

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-90-19>

УДК 339.9:620.9

КЛАСИФІКАЦІЯ КРАЇН СВІТУ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНО-ЕКОНОМІЧНИМИ МОДЕЛЯМИ РОЗВИТКУ

CLASSIFICATION OF COUNTRIES OF THE WORLD BY ENERGY AND ECONOMIC DEVELOPMENT MODELS

Шкурат Марія Євгенівнакандидат економічних наук, доцент,
Донецький національний університет імені Василя Стуса
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3263-2507>**Кузьменко Єгор Геннадійович**студент,
Донецький національний університет імені Василя Стуса
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4403-4089>**Shkurat Mariia, Kuzmenko Yehor**
Vasyl' Stus Donetsk National University

У статті здійснено класифікацію понад 200 країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку у 2000–2024 роках. Аналіз базується на показниках взаємозв'язку між економікою та електроенергетикою: генераційній ефективності ВВП, частці ВДЕ у виробництві електроенергії, ВВП на душу населення та генерації електроенергії на душу населення. Для обробки даних використано логарифмічне перетворення, стандартизацію та метод k-means кластеризації. У результаті виокремлено п'ять стійких моделей розвитку, що відрізняються рівнем доходів, електрифікації, енергоефективності та роллю ВДЕ. Встановлено, що перехід країн до вищих класів є нерівномірним і залежить від інституційної спроможності та рівня соціально-економічного розвитку. Отримана класифікація може бути основою для порівняльної оцінки енергосистем і формування диференційованої енергетичної політики.

Ключові слова: економіко-енергетична модель, економічний розвиток, генераційна ефективність економіки, відновлювальні джерела енергії, кластерний аналіз, енергетичний перехід, електрифікація, класифікація країн.

This article presents a comprehensive classification of countries worldwide according to energy-economic development models based on an analysis of the relationship between economic development and the characteristics of electric power systems over the period 2000–2024. The study covers more than 200 countries and territories, ensuring the representativeness of the results and enabling a long-term assessment of the global energy landscape. The methodological framework is based on a system of indicators reflecting key aspects of the interaction between the economy and the energy sector, including GDP generation efficiency, the share of renewable energy sources in electricity generation, gross domestic product per capita, and electricity generation per capita. To ensure the robustness and comparability of the analysis, indicators characterized by highly skewed distributions were subjected to logarithmic transformation and subsequent standardization. The k-means clustering method was applied to identify typical energy–economic development models by grouping countries according to similarities in their economic and energy characteristics. As a result of the clustering analysis, five relatively stable development models were identified, reflecting different combinations of income levels, electrification scales, economic generation efficiency, and the role of renewable energy sources. The analysis of intertemporal dynamics demonstrates that transformations of energy–economic development models exhibit an asymmetric pattern. Transitions to higher development classes are selective and occur primarily through industrial energy-intensive economies and transitional renewable-oriented economies, whereas countries with the lowest levels of electrification display high inertia and persistent structural constraints. These findings highlight the strong interdependence between energy system transformation, overall socioeconomic development, and institutional capacity. The obtained results enabled the formulation of a unified classification of countries based on energy–economic development models, including characteristic ranges of key indicators for each class. The proposed typology provides an analytical basis for comparative assessments of national



energy systems, identification of structural strengths and weaknesses, and the development of differentiated energy policy approaches and sustainable development strategies tailored to the specific conditions of distinct country groups.

Keywords: energy-economic model, economic development, generation efficiency, renewable energy sources, cluster analysis, energy transition, electrification, country classification.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку глобальної енергетики національні енергетичні системи зазнають глибоких трансформацій під впливом енергетичного переходу, кліматичних зобов'язань та зростаючих викликів енергетичної безпеки. Водночас ці процеси відбуваються в умовах суттєвої неоднорідності рівнів економічного розвитку, електрифікації та структури енергетичного балансу країн світу, що формує різні траєкторії енергетично-економічного розвитку. Універсальні підходи до аналізу енергетичних систем, засновані на агрегованих показниках, не дозволяють адекватно врахувати ці структурні відмінності. У цьому контексті актуальною науковою проблемою є відсутність узагальненої типології енергетично-економічних моделей розвитку, яка б відображала взаємозв'язок між економічними та енергетичними характеристиками країн і створювала аналітичну основу для порівняльного аналізу, оцінки потенціалу трансформації енергетичних систем та формування диференційованих підходів до енергетичної політики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика енергетично-економічного розвитку країн світу та трансформації національних енергетичних систем широко висвітлюється в наукових дослідженнях у контексті глобального енергетичного переходу, декарбонізації, енергетичної безпеки та сталого розвитку. Значна частина робіт присвячена аналізу ролі відновлюваних джерел енергії, структурних змін у генерації та їх впливу на економічне зростання й конкурентоспроможність національних економік.

Окремий напрям досліджень зосереджений на вивченні чинників розвитку відновлюваної енергетики та її впливу на економічну динаміку. Так, М. Шахбаз, К. Рахутла, К. Р. Чіттеді, З. Цзяо та В. Во. [7] доводять наявність складного та неоднорідного зв'язку між споживанням відновлюваної енергії й економічним зростанням у різних країнах, наголошуючи на важливості інституційних та структурних факторів. Подібні висновки містяться у роботі Дж. Гана та К. Т. Сміта [5], де показано, що

драйвери розвитку ВДЕ суттєво відрізняються між країнами ОЕСР залежно від економічної структури та енергетичної політики.

Важливим аспектом аналізу енергетично-економічних моделей є дослідження енергоємності та електроінтенсивності економіки. У. Дайхманн, А. Ройтер, С. Фоллмер, та Ф. Чжан [11], на основі багатокраїнного та багатосекторного аналізу демонструють, що взаємозв'язок між енергоємністю та економічним зростанням є нелінійним і значною мірою визначається структурою виробництва. Це підтверджує доцільність використання показників генераційної ефективності як структурної, а не суто технологічної характеристики економічного розвитку.

Окремий пласт наукових робіт присвячений типологізації та класифікації енергетичних систем. Так, Т. Джамасб та М. Поллітт [10] аналізують особливості функціонування енергетичних мереж у різних країнах, підкреслюючи існування відмінних моделей енергетичної організації. Розвитком цього підходу є дослідження М. Кюпперса, С. Н. Паредес Пінеда, М. Мецгер, М. Губер, С. Паулюс, Х. Дж. Хегер, та С. Ніссен [6], у якому запропоновано архетипи світових енергетичних систем і змодельовано можливі траєкторії їх декарбонізації. Значний внесок у розвиток кластерного підходу зробили також А. Полянська, Д. Сала, В. Псюк, Ю. Пазиніч [8], які застосували багатокритеріальний аналіз для оцінки результатів енергетичного переходу країн ЄС, а також Е. Севгі та Ф. З. Антмен [9], які використали кластерний аналіз для дослідження динаміки розвитку відновлюваної енергетики.

Просторові аспекти енергетичного переходу та регіональні відмінності енергетичних моделей розкриваються у роботі Г. Бріджа, С. Бузаровський, М. Бредшоу та Н. Ейр [4], де підкреслюється роль географічних, інституційних та економічних чинників у формуванні національних шляхів низьковуглецевого розвитку. На рівні прикладних досліджень класифікації територій варто відзначити роботу В. Плаксицького [2], у якій кластерний аналіз застосовано для оцінювання загроз енергетичної безпеки, що підтверджує ефективність

цього методу для комплексного аналізу енергетичних систем.

Водночас окремі дослідження зосереджуються на національному рівні та галузевих аспектах енергетичних трансформацій. Зокрема, Л. Горошкова та Ю. Корнійчук [1] аналізують роль відновлюваної енергетики в умовах війни та повоєнного відновлення України, підкреслюючи її значення для підвищення стійкості енергосистеми, що підтверджує актуальність порівняльного міжнародного аналізу енергетично-економічних моделей.

Узагальнення наявних наукових досліджень свідчить про значний прогрес у вивченні окремих аспектів енергетичного розвитку, зокрема ролі ВДЕ, енергоємності та просторової диференціації енергетичних систем. Водночас у науковій літературі недостатньо комплексно представлено класифікацію країн світу за поєднанням економічних і енергетичних характеристик у довгостроковій динаміці, що зумовлює актуальність даного дослідження та обґрунтовує доцільність застосування кластерного підходу для ідентифікації типових енергетично-економічних моделей розвитку.

Формулювання цілей статті. Метою статті є класифікація країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку на основі кластерного аналізу показників рівня економічного розвитку, структури електричної генерації, генераційної ефективності економіки та ролі відновлюваних джерел енергії у довгостроковій динаміці з метою ідентифікації типових моделей функціонування національних енергетичних систем та обґрунтування диференційованих підходів до формування політики сталого енергетичного розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний енергетичний розвиток країн світу характеризується значною неоднорідністю, що проявляється у відмінностях рівня економічного розвитку, масштабів електрифікації, структури електричної генерації та ролі відновлюваних джерел енергії. Універсальні підходи до аналізу енергетичних систем часто не дозволяють адекватно врахувати цю різноманітність, оскільки агреговані показники або середні світові значення приховують суттєві структурні відмінності між країнами.

У цьому контексті класифікація країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку є необхідним інструментом систематизації глобального енергетичного простору. Така класифікація дозволяє ідентифікувати

типові поєднання економічних та енергетичних характеристик, що формують відносно стійкі моделі функціонування національних енергетичних систем. На відміну від аналізу окремих показників, типологічний підхід забезпечує цілісне бачення енергетичного розвитку, поєднуючи масштаб генерації, рівень економічного добробуту, генераційної ефективності економіки та структуру енергетичного балансу [9].

Практична значущість класифікації полягає у створенні аналітичної основи для виявлення сильних і слабких сторін національних енергетичних систем у межах відповідних типів. Порівняння країн одного кластера дає змогу чіткіше ідентифікувати структурні обмеження розвитку, проблемні аспекти енергетичного сектору та перспективні напрями його вдосконалення. Це сприяє формуванню більш адресних рекомендацій щодо підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, розвитку відновлюваних джерел енергії та оптимізації структури генерації.

Крім того, класифікація створює підґрунтя для розроблення диференційованих підходів до енергетичної політики. Типологічний підхід дозволяє формувати узагальнені рекомендації для груп країн із подібними вихідними умовами, рівнем економічного розвитку та структурою енергетичних систем, що підвищує ефективність реалізації стратегій сталого енергетичного розвитку [11].

З наукової точки зору класифікація країн за енергетично-економічними моделями розвитку дозволяє перейти від аналізу показників до виявлення закономірностей функціонування енергетичних систем у довгостроковій перспективі. Дані кластери можуть інтерпретуватися як узагальнені типи енергетичного розвитку, що показують різні траєкторії трансформації економіки та енергетичного сектору, і слугувати основою для подальших досліджень динаміки переходів між моделями та оцінки їх стійкості.

Для ідентифікації енергетично-економічних моделей розвитку країн світу у дослідженні використано систему показників, що відображає ключові аспекти взаємодії економіки та енергетичного сектору. Аналіз охоплює період 2000–2024 років і включає 205 країн світу, що дозволяє здійснити комплексну та репрезентативну оцінку глобального енергетичного простору.

У дослідженні використано чотири показники: генераційну ефективність ВВП (кВт·год/дол. США), частку відновлюваних джерел

енергії у структурі електричної генерації (%), валовий внутрішній продукт на душу населення (дол. США) та обсяг електричної генерації на душу населення (МВт·год/особу). Сукупність цих показників дозволяє комплексно охарактеризувати рівень економічного розвитку, масштаб електрифікації, структуру генерації та електроінтенсивність економіки.

З огляду на асиметричний розподіл значень показників між країнами, показники генераційної ефективності ВВП, ВВП на душу населення та генерації на душу населення було піддано логарифмічному перетворенню, тоді як частка ВДЕ не логарифмувалася через обмежений діапазон значень. На наступному етапі всі змінні було стандартизовано методом z-перетворення, що забезпечило їх порівнюваність у процесі кластеризації.

Для класифікації країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку застосовано метод k-means із ініціалізацією початкових центроїдів на основі репрезентативних спостережень, що відображають контрастні поєднання економічних та енергетичних характеристик і забезпечують початкову диференціацію кластерів [2].

Початковими центроїдами обрано: Люксембург (2024 р.) – країну з одним із найвищих рівнів ВВП на душу населення та низькою електроінтенсивністю економіки; Латвію (2014 р.) – із помірним рівнем доходів і збалансованою структурою електрогенерації; Ефіопію (2002 р.) – низькодохідну економіку з обмеженою електрифікацією та високою часткою відновлюваних джерел енергії; Ісландію (2024 р.) – країну з дуже високою генерацією електроенергії на душу населення та домінуванням ВДЕ; Чад (2000 р.) – країну з низьким рівнем економічного розвитку, мінімальними обсягами генерації та низьким рівнем доступу до електроенергії.

З метою узагальнення результатів кластерного аналізу країни було систематизовано за п'ятьма енергетично-економічними класами, для яких визначено характерні діапазони ключових показників – генераційної ефективності ВВП, частки відновлюваних джерел енергії, ВВП на душу населення та генерації електроенергії на душу населення, а також виокремлено типових представників. Узагальнені характеристики ідентифікованих класів наведено в таблиці 1, що дозволяє порівняти енергетично-економічні моделі розвитку країн світу та використовувати визначені діапазони показників для ідентифікації домінуючої моделі окремої країни і аналізу

можливих траєкторій трансформації її енергетичної системи.

Подальший процес кластеризації здійснювався ітеративно з перерахунком центроїдів як середніх значень стандартизованих показників для країн, що входять до відповідного кластера, до досягнення стабільного розподілу, що забезпечує зменшення впливу початкового вибору спостережень на фінальні результати кластерного аналізу.

Застосований підхід забезпечив формування стійких кластерів, які можуть інтерпретуватися як типові енергетично-економічні моделі розвитку країн світу. Отримані результати слугують основою для подальшого аналізу просторової диференціації кластерів, їх динаміки та інтерпретації структурних особливостей кожної з виявлених моделей.

За результатами кластерного аналізу країн світу у 2024 році можна, просторово відображати результати кластеризації, що дозволяє виявити як регіональні концентрації окремих моделей, так і суттєву неоднорідність енергетичного розвитку в межах окремих макрорегіонів, що відображається на рисунку 1.

Перший кластер об'єднує переважно економічно розвинені країни з високими доходами та сформованими енергетичними системами. До нього належать США, Канада, країни Західної та Північної Європи (Німеччина, Франція, Велика Британія, Нідерланди, Швеція, Норвегія, Данія), а також Японія, Південна Корея, Австралія, Сінгапур і високодохідні експортери енергоносіїв (Катар, Кувейт, Саудівська Аравія та ОАЕ). Для країн кластера характерні високий ВВП на душу населення, помірна електроінтенсивність економіки та збалансована структура генерації, що відображає високий рівень технологічного й інституційного розвитку.

Другий кластер охоплює країни з середнім рівнем доходів і підвищеною електроінтенсивністю економіки, для яких характерна індустріальна або сировинно-орієнтована модель розвитку. До нього належать Індія, Індонезія, В'єтнам, Таїланд, Малайзія, Україна, Росія, Монголія, Узбекистан, а також низка країн Північної Африки та Близького Сходу (Алжир, Єгипет, Іран, Ірак). Спільною рисою цього кластера є домінування енергоємних секторів і відносно низька або середня частка ВДЕ.

Третій кластер сформований країнами з низьким рівнем доходів, мінімальними обсягами генерації на душу населення та високою часткою відновлюваних джерел енергії. Типовими представниками є Ефіопія, Демо-

Таблиця 1

Уніфікована класифікація країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку

Кластер	Назва класу країн	Опис класу	Рівень показників	Представники класу
1	Високодохідні енерго-ефективні	Країни з високим рівнем економічного розвитку, сформованими енергетичними системами та відносно низькою електроінтенсивністю економіки. Характеризуються поєднанням високих доходів, значних або помірних обсягів генерації з поступовим зростанням ролі ВДЕ.	Генераційна ефективність ВВП: 0,01–1,00; Частка ВДЕ: 0–99%; ВВП на душу населення: 6 500–140 000 дол. США; Генерація на душу населення: 0,65–29,60 МВт·год/особу	США, Німеччина, Франція, Японія, Канада, Велика Британія, Китай, Південна Корея, Австралія, Норвегія
2	Індустріальні енергоємні	Країни з індустріально або сировинно-орієнтованою економікою, для яких характерна підвищена електроінтенсивність виробництва, середній рівень доходів та обмежена роль ВДЕ. Енергетичні системи орієнтовані на підтримку промислового зростання.	Генераційна ефективність ВВП: 0,15–5,30; Частка ВДЕ: 0–50%; ВВП на душу населення: 380–19 250 дол. США; Генерація на душу населення: 0,25–22 МВт·год/особу	Україна, Індія, Індонезія, Туреччина, Малайзія, Росія, Іран, Єгипет, ПАР
3	Низькодохідні ВДЕ-орієнтовані	Країни з низьким рівнем доходів та обмеженими обсягами генерації, у яких висока частка ВДЕ зумовлена переважно природними чинниками та низьким рівнем використання викопного палива, а не технологічною зрілістю.	Генераційна ефективність ВВП: 0,02–0,8; Частка ВДЕ: 35–100%; ВВП на душу населення: 100–6 500 дол. США; Генерація на душу населення: 0,01–0,8 МВт·год/особу	Ефіопія, Демократична Республіка Конго, Уганда, Непал, Малаві, Кенія
4	Перехідні ВДЕ-економіки	Країни з різним рівнем доходів, які перебувають у процесі енергетичної трансформації. Характеризуються високою або зростаючою часткою ВДЕ, збільшенням обсягів генерації та поступовим підвищенням рівня електрифікації.	Генераційна ефективність ВВП: 0,15–16,5; Частка ВДЕ: 45–100%; ВВП на душу населення: 150–85 000 дол. США; Генерація на душу населення: 0,35–56 МВт·год/особу	Бразилія, Чилі, Коста-Рика, Парагвай, Уругвай, Ісландія, Перу
5	Низькодохідні з низькою електрифікацією	Найменш розвинені країни з критично низькими обсягами генерації та обмеженим доступом до електроенергії. Енергетичні системи характеризуються високою вразливістю та відсутністю структурних зрушень.	Генераційна ефективність ВВП: 0,00–0,45; Частка ВДЕ: 0–62,5%; ВВП на душу населення: 100–20 000 дол. США; Генерація на душу населення: 0,0–0,6 МВт·год/особу	Чад, Нігер, Сомалі, Ємен, Еритрея, Південний Судан

Джерело: сформовано авторами на основі [3; 12]

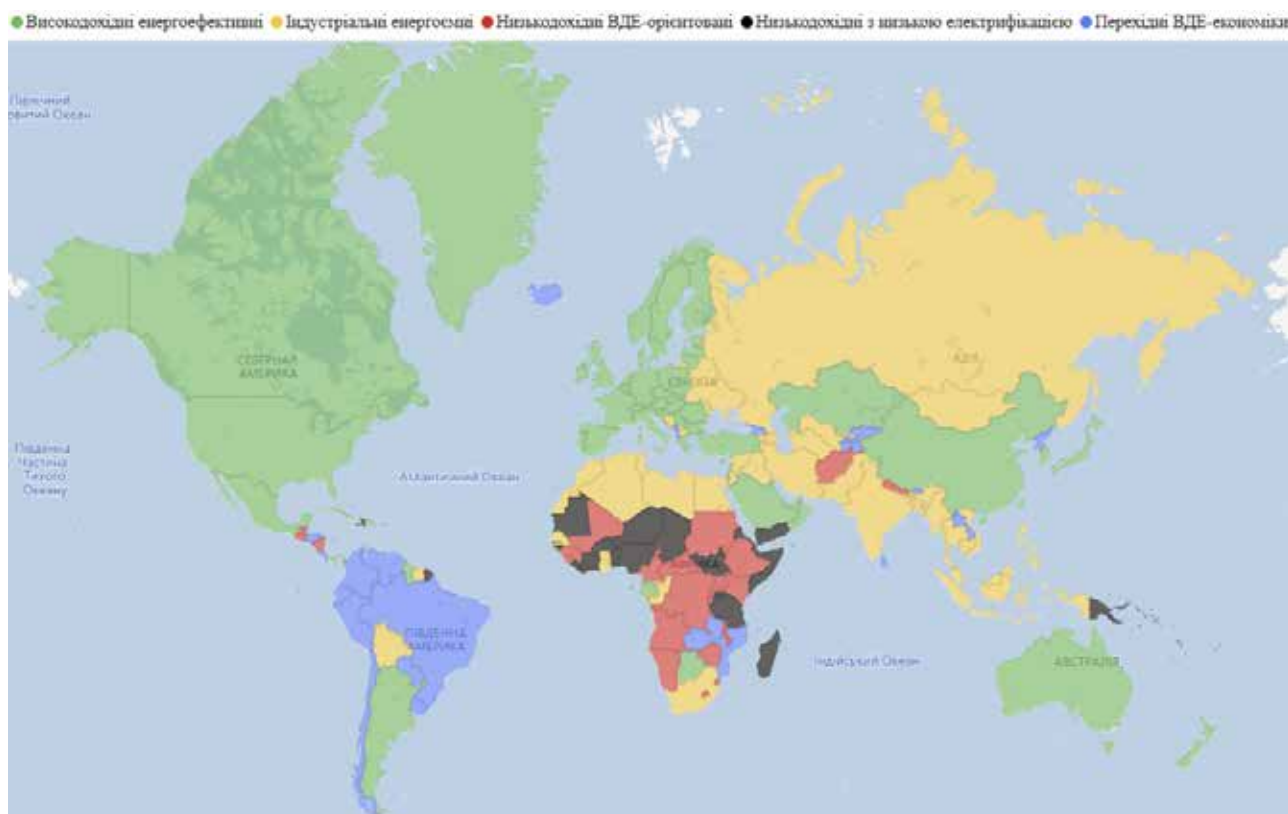


Рис. 1. Просторова класифікація країн за економічно-енергетичними моделями розвитку (2024 р.)

Джерело: сформовано на основі [3; 4]

кратична Республіка Конго, Уганда, Руанда, Малаві, Сьєрра-Леоне, Непал, Афганістан, Гватемала та Нікарагуа. Домінування ВДЕ зумовлене переважно природними умовами й обмеженим використанням викопного палива, а не високим рівнем технологічного розвитку.

Четвертий кластер об'єднує країни з середнім рівнем доходів і значною орієнтацією на ВДЕ за відносно високих обсягів генерації на душу населення. До нього належать Бразилія, Чилі, Колумбія, Перу, Коста-Рика, Парагвай, Уругвай та Ісландія, Албанія, Чорногорія, Грузія, Киргизстан і Таджикистан. Цей кластер відображає перехідну модель енергетичного розвитку, що поєднує декарбонізацію з поступовим зростанням рівня електрифікації.

П'ятий кластер включає країни з найнижчими рівнями доходів і електрифікації, зокрема Чад, Нігер, Південний Судан, Сомалі, Еритрею, Ємен, Гаїті, а також Коморські й Соломонові Острови та Папуа-Нову Гвінею. Для них характерні обмежений доступ до електроенергії, низька генераційна ефективність і слабо розвинена енергетична інфраструктура, що відображає збереження глибокої глобальної енергетичної нерівності.

Загалом ідентифіковані кластери відображають різні поєднання економічних і енергетичних характеристик, формуючи альтернативні моделі функціонування національних енергетичних систем і різні траєкторії енергетично-економічного розвитку.

Аналіз динаміки енергетично-економічних моделей розвитку за період 2000–2024 років свідчить про поєднання стійких траєкторій та вибірових переходів країн між класами. Порівняння результатів кластеризації для початкового і кінцевого років дозволяє оцінити інерційність енергетичних систем і масштаби структурних змін у глобальному енергетичному просторі.

Країни, що у 2024 році належать до класу високодохідних енергоефективних економік, у більшості випадків демонструють високу стабільність. Основне ядро цього класу – США, Канада, Японія, Німеччина, Франція, Велика Британія, країни Північної Європи та Австралія – уже у 2000 році характеризувалося високим рівнем економічного розвитку та сформованими енергетичними системами. Водночас упродовж досліджуваного періоду до цього класу приєдналися країни, які раніше нале-

жали до індустріальних енергоємних економік, зокрема Китай, Казахстан, Південна Корея, Чехія, Естонія, Литва, Польща, Румунія, Туреччина, Угорщина, Греція, Мексика та Аргентина. Окремі країни з групи перехідних ВДЕ-економік (Канада, Норвегія, Латвія, Нова Зеландія) також закріпилися у цьому класі завдяки поєднанню високої частки ВДЕ та зростання генераційної ефективності [5; 8].

Клас індустріальних енергоємних економік у 2024 році характеризується значною внутрішньою різноманітністю та високою динамічністю. Частина країн, зокрема Україна, Індія, Індонезія, Туреччина та Малайзія, зберігала належність до цього класу протягом усього періоду 2000–2024 років. Водночас чисельність групи скоротилася через перехід значної кількості країн до високодохідних енергоефективних економік. Паралельно до неї приєдналися Республіка Конго, М'янма та Самоа з групи низькодохідних ВДЕ-орієнтованих економік, Болівія, Гана, В'єтнам і Суринам з перехідних ВДЕ-економік, а також Бангладеш, Сенегал, Камбоджа та Кабо-Верде з групи країн з низьким рівнем електрифікації.

Країни класу низькодохідних ВДЕ-орієнтованих економік у переважній більшості зберегли свою позицію протягом усього досліджуваного періоду. До них належать, зокрема, Ефіопія, Демократична Республіка Конго, Уганда, Непал і Малаві. Водночас до цього класу перейшли Намібія, Есватіні, Зімбабве та Гватемала з перехідних ВДЕ-економік, а також Малі та Сьєрра-Леоне з групи країн з низьким рівнем електрифікації.

Клас перехідних ВДЕ-економік у 2024 році суттєво скоротився порівняно з 2000 роком. Його представники: Бразилія, Чилі, Коста-Рика, Парагвай та Уругвай, зберігали стабільну орієнтацію на ВДЕі з поступовим зростанням рівня електрифікації. Упродовж досліджуваного періоду до цього класу також приєдналися Беліз та Шрі-Ланка.

Країни, що у 2024 році належать до класу низькодохідних країн з низьким рівнем електрифікації, демонструють високу стабільність у негативному сенсі. Чад, Нігер, Сомалі, Ємен та Еритрея зберігали надзвичайно низькі показники генерації та доступу до електроенергії. Водночас до цього класу перейшли Танзанія, Того, Мадагаскар, Кот-д'Івуар, Гаїті та Папуа-Нова Гвінея з групи ВДЕ-орієнтованих економік.

Загалом динаміка енергетично-економічних моделей розвитку має асиметричний

характер: переходи до вищих класів є вибірковыми та відбуваються переважно через індустріальні й перехідні ВДЕ-економіки, тоді як країни з найнижчим рівнем електрифікації залишаються найбільш інерційними. Отримані результати підтверджують, що універсальні підходи до формування енергетичної політики є недостатньо ефективними, оскільки країни перебувають на різних стадіях розвитку та мають різні структурні обмеження. Тому доцільним є розроблення диференційованих рекомендацій для кожного кластера, що сприятиме підвищенню ефективності енергетичної трансформації та досягненню цілей сталого розвитку.

Для економічно розвинених країн з високими доходами та сформованими енергетичними системами пріоритетним є поглиблення процесів декарбонізації та скорочення абсолютних обсягів енергоспоживання за рахунок підвищення технологічної ефективності. У цьому контексті доцільним є розвиток гнучких енергетичних систем, накопичувачів енергії, водневої енергетики та цифрових рішень управління попитом. Важливим напрямом залишається також зменшення вуглецевого сліду у важких промислових секторах і транспорті, а також підтримка міжнародного трансферу низьковуглецевих технологій [6].

Для країн з індустріальною та сировинно-орієнтованою моделлю розвитку ключовим завданням є зниження електроінтенсивності виробництва та модернізація промислової структури. Це передбачає стимулювання інвестицій в енергоефективні технології, поступову диверсифікацію енергетичного балансу з розширенням частки відновлюваних джерел енергії, а також впровадження економічних механізмів внутрішньої декарбонізації. Стратегічно важливим є поєднання індустріального розвитку з довгостроковими цілями енергетичного переходу з метою уникнення закріплення енергоємної моделі зростання [1].

Для країн з низьким рівнем доходів і високою часткою відновлюваних джерел енергії першочерговим завданням є розширення доступу до електроенергії та нарощування обсягів генерації на душу населення без втрати переваг ВДЕ-орієнтованої структури. Перспективними є розвиток децентралізованих енергетичних систем, міні- та мікрогідроенергетики, сонячних і гібридних рішень для сільських територій. Важливою умовою є поєднання енергетичних проєктів із програмами соціально-економічного розвитку,

що дозволить трансформувати природну ВДЕ-орієнтацію у чинник довгострокового економічного зростання [7].

Для країн з перехідною ВДЕ-орієнтованою моделлю розвитку основним викликом є консолідація досягнутих результатів у сфері відновлюваної енергетики та запобігання поверненню до енергоємних траєкторій зростання. Доцільним є зосередження на розвитку балансуючих потужностей, міжсистемних з'єднань і накопичувачів енергії, а також на підвищенні генераційної ефективності економіки. Важливу роль відіграє формування стабільних регуляторних умов, здатних стимулювати довгострокові інвестиції у ВДЕ та забезпечити поступовий перехід до більш високодохідних і енергоефективних моделей розвитку [10].

Для країн з найнижчим рівнем доходів і електрифікації пріоритетним залишається подолання енергетичної бідності та базове нарощування електричної генерації. Ефективними є стратегії прискореної електрифікації на основі простих, надійних і фінансово доступних технологій, зокрема автономних сонячних систем і локальних мереж. Критично важливими умовами реалізації таких стратегій є міжнародна фінансова підтримка, інституційне зміцнення та інтеграція енергетичних проєктів із програмами розвитку охорони здоров'я, освіти та базової інфраструктури [4].

Висновки. У результаті дослідження здійснено комплексну класифікацію країн світу за енергетично-економічними моделями розвитку на основі поєднання економічних та енергетичних показників за період 2000–2024 років. Запропонований підхід дозволив перейти від аналізу окремих індикаторів до системного бачення функціонування національних енергетичних систем у глобальному масштабі та виявити п'ять відносно стійких типів енергетично-економічного розвитку.

Отримані результати підтверджують високу неоднорідність глобального енергетичного простору та наявність принципово різних поєднань рівня економічного розвитку, масштабів електрифікації, генераційної ефек-

тивності економіки та ролі відновлюваних джерел енергії. Ідентифіковані кластери відображають альтернативні траєкторії розвитку енергетичних систем – від високодохідних енергоефективних економік до країн з хронічною енергетичною бідністю та низьким рівнем електрифікації.

Аналіз динаміки показав, що енергетично-економічні моделі розвитку характеризуються асиметричною трансформацією. Переходи до вищих класів є вибічковими та здебільшого реалізуються через індустріальні або перехідні ВДЕ-орієнтовані економіки, тоді як країни з найнижчими рівнями електрифікації демонструють високу інерційність і структурну стабільність у негативному сенсі. Це свідчить про довготривалий характер енергетичних трансформацій та їх зв'язок із соціально-економічним розвитком.

Важливим результатом дослідження є формування уніфікованої класифікації з чітко визначеними діапазонами ключових показників для кожного класу. Це створює можливість практичного застосування отриманих результатів для ідентифікації домінуючої енергетично-економічної моделі окремої країни, оцінки її позиціонування у глобальному енергетичному просторі та аналізу потенційних напрямів структурної трансформації енергетичної системи.

Запропонований кластерний підхід також має прикладне значення для формування диференційованої енергетичної політики. Отримані кластери можуть бути використані як аналітична основа для розроблення адресних рекомендацій щодо декарбонізації, підвищення енергоефективності, розвитку відновлюваних джерел енергії та подолання енергетичної бідності з урахуванням специфіки різних груп країн.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на поглиблений аналіз внутрішньої неоднорідності кластерів, кількісну оцінку факторів переходу між енергетично-економічними моделями, а також моделювання можливих сценаріїв енергетичної трансформації в умовах глобального енергетичного переходу та посилення кліматичних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Горошкова Л. А., Корнійчук Ю. Д. Відновлювальна енергетика в умовах війни та повоєнного відновлення України. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи*: матеріали III Міжнародної інтернет-конференції. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 23–25. URL: <https://www.researchgate.net/publication/393946291> (дата звернення: 29.12.2025).

2. Плаксицький, В. А. Методи і засоби кластеризації територій за індикаторами загроз енергетичної безпеки: магістерська кваліфікаційна робота. 122 «Комп'ютерні науки». Київ, 2024. 93 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/71708> (дата звернення: 28.12.2025).
3. EMBER. World electricity generation. URL: <https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/> (дата звернення: 11.12.2025).
4. Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., & Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy Policy*, vol. 53, pp.331–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066> (дата звернення: 28.12.2025).
5. Gan, J., & Smith, C. T. (2011). Drivers for renewable energy: A comparison among OECD countries. *Biomass and Bioenergy*, vol. 35(11), pp. 4497–4503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.022> (дата звернення: 29.12.2025).
6. Kueppers, M., Paredes Pineda, S. N., Metzger, M., Huber, M., Paulus, S., Heger, H. J., & Niessen, S. (2021). Decarbonization pathways of worldwide energy systems – Definition and modeling of archetypes. *Applied Energy*, vol. 285, 116438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116438> (дата звернення: 03.01.2026).
7. Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z., & Vo, X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, vol. 207, 118162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118162> (дата звернення: 01.01.2026).
8. Polyanska, A., Sala, D., Psyuk, V., & Pazynich, Y. (2025). A multicriteria approach to the study of the energy transition results for EU countries. *Energies*, vol. 18(20), 5406. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18205406> (дата звернення: 26.12.2025).
9. Sevgi, E., & Figen, A. Z. (2025). Determination of renewable energy growth using cluster analysis and multi-criteria decision-making methods. *Applied Sciences*, vol. 15(3), 1575. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15031575> (дата звернення: 28.12.2025).
10. Jamasb, T., & Pollitt, M. (2008). Security of supply and regulation of energy networks. *Energy Policy*, vol. 36(12), 4584–4589. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.007> (дата звернення: 29.12.2025).
11. Deichmann, U., Reuter, A., Vollmer, S., & Zhang, F. (2019). The relationship between energy intensity and economic growth: New evidence from a multi-country multi-sectorial dataset. *World Development*, vol. 124, 104664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104664> (дата звернення: 01.01.2026).
12. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/> (дата звернення: 11.12.2025).

REFERENCES:

1. Horoshkova L. A., Korniiuchuk Yu. D. (2024) Vidnovliuvalna enerhetyka v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia Ukrainy [Renewable energy under wartime conditions and post-war recovery of Ukraine]. *Aktualni problemy formalnoi i neformalnoi osvity z monitorynhu dovkillia ta zapovi dnoi spravy*: III Mizhnarodna internet-konferentsia. Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina. pp. 23–25. (in Ukrainian) Available at: <https://www.researchgate.net/publication/393946291>
2. Plaksytskyi V. A. (2024). Metody i zasoby klasteryzatsii terytorii za indykatory zahroz enerhetychnoi bezpeky [Methods and tools for clustering territories based on indicators of energy security threats]: Master's qualification thesis 122 "Computer Science". Kyiv. 93 p. (in Ukrainian) Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/71708>
3. EMBER. World electricity generation. Available at: <https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/>
4. Bridge G., Bouzarovski S., Bradshaw M., Eyre N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy Policy*, vol. 53, pp. 331–340. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>
5. Gan J., Smith C. T. (2011). Drivers for renewable energy: A comparison among OECD countries. *Biomass and Bioenergy*, vol. 35(11), pp. 4497–4503. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.022>
6. Kueppers M., Paredes Pineda S. N., Metzger M., Huber M., Paulus S., Heger H. J., Niessen S. (2021). Decarbonization pathways of worldwide energy systems – Definition and modeling of archetypes. *Applied Energy*, vol. 285, 116438. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116438> (accessed January 03, 2026)
7. Shahbaz M., Raghutla C., Chittedi K. R., Jiao Z., Vo X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, vol. 207, 118162. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118162>

8. Polyanska A., Sala D., Psyuk V., Pazynich Y. (2025). A multicriteria approach to the study of the energy transition results for EU countries. *Energies*, vol. 18(20), 5406. Available at: <https://doi.org/10.3390/en18205406>
9. Sevgi E., Figen A. Z. (2025). Determination of renewable energy growth using cluster analysis and multi-criteria decision-making methods. *Applied Sciences*, vol. 15(3), 1575. Available at: <https://doi.org/10.3390/app15031575>
10. Jamasb T., Pollitt M. (2008). Security of supply and regulation of energy networks. *Energy Policy*, vol. 36(12), pp. 4584–4589. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.007>
11. Deichmann U., Reuter A., Vollmer S., Zhang F. (2019). The relationship between energy intensity and economic growth: New evidence from a multi-country multi-sectorial dataset. *World Development*, vol. 124, 104664. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104664>
12. World Bank Open Data. Available at: <https://data.worldbank.org/>

Дата надходження статті: 08.07.2026

Дата прийняття статті до публікації: 28.09.2026

Дата публікації статті: 30.09.2026