried out was. The UK has been a leader in wind energy thanks to the development of offshore wind energy, which has a higher utilization rate of installed capacity. France and, with a slight lag, Italy were leading the way in solar energy due to the natural factor (high level of solar insolation).

Solar and wind energy have certain disadvantages and advantages. The main disadvantage is the instability of production, which depends on weather conditions. The main advantages are the modular nature of the capacities, a shorter period of implementation, and a smaller amount of initial investment. An additional security factor for Ukraine is the modular nature and dispersion of generating capacities.

Ключові слова: технологічна трансформація електроенергетики, Велика четвірка (Західна Європа), тепла енергетика, атомна енергетика, відновлювана енергетика, вітрова енергетика, сонячна енергетика, ефективність використання встановленої потужності.

Key words: evaluation technological transformation in the electricity industry, Big Four (Western Europe), thermal energy, nuclear energy, renewable energy, wind energy, solar energy, efficiency of use of installed capacity.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Питання стабільного забезпечення споживачів електричною енергією в Україні, наразі, є одним з найважливіших для громадян, бізнесу та економіки країни загалом. За рахунок втрати значної частини генеруючих потужностей більшість споживачів отримують електричну енергію за графіками, що передбачають постійні відключення, а самі ці відключення можуть тривати чотири, сім, чи навіть більше годин поспіль.

Залежно від технології, що використовується для виробництва електроенергії потужності можуть поділятися на базові та регулюючі (реверсивні). Найкращим варіантом базової потужності є атомна енергетика, а найкращим варіантом регулюючої потужності є гідроенергетика. Енергосистема країни має складатися з різних технологічних рішень для виробництва електроенергії, що має забезпечувати стабільність роботи такої системи, враховувати зміни споживання залежно від періоду року (зима, літо), тижня (робочі та вихідні дні) та часу доби (ранкові та вечірні піки навантаження та нічний спад у енергоспоживанні).

Більшість країн Європи протягом ХХІ ст. суттєво змінили технологічну структуру власних генеруючих потужностей. Значна частина країн Європи суттєво наростили потужності відновлюваної енергетики, серед яких найдинамічніше розвивалися вітрова та сонячна енергетика. Доцільним є дослідження досвіду, насамперед, великих країн Європи (Німеччина, Франція, Великобританія, Італія) у трансформації їхньої енергетики та визначення можливих напрямів використання цього позитивного досвіду при відновленні та розбудові енергетики України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На рівні Європейського Союзу (ЄС) основним документом, що передбачає суттєве зменшення негативного впливу на довкілля, включаючи трансформацію енергетики, є Європейський зелений курс (The European Green Deal). Загалом, у разі позитивної реалізації сукупності цих політичних ініціатив Європейської Комісії (European Commission) Європа має стати першою кліматично нейтральною частиною світу. Проміжними цілями є зниження викидів парникових газів до 2030 р. на 55 % відносно 1990 р., частка відновлюваної енергетики має становити понад 32 %, підвищення енергоефективності має складати 32,5 %. Оскільки, наразі, на енергетику припадає близько 75 % викидів парникових газів у ЄС, то зміна технологічних процесів з існуючих, на нейтральні до вуглецю є головним пріоритетом до 2050 р. у перебудові країнами Європи власної енергетики [1].

В Україні однією з організацій, що займається прогнозуванням та розробкою сценаріїв розвитку енергетики є Національний інститут стратегічних досліджень (НІСД). За баченням спеціалістів цієї установи, серед технологічних рішень зі сфери відновлюваної енергетики, що використовуються уже протягом декількох десяти років, найбільш поширеними є вітрова та сонячна енергетика. До більш нових видів технологічних рішень відносять такі: високоманеврова тепла генерація, системи накопичення електричної енергії, споживачі-регулятори, малі модульні ядерні реактори, технології утилізації профіцитів електричної енергії в енергосистемі (спрямування цього профіциту на виробництво водню), механічні накопичувачі енергії та ін. Ще одним важливим елементом для розвитку енергетики майбутнього є автоматизація технологічних процесів за рахунок розбудови розумних мереж (Smart-Grids) та штуч-

ного інтелекту (Artificial intelligence), що мають забезпечити ефективне управління режимами виробництва, передачі та споживання електричної енергії [2, с. 6—7, 9].

Energy Institute публікує статистичний звіт (Statistical Review of World Energy 2024). Аналогічні статистичні звіти протягом 70-ти років публікувала британська нафтова компанія BP починаючи з 1952 р. Наразі ця публікація здійснюється за підтримки BP, а також за рахунок консультативної та фінансової підтримки консалтингових компаній KPMG (Нідерланди) і Kearney (США). Звіт містить великий перелік статистичної інформації по паливно-енергетичному комплексу та енергетиці, включаючи обсяги виробництва електроенергії за рахунок використання різних видів традиційної та відновлюваної енергетики [3].

Міжнародне агентство з поновлюваних джерел енергії (International Renewable Energy Agency (IRENA)) публікує на своєму сайті значний обсяг інформації з розвитку альтернативної енергетики. Інформація стосується обсягів введених потужностей, обсягів виробництва теплової та електричної енергії, витрат на виробництво енергії, кількості працюючих, нових видів генерації, ситуації у різних регіонах і країнах світу та ін. [4].

Міжнародна організація Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) у своїх звітах аналізує інформацію стосовно розвитку різних напрямів відновлюваної енергетики, енергозбереження, транспорту, інвестування в альтернативну енергетику та ін. Статистика наводиться по окремим регіонам світу та найбільшим країнам, що лідирують за певним технологічним напрямом [5].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є проведення порівняльного аналізу стосовно технологічних рішень, що забезпечують основні обсяги виробництва електроенергії у найбільших країнах Європи. Визначення, які з цих технологій можуть бути використані в Україні для максимально швидкого відновлення пошкоджених потужностей та забезпечення максимальної стабільності у постачанні електричної енергії у наступному часовому періоді. Методологічну основу дослідження становлять методи статистичного дослідження, тенденцій і показників динаміки, макроекономічного аналізу, порівняльного аналізу, системного підходу, логічного узагальнення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Питання стосовно зміни структури власних генеруючих потужностей постало дуже гостро перед розвинутими країнами світу під час нафтової кризи у 1973 р. Уряди багатьох країн, насамперед європейських, почали розробляти плани зі зменшення власної залежності від постачання енергетичних ресурсів із закордону. Насамперед це стосувалося нафти, але також зачіпало й інші традиційні енергетичні ресурси (вугілля та природний газ). Напрямів реалізації запланованого зменшення залежності від традиційних викопних видів палива було декілька. Одним з них був розвиток атомної енергетики, ще одним з можливих напрямів був прискоре-

ний розвиток різних напрямів відновлюваної енергетики. Додатковими заходами було підвищення енергоефективності, перехід на громадський транспорт чи використання двоколісних транспортних засобів (скутер, велосипед, електросамокат) замість власного автомобіля та ін.

Однією з перших серед країн Європи, що почала провадити кардинальні зміни у власній енергетиці, була Данія. На першому етапі розглядали можливість розбудови атомної енергетики, якої у цій країні не було. Проаналізувавши різні сценарії, керівництво країни відмовилося від будівництва атомних енергоблоків на своїй території та переорієнтувалося на розвиток відновлюваної енергетики. За час, що пройшов, від нафтової кризи 1973 р. Данія стала одним зі світових лідерів у розвитку, насамперед, вітрової енергетики. Вона першою почала виробництво електроенергії у промислових масштабах, ще у 1978 р. Надалі, у 1993 р. обсяги виробництва досягли 1 млрд кВт·год (2,94 % від загальних обсягів виробництва електроенергії у Данії — 34 млрд кВт·год), у 2012 р. — 10,3 млрд кВт·год (33,55 % від 30,7 млрд кВт·год), а за підсумками 2023 р. — 19,4 млрд кВт·год (57,7 % від 33,6 млрд кВт·год). Така частка вітроенергетики у загальних обсягах виробництва електроенергії є одним з найвищих показників у світі, якщо не враховувати невеликі острівні території, насамперед у Карибському басейні, де окрім вітрової та сонячної енергетики інших джерел енергії може не бути взагалі [3].

Данська компанія Vestas є технологічним лідером у виробництві вітроустановок мегаватного класу (встановлена потужність однієї вітроустановки складає понад 1 МВт) та тривалий час (понад 20 років) займала перше місце за обсягом вироблених вітроустановок. За підсумками 2022 р. за обсягами вироблених вітроустановок займала 2-гу позицію у загальносвітовому рейтингу (встановлена потужність 12,3 ГВт) незначно (на 3,1 %) поступаючись китайській компанії Goldwind (12,7 ГВт). За окремими напрямками у 2022 р. вона займала: наземна вітроенергетика — 2-ге місце (встановлена потужність 10,4 ГВт), офшорна вітроенергетика — 1-ше місце (1,9 ГВт). Підрозділ з розвитку вітроенергетики компанії ДТЕК на своїх вітрових електростанціях в Україні встановлює вітроустановки саме цього данського виробника як такі, що найкраще відповідають вітровим умовам України та показникам "ціна-якість" [6].

Досвід Данії свідчить про можливість успішної технологічної трансформації власної електричної генеруючої системи за рахунок розвитку, насамперед, вітрової енергетики та її вдалого поєднання з іншими видами генерації. Та все ж, Данія є досить невеликою країною (площа країни становить близько 43,1 тис км²) і буде доцільним дослідити ситуацію у більших країнах Європи, що співставні за окремими показниками з Україною. Відповідно, для порівняння були обрані великі країни Європи: Німеччина, Франція, Великобританія, Італія. Іноді ці країни називають "Велика четвірка (Західна Європа)" (Big Four (Western Europe)), насамперед, через розмір їх економік, що у Європі займають перші чотири позиції. Також, ці країни входять до Групи семи (G7) та Групи двадцяти (G20), яка включає дев'ятнад-

цять провідних країн (економік) світу, ЄС та, з 2023 р., Африканський Союз.

Структура виробництва електроенергії у цих країнах у 2023 р. наведена у табл. 1. У традиційній енергетиці найбільші обсяги виробництва електроенергії за окремими напрямками були у Італії (нафта — 10,6 млрд кВт·год та природний газ — 117,5 млрд кВт·год), Німеччини (вугілля — 127,8 млрд кВт·год), Франції (атомна енергія — 338,2 млрд кВт·год та гідроенергія — 84,3 млрд кВт·год). Найбільші обсяги виробництва у відновлюваній енергетиці були у Німеччини (252,8 млрд кВт·год). Наступні позиції розподілилися таким чином: 2-ге місце займала Великобританія (129,8 млрд кВт·год), 3-є місце — Франція (84,3 млрд кВт·год), 4-те місце — Італія (75,1 млрд кВт·год).

Розглянемо як змінилася технологічна структура генерації електричної енергії кожної з цих країн окремо за період 2000—2023 рр., а також проаналізуємо пріоритетні напрями генерації на початку XXI ст. та за підсумками 2023 р.

Першою будемо аналізувати Німеччину як найбільшу економіку Європи. За загальними обсягами виробництва електроенергії (513,6 млрд кВт·год) Німеччина, також була європейським лідером, за виключенням останнього, 2023 р., коли вона незначно поступилася Франції (519,7 млрд кВт·год). Обсяги виробництва електричної енергії у Німеччині за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000—2023 рр. наведено у табл. 2.

Протягом зазначеного періоду у Німеччині спостерігалося нарощування обсягів виробництва електроенергії до 2015 р. (647,1 млрд кВт·год), а надалі було зафіксовано суттєве скорочення (на 20,6 %), що у 2023 р. становило 513,6 млрд кВт·год. За окремими технологічними напрямками генерації на початок аналізованого періоду (2000 р.) найбільший обсяг виробленої електроенергії (291,4 млрд кВт·год, 50,7 % від загального виробництва) забезпечували теплові електростанції (ТЕС), що працювали на вугіллі. В подальшому, насамперед через шкоду для довкілля, виробництво на вугільних ТЕС скоротилося до 2023 р. у понад два рази (127,8 млрд кВт·год, 24,9 % від загального виробництва). І це враховуючи, що власні запаси вугілля у Німеччині є одними з найбільших серед країн Європи. За рахунок розвіданих запасів при збереженні видобутку на рівні останнього року (2023 р.) Німеччина може забезпечувати свої потреби протягом 334 років. Середній показник для країн Європи становить 299 років, а середньосвітовий показник — 139 років [3].

Обсяги виробленої електроенергії за рахунок продуктів переробки нафти (насамперед мазуту) змінилися не суттєво (скоротилося з 5,9 млрд кВт·год у 2000 р. до 4,9 млрд кВт·год у 2023 р.). Обсяги виробленої електроенергії з природного газу мали тенденцію до зростання (95,0 млрд кВт·год у 2020 р.), але починаючи з 2022 р. почали скорочуватися (77,7 млрд кВт·год у 2023 р.) [3].

Таблиця 1. Технологічна структура виробництва електроенергії у "Великій європейській четвірці", млрд кВт·год (2023 р.)

Країна	Нафта	Природний газ	Вугілля	Атомна енергія	Гідро-енергія	Відновлювана енергія	Інші види енергії	Загалом
Німеччина	4,9	77,7	127,8	7,2	19,6	252,8	23,6	513,6
Франція	1,8	32,3	0,9	338,2	55,5	84,3	6,7	519,7
Великобританія	2,4	97,9	3,5	40,7	5,2	129,8	6,1	285,6
Італія	10,6	117,5	20,0	0	38,9	75,1	3,2	265,3

Джерело: сформовано на основі [3].

Таблиця 2. Обсяги виробництва електричної енергії у Німеччині за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000—2023 рр., млрд кВт·год

Вид енергоресурсу	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Нафта	5,9	11,9	8,6	6,1	4,7	4,9
Газ	49,2	72,2	88,8	61,5	95	77,7
Вугілля	291,4	288,1	262,9	272,2	134,6	127,8
Атомна	169,6	163	140,6	91,8	64,4	7,2
Гідро	24,9	19,6	21	19	18,3	19,6
Відновлювана	12,9	43,8	84,5	169,2	232,8	252,8
Інші	21,3	24,1	26,6	27,3	24,9	23,6
Загалом	575,2	622,7	633	647,1	574,7	513,6

Джерело: сформовано на основі [3].

Найбільш кардинального скорочення зазнало виробництво електроенергії на атомних електростанціях (АЕС). За потужністю власних АЕС у 2000 р. Німеччина займала 2-ге місце у Європі після Франції та 4-те місце у світі поступаючись ще США та Японії. Нових АЕС у Німеччині тривалий час не будували, але питання з відновлення їхнього будівництва періодично піднімалися в урядових колах цієї країни. Після аварії на японській АЕС Фукусіма у 2011 р., питання з будівництва нових атомних блоків у Німеччині було закрито, а виведення з експлуатації діючих енергоблоків прискорилося. За підсумками 2023 р. за обсягами виробництва електроенергії на АЕС (7,2 млрд кВт·год) Німеччина займала лише 13-те місце у Європі і це були показники лише за перші чотири місяці 2023 р. У квітні 2023 р. у Німеччині було зупинені три останні енергоблоки АЕС і з цього періоду електроенергія у атомній енергетиці цієї країни уже не виробляється [3].

Відновлювана енергетика Німеччини, навпаки, зазнала динамічного зростання. Її розвиток у промислових масштабах почався ще з кінця ХХ ст. Так, перші промислові об'єкти у вітрової енергетиці Німеччини було введено в дію у другій половині 80-х рр. ХХ ст., а у сонячній енергетиці на початку 90-х рр. ХХ ст. Цьому сприяла державна програма з їхнього розвитку, законодавча підтримка, пільги для виробників електроенергії, сприяння місцевих органів влади. За підсумками 2023 р. у відновлюваній енергетиці Німеччини було вироблено 252,8 млрд кВт·год електроенергії, з яких у вітрової енергетиці — 142,1 млрд кВт·год, у сонячній — 61,2 млрд кВт·год та ще 50,4 млрд кВт·год за рахунок інших технологічних рішень [3].

У вітрової енергетиці Німеччина має трьох потужних виробників вітроустановок. Найбільшою є компанія Siemens Energy. За підсумками 2022 р. у загальносвітовому рейтингу вона займала 5-те місце за обсягом виробленої продукції (загальна потужність вироблених вітроустановок становила 6,8 ГВт), а за окремими на-

Таблиця 3. Обсяги виробництва електричної енергії у Франції за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000–2023 рр., млрд кВт·год

Вид енергоресурсу	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Нафта	7,2	7,9	5,5	2,7	1,7	1,8
Газ	11,5	23,1	23,8	24,4	37	32,3
Вугілля	30,9	30,7	26,3	9,5	1,4	0,9
Атомна	415,2	451,5	428,5	437,4	353,8	338,2
Гідро	66,4	51,5	62,7	54,6	61,7	55,5
Відновлювана	3	4,8	15,5	35,7	61,5	84,3
Інші	5,7	6,5	7	7,4	7,2	6,7
Загалом	539,9	576	569,3	571,7	524,3	519,7

Джерело: сформовано на основі [3].

Таблиця 4. Обсяги виробництва електричної енергії у Великобританії за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000–2023 рр., млрд кВт·год

Вид енергоресурсу	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Нафта	6,5	5,3	4,8	2	1,6	2,4
Газ	148,1	152,6	175,7	99,9	112,7	97,9
Вугілля	119,9	134,6	107,6	75,9	5,5	3,5
Атомна	85,1	81,6	62,1	70,3	50,3	40,7
Гідро	5,1	4,9	3,6	6,3	6,9	5,2
Відновлювана	4,8	12	22,6	77,1	127,4	129,8
Інші	7,5	7,2	5,7	7,4	10,4	6,1
Загалом	377	398,2	382,1	338,9	314,8	285,6

Джерело: сформовано на основі [3].

прямами виробництва вітроустановок у наземній вітроенергетиці, також 5-те місце (5,4 ГВт), у офшорній вітроенергетиці 2-ге місце (1,4 ГВт) поступаючись лише, уже згаданий вище данській компанії Vestas. Ще одним потужним виробником вітроустановок у Німеччині є компанія Nordex. Вона займала 7-ме місце у загальносвітовому рейтингу за загальним виробництвом вітроустановок (4,7 ГВт). Усі мали відношення до наземної вітроенергетики. У офшорній вітроенергетиці ця компанія не працювала. Третім виробником вітроустановок у Німеччині є компанія Enercon. За рік компанія виробляє вітроустановок загальною потужністю близько 2 ГВт [6].

У виробництві сонячних панелей домінуючі позиції як на світовому ринку, загалом, так і на європейському ринку, зокрема, займають китайські компанії. Європейські виробники відповідного обладнання контролюють лише декілька відсотків загальносвітового ринку. Така ситуація пов'язана, з політикою, що проводили урядові органи Китаю та з недостатньою увагою до неї урядових кіл з більшості європейських країн.

Наступною країною для аналізу візьмемо Францію. Обсяги виробництва електричної енергії у Франції за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000–2023 рр. наведено у табл. 3. Загальні обсяги виробництва електроенергії у Франції мали тенденцію до зростання до 2015 р. (571,7 млрд кВт·год), а потім зазнали скорочення (519,7 млрд кВт·год) у 2023 р. [3].

Технологічна структура виробництва електроенергії у Франції не зазнала настільки суттєвих змін, як у Німеччині, але динаміка до розвитку відновлюваної енергетики також помітна. Зростання у відновлюваній енергетиці становило з 3 млрд кВт·год у 2000 р. до 84,3 млрд

кВт·год у 2023 р. (у 28,1 рази) та склало 16,2 % загальних обсягів виробництва електроенергії у Франції. Однією зі складових більш стабільної ситуації у енергетиці Франції є її досить оптимальна структура з поєднанням атомної енергетики (базова потужність) та гідроенергетики (регулююча потужність). За потужністю власної атомної енергетики та обсягами виробництва електроенергії на АЕС Франція тривалий час займала 2-гу позицію у загальносвітовому рейтингу, поступаючись лише США, а починаючи з 2020 р. перемістилася на 3-ю позицію, поступившись ще й Китаю. Протягом досліджуваного періоду обсяги виробництва електроенергії на АЕС скоротилися з 415,2 млрд кВт·год у 2000 р. до 338,2 млрд кВт·год у 2023 р., але вона продовжувала забезпечувати 65,1 % загальних обсягів виробництва електроенергії у Франції, що є найвищим показником у світовій енергетиці [3].

У традиційній тепловій енергетиці, протягом досліджуваного періоду, обсяг електроенергії виробленої на основі продуктів переробки нафти скоротився з 7,2 млрд кВт·год до 1,8 млрд кВт·год та вугілля з 30,9 млрд кВт·год до 0,9 млрд кВт·год, а за рахунок природного газу обсяги виробництва електроенергії, навпаки, суттєво зросли з 11,5 млрд кВт·год до 32,3 млрд кВт·год [3].

Третьою країною для аналізу візьмемо Великобританію. Обсяги виробництва електричної енергії у Великобританії за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000–2023 рр. наведено у табл. 4. Загальні обсяги виробництва електроенергії у Великобританії мали тенденцію до зростання лише на самому початку XXI ст. з 377,0 млрд кВт·год у 2000 р. до 398,2 млрд кВт·год у 2005 р. В подальшому обсяги виробленої електроенергії суттєво скоротилися. Загалом, протягом досліджуваного періоду (2000–2023 рр.) скорочення становило 24,2 % до 285,6 млрд кВт·год [3]. Це пов'язано з певною деіндустріалізацією Великобританії, тобто перенесення промислового виробництва до інших країн і розширення сфери послуг, яка не потребує такої кількості електроенергії. Ще однією складовою скорочення обсягів виробництва електроенергії є підвищення енергоефективності [3].

У традиційній тепловій енергетиці протягом досліджуваного періоду усі види зменшили обсяги генерації: на основі продуктів переробки нафти з 6,5 млрд кВт·год до 2,3 млрд кВт·год, на основі природного газу з 148,1 млрд кВт·год до 97,9 млрд кВт·год, а основі вугілля з 119,9 до 3,5 млрд кВт·год. Найбільше скорочення стосувалося електроенергії виробленої на ТЕС, що працюють на вугіллі. Це пов'язано як з екологічною складовою, оскільки вугілля найбільше забруднює навколишнє середовище, так і, на відміну від Німеччини, з вичерпанням розвіданих запасів вугілля на території Великобританії [3].

У атомній енергетиці протягом усього досліджуваного періоду обсяги виробленої електроенергії постійно скорочувалися, з 85,1 млрд кВт·год у 2000 р. до 40,7 млрд кВт·год у 2023 р. (на 52,2 %). Нових енергоблоків у Великобританії протягом цього часового періоду в експлуатацію не здавали, а існуючі поступово завершували свою роботу [3]. Наразі у Великобританії розробляється програма з розвитку атомної енергетики. Вона

передбачає збільшення генеруючих потужностей у 3 рази та побудову 6-ти чи 7-ми нових АЕС. Також, розглядається можливість спорудження малих модульних реакторів, що мають бути більш дешевою альтернативною традиційній атомній енергетиці.

У гідроенергетиці обсяги виробленої електроенергії залишилися фактично на тому ж рівні. У 2000 р. на ГЕС було вироблено 5,1 млрд кВт·год електроенергії, а у 2023 р. — 5,2 млрд кВт·год. Тобто, розвиток гідроенергетики у Великобританії досяг певної межі. Великих річок у цій країні немає, гірських масивів, де може бути великий перепад висот, за рахунок яких можна виробляти значні обсяги електроенергії навіть на малих річках, також немає [3].

Найбільш швидкими темпами у Великобританії розвивалася відновлювана енергетика. Зростання становило з 4,8 млрд кВт·год у 2000 р. до 129,8 млрд кВт·год у 2023 р. (у понад 27 разів). Наразі відновлювана енергетика є провідним напрямом генерації електроенергії забезпечивши у 2023 р. 45,4 % загальних обсягів виробництва електроенергії у цій країні. Провідним напрямом у відновлюваній енергетиці є вітроенергетика, яка у 2023 р. забезпечила виробництво 82,0 млрд кВт·год, а сонячна енергетика — 13,8 млрд кВт·год. Особливістю вітроенергетики Великобританії є значна частка потужностей у офшорній вітроенергетиці. Так за підсумками 2023 р. загальна встановлена потужність вітроустановок у Великобританії складала 28 763 МВт, з яких 14 835 МВт (51,6 % загальних потужностей вітроенергетики) у наземній вітроенергетиці та 13 928 МВт (48,4 %) у офшорній вітроенергетиці. За загальним обсягом встановлених потужностей у офшорній вітроенергетиці Великобританія займає 2-ге місце у світі поступаючись лише Китаю (30 460 МВт), але за часткою має найвищий показник у світі [3]. Основною перевагою офшорної вітроенергетики над наземною є вищий коефіцієнт використання встановленої потужності. У офшорній вітроенергетиці він може досягати 45,0 %, на відміну від наземної, де він переважно не перевищує 30,0 %. Це надає можливість виробляти більший обсяг електроенергії на одиницю встановленої потужності [7].

Останньою у цьому аналізі розглянемо Італію. Обсяги виробництва електричної енергії в Італії за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000—2023 рр. наведено у табл. 5. Загальні обсяги виробництва електроенергії у Італії також зазнали зниження, але на значно меншу величину (11,4 млрд кВт·год; на 4,1 %) ніж у трьох інших країн. У 2000 р. обсяги виробництва становили 276,7 млрд кВт·год, у 2005 р. вони зросли до 303,8 млрд кВт·год, а в подальшому спостерігалася тенденція до зниження виробництва на рівні 265,3 млрд кВт·год у 2023 р. [3].

Основу енергетики Італії у 2000 р. складали ТЕС, що у якості палива використовували традиційні енергоносії: природний газ — 101,4 млрд кВт·год, продукти переробки нафти — 85,9 млрд кВт·год, вугілля — 30,5 млрд кВт·год. За досліджуваний період частка продуктів переробки нафти суттєво скоротилася (у 8,1 рази) до 10,6 млрд кВт·год, природного газу зросла (на 15,9 %) до 117,5 млрд кВт·год, а вугілля скоротилася (на 34,4%) до 20 млрд кВт·год. Частка природного газу в енергетиці країни (44,3%) є найбільшою серед усіх

Таблиця 5. Обсяги виробництва електричної енергії у Італії за окремими технологічними напрямками генерації за період 2000—2023 рр., млрд кВт·год

Вид енергоресурсу	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Нафта	85,9	47,1	21,7	13,9	11,4	10,6
Газ	101,4	149,4	152,7	110,9	133,7	117,5
Вугілля	30,5	49,4	44,5	45,4	15,1	20
Атомна	0	0	0	0	0	0
Гідро	44,2	36,1	51,1	45,5	47,6	38,9
Відновлювана	6,7	12,4	25,8	63,4	69,4	75,1
Інші	8	9,4	6,2	3,9	3,3	3,2
Загалом	276,7	303,8	302	283	280,5	265,3

Джерело: сформовано на основі [3].

енергоресурсів та більшою, ніж у інших країн, що обрані для порівняння [3].

Об'єктів атомної енергетики у Італії немає. Гідроенергетика суттєвих змін не зазнала знизившись з 44,2 млрд кВт·год у 2000 р. до 38,9 млрд кВт·год у 2023. Відновлювана енергетика протягом досліджуваного періоду зросла найбільше (в 11,2 рази), з 6,7 млрд кВт·год до 75,1 млрд кВт·год. Провідним напрямом відновлюваної енергетики є сонячна — 31,2 млрд кВт·год, а у вітровій обсяги виробництва становили 23,5 млрд кВт·год. У вітровій енергетиці Італії потужностей в офшорній вітроенергетиці немає, на відміну від трьох інших країн.

Кожна з досліджуваних країн найбільшу увагу у розвитку власної енергетики зосереджувала на відновлюваній енергетиці. Основними напрямками у розвитку відновлюваної енергетики у цих країнах були вітрова та сонячна енергетика. Порівняльна характеристика розвитку вітрової та сонячної енергетики у країнах "Великої четвірки (Західна Європа)" наведена у табл. 6.

При порівнянні масштабів розвитку відповідної галузі у кожній із зазначених країн доцільним буде не лише розглянути обсяги введених потужностей та виробництво електроенергії, а й розрахувати ефективність роботи цих потужностей. Німеччина є лідером за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії як у вітровій, так і у сонячній енергетиці, але за ефективністю роботи у вітровій енергетиці (23,4 %) зайняла 3-ю позицію, а у сонячній (8,5 %) — останню, 4-ту. У вітровій енергетиці Німеччини це обумовлено тим, що ділянки з найкращим вітровим потенціалом уже зайняті, а вітроустановки розміщуються на ділянках, у яких цей вітровий потенціал не є високим. Офшорна вітрова енергетики у Німеччині також розвивається, але за розміром берегової лінії (2 389 км) та площею континентального шельфу придатного для встановлення вітроустановок ця країна суттєво поступається іншим трьом представникам G4 та, відповідно, має не найкращі можливості для її розвитку.

Франція у вітровій енергетиці за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії займає 3-є місце, а за ефективністю — 2-ге. У сонячній енергетиці за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії вона займає 3-є місце, а за ефективністю — 1-ше. Франція має найбільшу площу території (551,7 тис км²) у цій групі країн, має значну

Таблиця 6. Показники розвитку вітрової та сонячної енергетики у країнах "Великої четвірки (Західна Європа)" (2023 р.)

Країна	Вітрова енергетика			Сонячна енергетика		
	Встановлена потужність, МВт	Виробництво електроенергії, млрд кВт×год	Ефективність використання встановленої потужності, %	Встановлена потужність, МВт	Виробництво електроенергії, млрд кВт×год	Ефективність використання встановленої потужності, %
Німеччина	69 459	142,1	23,4	81 739	61,2	8,5
Франція	22 196	52,3	26,9	20 551	22,2	12,3
Великобританія	30 215	82,0	31,0	15 657	13,8	10,1
Італія	12 308	23,5	21,8	29 795	31,2	12,0

Джерело: сформовано та розраховано на основі [3].

берегову лінію (3 427 км) та сприятливі умови для розвитку як вітрової, так і сонячної енергетики.

Великобританія у вітровій енергетиці за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії займає 2-ге місце, а за ефективністю — 1-ше, що обумовлено успішним розвитком офшорної вітроенергетики. У сонячній енергетиці за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії вона займає 4-те місце, а за ефективністю — 3-є. Завдяки континентальному шельфу у Північному морі має одні з найкращих умов для розвитку офшорної вітрової енергетики, які успішно та ефективно реалізує.

Італія за усіма порівнюваними показниками у вітровій енергетиці займає останню — 4-ту позицію, що спричинено недостатньою увагою до розвитку цього напрямку, а об'єктів офшорної вітроенергетики у цій країні наразі немає. У сонячній енергетиці Італія за встановленими потужностями та обсягом виробленої електроенергії займає 2-ге місце після Німеччини, а за ефективністю, також 2-ге після Франції з невеликим відставанням. Має гарні перспективи для подальшого розвитку сонячної енергетики завдяки найбільшому рівню сонячної інсоляції у цій групі країн.

Враховуючи результати проведеного аналізу, найшвидші темпи розвитку мала відновлювана енергетика, насамперед вітрова та сонячна. Україні доцільно враховувати досвід цих країн Європи при відновленні власної енергосистеми та перебудувати її збільшивши генерацію у відновлювальній енергетиці. Вітрова та сонячна енергетика мають як недоліки, так і переваги. Серед основних недоліків є нестабільність виробництва електроенергії, що залежить від погодних умов (наявність чи відсутність вітру, інтенсивність сонячного випромінювання). Тому, ці джерела генерації потрібно комбінувати з іншими технологічними рішеннями та сприяти розвитку акумулюючих потужностей (гідроенергетика, електричні акумулятори, інші системи накопичування енергії).

Серед основних переваг вітрової та сонячної енергетики є модульний характер потужностей, терміни введення в дію, необхідний обсяг інвестицій. Так, якщо потужність енергоблоку сучасних АЕС знаходиться в межах 1 000—1 500 МВт, ТЕС — 200—350 МВт, то одинична потужність сучасної вітроустановки знаходиться в межах 5—15 МВт, а сонячної панелі 200—450 Вт. Термін введення в дію нової АЕС складає від 5-ти років, ТЕС від 2-х років, то потужна промислова вітрова електростанція може бути введена в дію протягом року, а сонячна електростанція — від декількох місяців до пів року. Вартість спорудження одного енергоблоку АЕС

потужністю 1 000 МВт становить від 5-ти млрд дол. [8], енергоблоку ТЕС потужністю 200 МВт — 300 млн дол. [9]. Для вітроустановок вартість становить близько 1 млн дол. / 1 МВт потужності [10], а для сонячної енергетики від 0,85 млн дол. / 1 МВт потужності [11]. Враховуючи модульний характер технологій відновлюваної енергетики отримати електроенергію можна за короткий проміжок часу та меншу суму початкових інвестицій. Також, розосередження генеруючих потужностей через їх модульний характер робить їх менш уразливими від ворожих атак, що наразі надзвичайно актуально для України, як воюючої країни.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

За результатами проведеного дослідження технологічної трансформації електроенергетики окремих країн Європи визначено, що найбільш динамічний розвиток отримали технології відновлюваної енергетики, а традиційні енергетичні технології теплової та атомної енергетики, навпаки, зазнали суттєвого скорочення. За обсягами виробництва електроенергії у відновлюваній енергетиці лідером є Німеччина (252,8 млрд кВт×год), а зростання виробництва за досліджуваний період становило 19,6 рази. Наступні позиції розподілилися наступним чином: Великобританія — 129,8 млрд кВт×год (зростання у 27 разів), Франція — 84,3 млрд кВт×год (у 28,1 рази), Італія — 75,1 млрд кВт×год (в 11,2 рази).

У традиційній енергетиці найбільшого скорочення зазнало виробництво електроенергії на ТЕС, що працюють на вугіллі. У Німеччині воно знизилось у 2,3 рази, у Франції — 34,3 у Великобританії — 34,1 рази, в Італії — 1,5 рази. Серед інших напрямів традиційної енергетики у Німеччині у квітні 2023 р. були закриті останні три енергоблоки АЕС і ця країна припинила виробництво електроенергії у атомній енергетиці, а Італія скоротила виробництво електроенергії на ТЕС, що у якості палива використовують продукти переробки нафти у 8,1 рази протягом досліджуваного періоду.

При порівнянні ефективності використання встановлених потужностей основними факторами, що на неї впливали у вітровій енергетиці була більша частка потужностей у офшорній вітроенергетиці, а у сонячній енергетиці — вищий рівень сонячної інсоляції, що властивий країнам Південної Європи (Італія, південь Франції). Так, за ефективністю у вітровій енергетиці найвищий показник був досягнутий Великобританією — 31,0 % використання встановленої потужності, а у со-

нячній енергетиці — Францією 12,3 % та з незначним відставанням Італією — 12,0 %.

Обґрунтовано основні недоліки та переваги вітрової та сонячної енергетики. Серед недоліків слід виокремити нестабільність виробництва електроенергії, та, як наслідок, складність узгодження виробництва і споживання. Серед переваг слід зазначити, насамперед, модульний характер потужностей у вітровій та сонячній енергетиці. Це надає можливість вводити генеруючі потужності частинами, що, у свою чергу, дозволяє отримати електроенергію значно швидше, витративши меншу суму інвестиційних коштів, ніж у традиційній енергетиці, насамперед, порівнюючи зі спорудженням нових енергоблоків АЕС.

У наступних дослідженнях можна дослідити самозабезпеченість електроенергією власного виробництва окремих регіонів України та можливість її підвищення за рахунок спорудження нових об'єктів відновлюваної енергетики. Також, важливим для аналізу є розбудова комбінованої системи генерації, у якій нестабільність виробництва одних технологій у відновлюваній енергетиці буде компенсуватися іншими джерелами генерації чи акумулюючими потужностями.

Література:

1. The European Green Deal. European Commission. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
2. Суходоля О. М. Нові енергетичні технології та їх вплив на функціонування системи енергопостачання: аналітична доповідь. К.: НІСД, 2022. 36 с.
3. EI Statistical Review of World Energy 2024. Energy Institute (EI). URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home>.
4. International Renewable Energy Agency (IRENA). URL: <https://www.irena.org>.
5. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21). URL: <https://www.ren21.net>.
6. Top 10 new-installed capacity for global wind power manufacturers is coming out! Chinese enterprises ranked first. Norwegian energy and environmental consortium. URL: <https://neec.no/top-10-new-installed-capacity-for-global-wind-power-manufacturers-is-coming-out-chinese-enterprises-ranked-first/>.
7. Average capacity factor for offshore wind power worldwide from 2010 to 2022. Statista — The Statistical Portal for Market. URL: <https://www.statista.com/statistics/1368679/global-offshore-wind-capacity-factor/>.
8. Вартість будівництва нового енергоблоку ХАЕС становитиме близько 5 млрд доларів — Енергоатом. Державне інформаційне агентство "Укрінформ". URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3805358-vartist-budivnictva-novogo-energobloku-haes-stanovitime-blizko-5-milardiv-energoatom.html>.
9. 30 млрд дол.: щоб українські ТЕС були такі, як європейські. Державне інформаційне агентство "Укрінформ". URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2593914-30-mlrd-dolariv-sob-ukrainski-tes-buli-taki-ak-evropejski.html>.

10. How Much Do Wind Turbines Cost. Today's Homeowner with Danny Lipford. URL: <https://todayshomeowner.com/eco-friendly/guides/wind-turbine-cost/>.

11. How Much Does a Solar Farm Cost? (2024). Market Watch Guides. URL: <https://www.marketwatch.com/guides/solar/solar-farm-cost/>.

References:

1. European Commission (2024). "The European Green Deal", available at: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (Accessed 25 July 2024).
2. Sukhodolia, O.M. (2022), Novi enerhetychni tekhnolohii ta ikh vplyv na funktsionuvannia systemy enerhopostachannia: analitychna dopovid' [New energy technologies and their impact on the functioning of the energy supply system: an analytical report], Natsional'nyj instytut stratehichnykh doslidzhen', Kyiv, Ukraine.
3. Energy Institute (EI) (2024), "EI Statistical Review of World Energy 2024", available at: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home> (Accessed 25 July 2024).
4. International Renewable Energy Agency (IRENA) (2024), available at: <https://www.irena.org> (Accessed 25 July 2024).
5. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21) (2024), available at: <https://www.ren21.net> (Accessed 25 July 2024).
6. Norwegian Energy and Environmental Consortium (2023), "Top 10 new-installed capacity for global wind power manufacturers is coming out! Chinese enterprises ranked first", available at: <https://neec.no/top-10-new-installed-capacity-for-global-wind-power-manufacturers-is-coming-out-chinese-enterprises-ranked-first/> (Accessed 25 July 2024).
7. The Statistical Portal for Market (2023), "Average capacity factor for offshore wind power worldwide from 2010 to 2022", available at: <https://www.statista.com/statistics/1368679/global-offshore-wind-capacity-factor/> (Accessed 25 July 2024).
8. Ukrinform (2024), "The cost of construction of a new power unit of the Khao NPP will be about 5 billion dollars — Energoatom", available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3805358-vartist-budivnictva-novogo-energobloku-haes-stanovitime-blizko-5-milardiv-energoatom.html> (Accessed 26 July 2024).
9. Ukrinform (2024), "9. 30 billion dollars: to make Ukrainian TPPs like European ones", available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2593914-30-mlrd-dolariv-sob-ukrainski-tes-buli-taki-ak-evropejski.html> (Accessed 26 July 2024).
10. Today's Homeowner with Danny Lipford (2024), "How Much Do Wind Turbines Cost", available at: <https://todayshomeowner.com/eco-friendly/guides/wind-turbine-cost/> (Accessed 26 July 2024).
11. Market Watch Guides (2024), "How Much Does a Solar Farm Cost? (2024)", available at: <https://www.marketwatch.com/guides/solar/solar-farm-cost/> (Accessed 26 July 2024).

Стаття надійшла до редакції 27.07.2024 р.