

РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИК ДЕЯКИХ КРАЇН ЗА КРИТЕРІЄМ "КЛІМАТИЧНА НЕЙТРАЛЬНІСТЬ"

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Енергетична стратегія України є важливою частиною її євроінтеграції. Відповідно до концепції «стійкого розвитку» енергетик країн ЄС головним критерієм є – екологічний, кліматична нейтральність, а мірою оцінки розвитку енергетики є наближення до неї, тобто, до нульових викидів вуглекислих газів. Розглянуто енергетику країн, що розвиваються відповідно до цього критерію, але з різними конфігураціями електроенергетичних систем. Проведено порівняльні оцінки викидів, часток «зеленої» та "чистої" енергії у загальному виробленні електроенергії, середній швидкості зростання частки зеленої енергії в цих країнах. Зроблено висновок щодо доцільності використання досвіду розглянутих країн при складанні можливих конфігурацій енергосистеми України та прогнозування динаміки змін характеристик її елементів в часі.

Ключові слова: електростанції, паливо, екологія, викиди, відновлювані джерела енергії, статистика.

Abstract

Ukraine's energy strategy is an important part of its European integration. According to the concept of "sustainable development", the main criterion for the energy sector of the EU countries is environmental, climate neutrality, and the measure of assessing the development of the energy sector is its approach to it, that is, to zero carbon emissions. The energy systems of developing countries are considered according to this criterion, but with different configurations of electric power systems. Comparative assessments of emissions, shares of "green" and "clean" energy in total electricity generation, and the average growth rate of the share of green energy in these countries were conducted. A conclusion was made on the feasibility of using the experience of the countries considered in drawing up possible configurations of the Ukrainian power system and forecasting the dynamics of changes in the characteristics of its elements over time.

Keywords: power plants, fuel, ecology, emissions, renewable energy sources, statistics.

Вступ. Постановка задачі

У 1970-х роках були отримані дані, що свідчили про надмірний негативний антропогенний вплив на стан планети, який при неконтрольованому зростанні споживання енергії може призвести до глобальної катастрофи. У 1972 році була опублікована доповідь Римського Клубу під назвою «Межі зростання», в якій стверджувалося, що навіть за найсприятливіших умов до 2100 року людство чекає катастрофа через критичне виснаження природних ресурсів. Реакцією світової спільноти стала консолідація зусиль для вирішення цієї проблеми. Важливим кроком у цьому напрямі став Кіотський протокол – угода між 197 державами, спрямована на зниження рівня викиду вуглекислих газів. Як орієнтир для урядів розвинутих країн було створено концепцію «стійкого розвитку». Вона ґрунтується на принципі «задоволення потреб нинішнього покоління без створення загрози для задоволення потреб майбутніх поколінь». Основу концепції складають три вектори розвитку: екологічний, економічний та соціальний. Екологічна складова концепції не допускає виснаження та «перевикористання» ресурсної бази. Отже, будь-якій компанії не вдасться максимізувати прибуток і мінімізувати витрати, проте, у довгостроковій перспективі, така поведінка веде до більш тривалого використання ресурсної бази. У цю категорію потрапляють такі цілі, як збереження біорізноманіття на планеті, контроль рівнів виділення вуглекислих газів та уповільнення глобального потепління. Економічна складова спрямована на підвищення добробуту людей та економіки країни. Соціальний розвиток має на увазі справедливий поділ благ, запровадження ефективних механізмів прийняття рішень, створення робочих місць та підвищення якості життя людей. У Європейському Союзі «Стратегію «стійкого розвитку» Європи» було схвалено 2001 року. Ключовим елементом стратегії є

Європейський Кліматичний закон 2021 року. Закон встановлює зобов'язання досягти кліматичної нейтральності до 2050 р. та обов'язкову проміжну мету – скоротити викиди парникових газів на 55% до 2030 р. Наближення до кліматичної нейтральності пов'язано з відновлюваною енергетикою. Виділяють шість основних типів відновлюваної («зеленої») енергії: сонячна, вітрова, геотермальна, енергія припливів, гідро- та біоенергетика. «Зелена» енергетика впливає на довкілля. Наприклад, ГЕС з великими греблями генерують викиди метану через розкладання рослинного матеріалу у водоймах. Проте вплив «зеленої» енергетики порівняно із впливом вугільних ТЕС набагато менший, і «зелену» енергетику вважають чистою. У ЄС з 2022 р. енергія згоряння природного газу та атомна енергія віднесені до чистих енергій. Але є обмеження. Країни ЄС експлуатують існуючі АЕС доти, доки вони забезпечують поховання токсичних відходів без шкоди для довкілля. Нові АЕС будуть вважатися чистими джерелами енергії, якщо їх будівництво схвалено до 2045 року. Нові газові ТЕС потраплять під категорію чистих, якщо їх викиди не перевищать 100 грамів вуглекислого газу на кВт·год. Це дуже мало. Винятки робляться для газових ТЕС, які замінюють потужності вугільних електростанцій, що виводяться. Для них дозволені викиди 270 грамів на кВт·год. Енергетична стратегія України, затверджена у 2017 році, є важливою частиною її євроінтеграції. Національний план України з енергетики та клімату (НПЕК) 2024 р. розроблений відповідно до вимог Регламенту Євросоюзу в рамках зобов'язання нашої країни, як договірної сторони Енергетичного Співтовариства та у процесі вступу до ЄС. Основу енергетики України складають АЕС та ТЕС. Проектний термін експлуатації не закінчився лише у трьох блоків АЕС, решта блоків АЕС та ТЕС його вичерпала, і потрібна суттєва реконструкція всієї енергетики. Йде обговорення пропозицій щодо типів електрогенеруючих установок, їх потужностей, першочерговості будівництва та ін. Тому завдання вибору конфігурації електроенергетичної системи України є актуальним. Тут під конфігурацією маються на увазі типи електростанцій з їх екологічними, технічними і вартісними параметрами, що змінюються в часі, в процесі розвитку електроенергетичної системи. Значення та час досягнення головного якісного показника української стратегії – нульові викиди парникових газів до 2050 року, такі ж, як і в країнах ЄС та в Канаді. Доцільний огляд енергетик країн з різними конфігураціями, різними типами базових електростанцій, що працюють зараз, у середині тимчасового інтервалу досягнення нульових викидів. Метою роботи є аналіз енергетик цих країн та його використання для формування можливих конфігурацій електроенергетичної системи України. Статистичні дані для аналізу взяті із відкритих джерел.

Основна частина

Відносні (безрозмірні) макроекономічні показники країн представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Відносні макроекономічні показники країн на 2021 р.

Параметр	Україна	Франція	Німеччина	Польща	Канада
Територія	1	0,91	0,59	0,52	16,55
Населення	1	1,6	2,03	0,92	0,93
Споживання ВВП (валовий внутрішній продукт) на душу населення	1	3,6	4,1	2,7	3,7
Валове споживання електроенергії на душу населення	1	2,3	2,1	1,32	4,8
Споживання електроенергії на душу населення	1	2,8	1,8	1,26	4,94
Споживання енергоносіїв на душу населення	1	2,3	2,6	2,3	4,8

Відносні видобуті запаси природних енергоносіїв представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Відносні запаси природних енергоносіїв, можливість добутку яких доказана.

Параметр	Україна	Франція	Німеччина	Польща	Канада
Сумарні запаси органічних енергоносіїв	1	0,01	0,39	0,58	1,44
Сира нафта	1	0,14	0,26	0,3	423
Природний газ	1	0,008	0,024	0,065	2,02
Вугілля	1	0,009	0,405	0,602	0,18
Уран	1	0,124	0,044	0,067	5,2

Відносні встановлені потужності джерел генерації електричної енергії представлені в таблиці 3.

Таблиця 3. Відносні встановлені потужності джерел генерації електричної енергії на 2021 р.

Назва	Україна	Франція	Німеччина	Польща	Канада
Всього	1	2,39	4,08	1,004	2,6
ВКВВП	1	1,48	0,91	1,25	1,61
ТЕС	1	0,64	2,91	1,08	1,16
ГЕС	1	5,33	1,14	0,204	17,2
ГАЕС	1	0,94	2,91	0,77	0,174
АЕС	1	4,44	0	0	1,05
ВЕС					
- Потужність	1	12,84	39,8	5,29	9,12
- ВКВВП	1		1,28		
СЕС					
- Потужність	1	2,32	9,9	1,93	0,42
- ВКВВП	1		0,96		
Енергоустановки на біопаливі					
- Потужність	1	11,5	52,2	1,46	15,2
- ВКВВП	1		1,6		
Накопичувачі (батареї)					
- Потужність, ГВт			12,1		
- Ємність, ГВт·год.			17,7		

де ВКВВП – відносний коефіцієнт використання встановленої потужності.

Відносний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для електростанцій представлений в таблиці 4.

Таблиця 4. Відносний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії для електростанцій

Джерело	Україна	Франція	Німеччин	Польща	Канада
ГЕС, електроенергія.	1	4	1,4	0,28	43,3
ВЕС, швидкість вітру.	1	1,3	1,4	1	1
СЕС, річна питома інсоляція.	1	1,02	0,8	0,88	0,8
БіоТЕС, тверді побутові відходи на людину за рік.	1	1,07	1,19	0,71	1,7

Розглянемо основні характеристики енергетик кожної країни.

1. Україна. Паливо – у 2021 році видобуток вугілля в Україні склав 29,4 млн. тонн; експорт вугілля склав 5 млн. тонн; імпорт – 20 млн. тонн. Нафта – в 2021 році в Україні видобуто 1,65 млн. тонн нафти, імпорт рідкого палива становив 15,52 млн. тонн. Газ – в 2023 році видобуток газу склав 18,7 млрд. кубометрів, а його споживання склало 19,8 млрд. кубометрів. Уран – Україна посідає перше місце за покладами уранових руд у Європі. Руди містять 0,1% урану. Вилучений з руди природний уран представляє суміш ізотопу ^{235}U , що ділиться та ізотопу ^{238}U , що не розділяється. ^{235}U у суміші всього лише 0,7%. Цього недостатньо для використання природного урану в українських реакторах і його збагачують – підвищують вміст ^{235}U до 3,5%. Реактор потужністю 1000 МВт, працюючи з коефіцієнтом використання встановленої потужності (КВВП) 0,8, вимагає на рік 20 тонн ядерного палива із вмістом 3,5% урану ^{235}U . Це паливо отримують у такій послідовності. Зі 153 тис. тонн видобутої руди витягують 153 тонни урану у вигляді уранового оксидного концентрату U_3O_8 з чистотою щонайменше 80%. Ці операції виконує український «Східний гірничо-збагачувальний комбінат». Потім U_3O_8 у вигляді жовтого порошку, званого «жовтий кек», транспортують на закордонні підприємства, де він очищається і перетворюється на концентрат діоксиду природного урану UO_2 , збагачується, перетворюється на 20 тонн палива і перевозиться на українські АЕС. Щорічна потреба енергоблоків України в U_3O_8 становить 2,5 тис. тонн. Через високу собівартість U_3O_8 Україна закуповує в інших країнах певні частки від необхідних кількостей, як U_3O_8 , так і готового палива.

2. Франція. Вугілля – частка вугілля в кінцевому споживанні енергії 3%. Вугледобувної промисловості у Франції немає. Вугілля імпортується. Нафта – власний видобуток нафти становив 5% від споживання. Решта імпортується. Газ – видобуток газу у Франції незначний. Газ імпортується. Уран – уран у Франції не видобувається. Франція імпортує щорічно 12400 тонн концентратів природного урану. Концентрати піддаються тонкому очищенню від домішок. Для цього вони розчиняються в азотній кислоті. Вилучення урану проводиться розчиненням у гасі трибутилфосфатом, з яким уран утворює сполуку на відміну від домішок. В результаті тонкого очищення одержують

оксид урану UO_2 . Оксид урану перетворюють на газоподібний гексафторид UF_6 , який надходить на збагачувальний завод для збагачення ^{235}U . У UF_6 присутня суміш ^{235}U і ^{238}U . Поділ ґрунтується на різниці їх мас. Розділення виконується за допомогою центрифуг, що обертаються з дуже високою швидкістю. Тяжкі молекули $^{238}UF_6$ викидаються на периферію, а легкі $^{235}UF_6$ мігрують до середини центрифуги. Після поділу збагачений UF_6 за допомогою термохімічних процесів перетворюють на таблетки діоксиду урану UO_2 . Цими таблетками заповнюються твели – тонкостінні трубки, герметизовані з торців зварюванням. Твели збираються в тепловиділяючі зборки. Для виготовлення оболонок твелів, кожухів і дистанціюючих решіток збірок твелів, застосовуються цирконієві сплави. Вони мають високу «прозорість» для теплових нейтронів і стійкість до корозійного впливу води і пари. Для активної зони водо-водяного реактора блоку 1000 МВт потрібно близько 35 тонн цирконію. Франція цирконій видобуває, переробляє та експортує. В активній зоні реактора частина атомів ^{238}U , що не діляться, захоплюють по нейтрону і перетворюються на атоми плутонію. Частина цих атомів ділиться і дає 40% теплової енергії активної зони, а частина в кількості 10,5 кг плутонію на тонну відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) залишається в активній зоні. Цей плутоній хімічно виділяється при переробці ВЯП і використовується на АЕС. У 2005 р. на АЕС було вироблено 79% енергії. Витоки атомної енергетики Франції лежать у лабораторних дослідженнях радіоактивних елементів, виконаних Анрі Беккерелем, Марією і П'єром Кюрі. В практичну площину лабораторні дослідження перейшли у 1954 році, коли керівництвом країни був прийнятий план розробки ядерної зброї. Були створені пристрої для збагачення ^{235}U та реактори-напрацьовувачі плутонію. Побічним продуктом цих реакторів була теплота, що скидалася в навколишнє середовище. Для її використання був створений теплообмінник-парогенератор, пара з якого обертала ротор турбогенератора. Стимулами до вдосконалення та поширення АЕС були відсутність достатніх природних запасів палива для ТЕС та наявність уранової руди у французьких колоніях. На дев'ятнадцяти АЕС встановлено 57 реакторів на теплових нейтронах. Раніше було збудовано АЕС з реактором на швидких нейтронах, яку нині закрито. За 11 років після підключення до електромереж ця АЕС була у роботі 63 місяці, переважно на малій потужності; 25 місяців її було відключено з технічних причин, а 66 місяців – з причин політичних та адміністративних. Політичні причини – вимоги "зелених" та пацифістів закрити АЕС цього типу. Адміністративні причини – складності із отриманням дозвільних паперів. Франція виробляє реактори, парогенератори, турбоустановки, електрогенератори та інше обладнання АЕС. В Франції гарні умови для електростанцій на відновлюваних джерелах енергії (табл. 4). Побудовано, зокрема, ТЕЦ, що спалюють відходи та електролізом виробляють водень для двигунів міського транспорту. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Франції у відносних одиницях приведена в таблиці 5.

Таблиця 5. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел у Франції в відносних одиницях

Рік	Загальне вироблення електроенергії	АЕС	ТЕС (вугільні)	ТЕС (газові)	ТЕС (нафтові)	ГЕС	Гео ТЕС	СЕС	ВЕС	Біо ТЕС
2000	1	0,77	0,053	0,02	0,014	0,13	0	0	0,0002	0,007
2005	1,07	0,79	0,05	0,042	0,014	0,093	0	0	0,002	0,009
2010	1,06	0,75	0,046	0,044	0,01	0,114	0	0,011	0,018	0,012
2015	1,08	0,75	0,025	0,04	0,012	0,1	0,0002	0,014	0,04	0,016
2022	0,87	0,62	0,012	0,091	0,014	0,1	0,0002	0,05	0,09	0,03

Як видно з таблиці, загальне вироблення електроенергії спочатку зростало, потім стабілізувалася. Частка АЕС знизилася з 77% у 2000 р. до 62% у 2022 р. Частка ТЕС зменшилася: вугільних у 4,4 рази, нафтових в 1,3 рази. Частка ТЕС на газу збільшилася в 4,6 рази, що відображає, зокрема, заміну вугільних і нафтових ТЕС газовими ТЕС, з ефективними паро-газовими і маневреними газотурбінними установками. Частка енергії «зелених» електростанцій зросла до 27,2%. Середня швидкість зростання в загальній річній генерації частки енергії «зелених» електростанцій за 22 роки склала 0,6%/рік. В 2022 р. загальне вироблення електроенергії знизилося, а в 2023-2024 роках зросло, перевищивши генерацію 2000 р. в 1,047 рази. Якщо вважати електроенергію газових ТЕС і АЕС «чистою», то в 2024 р. 95% виробленої у Франції електроенергії було «чистою».

За даними соціопитувань більшість французів негативно ставиться до розвитку атомної галузі у довгостроковій перспективі. 59% жителів Франції виступають за скорочення частки АЕС у виробництві електроенергії.

3. Німеччина. Понад 40 років тому у ФРН було прийнято план «енергетичного повороту» – заміни органічного та атомного палива відновлюваними джерелами енергії. І цей план виконується досить вдало. Динаміка виробництва електроенергії за видами джерел у Німеччині в відносних одиницях наведена у таблиці 6.

Таблиця 6. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Німеччині у відносних одиницях

Рік	Загальне вироблення електроенергії	АЕС	ТЕС (вугільні)	ТЕС (газові)	ТЕС (нафтові)	ГЕС	Гео ТЕС	СЕС	ВЕС	Біо ТЕС
2000	1	0,29	0,53	0,09	0,008	0,04	0	0,0002	0,017	0,018
2005	1,071	0,26	0,48	0,123	0,021	0,034	0	0,002	0,05	0,03
2010	1,0761	0,22	0,42	0,15	0,014	0,034	0	0,019	0,062	0,067
2015	1,11	0,14	0,42	0,1	0,01	0,003	0,0002	0,062	0,13	0,092
2022	0,998	0,06	0,32	0,14	0,08	0,03	0,0004	0,1	0,22	0,105

Як випливає з таблиці, загальне вироблення електроенергії до 2022 року збільшувалося за рахунок нарощування потужностей газових ТЕС, СЕС, ВЕС, біоТЕС. Частка АЕС скоротилася на 23%, частка вугільних ТЕС скоротилася на 21%, продуктивність ГЕС залишалася постійною. Виробництво «зеленої» енергії різко зросло. Її частка у 2022 р. становила вже 45,5%. Середня швидкість зростання в загальній річній генерації частки енергії «зелених» електростанцій за 22 роки склала 1,73%/рік. Частка «чистої» енергії в 2022 р. становила 65,5%. У 2023 р. було зупинено три останні АЕС, а в 2024 р. зупинено 16 вугільних електростанцій. Недогеновану електроенергію Німеччина в 2024 р. імпортувала в кількості 7,4% від свого виробництва. Зі зростанням частки ВДЕ зростає потреба у засобах підтримки частоти мережі. Німеччина підключена до синхронної мережі континентальної Європи. З неї вона бере електроенергію при зниженні частоти, і до неї електроенергію додає, якщо частота підвищується. Засобами самостійної підтримки частоти мережі є енергоблоки гарячого резерва ТЕС, газотурбінні та газопоршневі установки, акумуляторні батареї, водневі накопичувачі, ГАЕС. Німеччина планує введення високоманеврених газотурбінних електростанцій потужністю 7% від сумарної потужності ВЕС та СЕС із заміною у 2032-2042 роках газового палива для них на водневе. У 2024 році частка відновлюваних джерел у загальному обсязі виробництва електроенергії в Німеччині склала 59% нетто (62,7% брутто), з них частка сонячної енергії становить 14%, вітрової – 26%.

В 2035 році система електропостачання має повністю перейти на ВДЕ, а до 2045 року Німеччина планує стати кліматично нейтральною країною – на п'ять років раніше, ніж Європейський Союз.

4. Польща. Польща не має суттєвих запасів викопних ресурсів (табл. 2). У 2023 році в Польщі імпорт у відсотках від споживання становив: нафти 98%, газу 78% від щорічного споживання природного газу 15-16 млрд. кубометрів. Найціннішим ресурсом викопного палива у Польщі є вугілля, причому імпорт вугілля 2022 року становив 19,5%. Основу електроенергетики Польщі складають вугільні ТЕС. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Польщі приведена в таблиці 7.

Таблиця 7. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Польщі у відносних одиницях

Рік	Загальне вироблення електроенергії	АЕС	ТЕС (вугільні)	ТЕС (газові)	ТЕС (нафтові)	ГЕС	Гео ТЕС	СЕС	ВЕС	Біо ТЕС
2000	1	0	0,954	0,006	0,0133	0,015	0	0	0	0,002
2005	1,084	0	0,92	0,034	0,018	0,014	0	0	0,0006	0,103
2010	1,1	0	0,87	0,031	0,018	0,018	0	0	0,011	0,041
2015	1,15	0	0,8	0,039	0,013	0,011	0	0,0006	0,065	0,061
2022	1,174	0	0,7	0,065	0,011	0,01	0	0,049	0,11	0,049

Як випливає з таблиці, частка вугільних ТЕС знизилася з 95,4% в 2020 р. до 70% в 2022 р. Частка «зеленої» енергії зросла до 21,8%. Середня швидкість зростання в загальній річній генерації частки енергії «зелених» електростанцій за 22 роки склала 0,914%/рік. Частка чистої енергії в 2022 р. становила 28,3%.

Польська вугільна генерація електроенергії відрізняється підвищеними викидами CO₂, віднесеними до 1 кВт·год. Внески за викиди суттєво збільшують вартість електроенергії. Більшість

енергоблоків вугільних електростанцій були побудовані в 1960-1980 рр., і на сьогодні мають бути виведені з експлуатації та замінені іншими енергоблоками. Міністерство енергетики Польщі стратегію енергетичної політики визначило наступним чином: обмеження впливу енергетичного сектора на навколишнє середовище; відповідність загальним принципам енергетичної політики Європейського союзу; перевірка витрат на експлуатацію запасів вугілля (кам'яного та бурого). Було розроблено три сценарії стратегії енергетичної політики Польщі. Перший – збалансований сценарій, у межах якого планується поступове збільшення частки відновлюваних джерел енергії за поступового скорочення частки вугілля; другий – ядерний, на основі розвитку атомної енергетики та будівництва АЕС, і третій сценарій – на основі розвитку сектора відновлюваних джерел енергії та газового сектора. Польща планує отримання до 2040 року 73% електричної енергії від АЕС та відновлюваних джерел енергії. Перший блок АЕС планується запустити у 2033 році. Передбачається, що у 2040 році потужність АЕС становитиме 7,8 ГВт. Польща стикається з низкою перешкод при виборі оптимального шляху переходу до відновлюваних джерел. Головною перешкодою є наявність у парламенті політиків, які люблять вугільні корпорації. Вони стверджують, що визнання вектора досягнення нульових викидів, як основного, суперечить національним енергетичним інтересам. У результаті, в парламенті іноді затверджуються документи, що суперечать енергетичній політиці ЄС.

5. Канада. Концепцію «стійкого розвитку» було включено до офіційної політики Канади 1995 року. Стратегія Канади, як системи, спирається на три складові «стійкого розвитку» з акцентом на екологічну частину. Підсистеми – федеральні департаменти – створюють свої стратегії «стійкого розвитку», які синхронізуються один з одним і із загальною стратегією уряду. Природні запаси палива Канади забезпечують, як внутрішнє його споживання, так і експорт. У 2022 році у відсотках від видобутку експорт становив: вугілля 70%, нафти 70%, газу 45%. Канада експортує понад 80% виробленого урану. На АЕС працюють реактори CANDU. Конструкція цих реакторів була розроблена в 1940-х роках, коли перед канадськими вченими стояло завдання створення реактора-напрацьовувача плутонію для атомної зброї. У канадців був природний уран, але не було складної і дорогої системи його збагачення. Тому, було створено конструкцію реактора на природному урані, що показала свою ефективність і у цивільній енергетиці. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Канаді приведена в таблиці 8.

Таблиця 8. Динаміка виробництва електроенергії по видам джерел в Канаді у відносних одиницях

Рік	Загальне вироблення електроенергії	АЕС	ТЕС (вугільні)	ТЕС (газові)	ТЕС (нафтові)	ГЕС	Гео ТЕС	СЕС	ВЕС	Біо ТЕС
2000	1	0,116	0,196	0,056	0,008	0,593	0	0	0,0005	0,014
2005	1,022	0,142	0,164	0,07	0,026	0,585	0	0	0,003	0,013
2010	0,99	0,14	0,13	0,09	0,014	0,59	0	0,0005	0,015	0,016
2015	1,083	0,15	0,095	0,1	0,012	0,584	0	0,0045	0,041	0,014
2022	1,067	0,13	0,058	0,11	0,007	0,615	0	0,009	0,06	0,015

Як випливає з таблиці, найбільше змінилося вироблення енергії вугільними ТЕС, що знизилося на 13,8%. Це зниження було компенсовано збільшенням продуктивності газових ТЕС та «зелених» електростанцій. 13% електроенергії виробляють АЕС. Основну генерацію забезпечили ГЕС, частка яких у 2022 р. становила 61,5%, а частка всіх «зелених» електростанцій склала 64,5%. Середня швидкість зростання в загальній річній генерації частки енергії «зелених» електростанцій за 22 роки становить 0,15 %/рік. Частка «чистої» енергії у 2022 р. становила 88,5%.

Сектор енергетики є домінуючим джерелом викидів парникових газів, на яке припадає 86% глобальних викидів CO₂. Відносні викиди парникового і вуглекислого газів наведено у таблиці 9.

Таблиця 9. Відносні викиди парникового та вуглекислого газів

Рік	Газ	Україна	Франція	Німеччина	Польща	Канада
1990	Парниковий	1	0,56	1,3	0,54	0,611
	Вуглекислий	1	0,49	1,29	0,48	0,56
2000	Парниковий	0,47	0,57	1,084	0,43	0,75
	Вуглекислий	0,46	0,51	1,011	0,4	0,7
2010	Парниковий	0,46	0,54	0,99	0,44	0,76
	Вуглекислий	0,4	0,48	1,04	0,42	0,72
2021	Парниковий	0,27	0,46	0,83	0,43	0,77
	Вуглекислий	0,23	0,42	0,87	0,42	0,72

2022	Парниковий	0,22	0,45	0,82	0,42	0,79
	Вуглекислий	0,17	0,4	0,86	0,41	0,75

Як видно з таблиці, в 1990 р. найбільші викиди виробляла Україна, а з роками викиди не зменшувала лише Канада. Основними джерелами парникових газів в Україні у 1990 р. були вугільні ТЕС, що виробляли 60% електроенергії, металургія та інші енергоємні галузі промисловості. У Канаді частки викидів важкої промисловості становлять 10%, автомобільного транспорту 20%. Найбільш забруднюючою галуззю, з погляду викидів парникових газів, у Канаді є нафтогазовий сектор. Нафта та паливний газ видобуваються з бітумінозних пісків. Процес супроводжується великими викидами вуглецевмісних газів. Зі зростанням видобутку зростають і викиди газів.

Висновки

1. Євроінтеграція України передбачає тотожність головного критерію та мети енергетичних стратегій країн ЄС та України. У ЄС таким критерієм є викиди парникових газів, а метою – зниження викидів до нуля до 2050 року. На тимчасовому інтервалі в 22 роки розглянуті енергетики країн, що розвиваються в напрямку нульових викидів, але з різними конфігураціями електроенергетичних систем.

2. До конфігурацій енергосистем розглянутих країн елементами входять: АЕС з реакторами на теплових та швидких нейтронах, АЕС з реакторами на природному урані, ГЕС, вугільні ТЕС, газові ТЕС з паротурбінними, газотурбінними, газо-поршневими установками, СЕС, ВЕС наземні та офшорні, БіоТЕС, ГАЕС, ГеоТЕС, накопичувачі енергії.

3. За зниженням рівня викидів лідером є Німеччина. Її базовими електростанціями є – ГЕС, ВЕС, СЕС, БіоТЕС. Викиди знижено в 1,51 рази. Вона ж є першою і в середній швидкості зростання в загальній річній генерації частки енергії «зелених» електростанцій (1,73%/рік). За часткою «зеленої» енергії у загальній генерації електроенергії лідером є Канада (64,5%). Її базовими електростанціями є – ГЕС. У Франції в 2024 р. 95% виробленої електроенергії було «чистою». За цим показником вона випереджає інші країни. Базові електростанції Франції – АЕС. Найменша частка «чистої» енергії у Польщі – 28,3%. Її базові електростанції – це вугільні ТЕС.

4. Результати огляду можуть бути використані при складанні можливих конфігурацій енергосистеми України, зокрема, з реакторами на природному урані, та прогнозування динаміки змін характеристик її елементів в часі.

Олена Миколаївна Нанака – к. т. н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Олександр Анатолійович Паянок – к. т. н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Олексій Михайлович Головченко – к. т. н., доцент.

Olena M. Nanaka – Cand. Sci. (Tech), Assistant Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Oleksandr A. Payanok – Cand. Sci. (Tech), Assistant Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Oleksiy M. Golovchenko – Cand. Sci. (Tech), Assistant Professor.