

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

Форма здобуття освіти: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему **«Порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики в регіонах світу»**

(назва теми)

здобувача Макаренко Марії Вікторівни

(ПІБ, підпис)

Науковий керівник: к. е. н., доцент Ольга ГАЛІЦИНА

(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією
з атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: к. ф.-м. н., професор
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

Київ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
освітньо-професійної програми
Олена ПІСКУНОВА

(підпис)

_____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри штучного інтелекту,
моделювання та статистики
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

_____ 2025 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувача вищої освіти

Макаренко Марії Вікторівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

очної (денної)

форми здобуття освіти

очної (денної), заочної, дистанційної

на підготовку кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

«Порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики в регіонах світу»

Тему затверджено наказом ректора Університету від «19» вересня 2025 р. № 1464-ст

Кваліфікаційна магістерська робота виконується на матеріалах

даних набору Global Renewable Energy and Indicators Dataset (Kaggle), аналітичного звіту Global Electricity Review 2025 (Ember), аналітичних оглядів платформи Meegle про енергетичні регуляторні механізми та інших відкритих джерел.

План кваліфікаційної магістерської роботи

Розділ 1	Теоретичні основи аналізу розвитку відновлюваної енергетики
Розділ 2	Порівняльний аналіз динаміки показників відновлюваної енергетики в регіонах світу
Розділ 3	Прогнозування розвитку відновлюваної енергетики за допомогою комплексу економіко-математичних моделей

Об'єкт дослідження:	процес переходу світових енергетичних систем до відновлюваних джерел енергії
Предмет дослідження:	динаміка та закономірності зміни показників розвитку відновлюваної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу під впливом економічних, інвестиційних і регуляторних факторів
Мета виконання кваліфікаційної магістерської роботи:	визначення закономірностей розвитку відновлювальної енергетики, порівняльний аналіз динаміки її ключових показників у країнах репрезентантах регіонів Європи, Азії та Північної Америки та їх моделей енергетичного переходу

Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1: 1) дослідити теоретичні засади сталого енергетичного розвитку та трансформації енергетичних систем; 2) проаналізувати сучасний стан і глобальні тенденції розвитку відновлюваної енергетики у світі.

У розділі 2: 1) провести порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу за період 2000–2023 рр.; 2) здійснити комплексний аналіз обсягів, структури та тенденцій інвестицій у ВДЕ в США, Китаї та ЄС.

У розділі 3: 1) сформуванню статистичну базу дослідження та здійснити описову характеристику вибірки показників; 2) розробити комплекс економіко-математичних моделей, який включає побудову та оцінку прогнозних моделей ARIMA для обсягів виробництва ВДЕ; формування панельних даних і оцінювання регресійних моделей (Pooled, FE, RE) для аналізу впливу макроекономічних факторів; 2) проаналізувати вплив інвестицій, економічних та інституційних факторів на темпи розвитку ВДЕ та сформуванню практичні рекомендації.

Завдання підготував
науковий керівник

_____ (підпис)

Ольга ГАЛІЦИНА

(ім'я, прізвище)

«__» _____ 2025 р.

Завдання одержав
здобувач

_____ (підпис)

Марія МАКАРЕНКО

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2025 р.

Реферат

Кваліфікаційна магістерська робота містить 70 сторінок, 5 таблиць, 22 рисунки, перелік використаних джерел з 50 найменувань, додатки.

Порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики в регіонах світу

Об'єктом дослідження виступає процес переходу світових енергетичних систем до відновлюваних джерел енергії.

Предметом дослідження є динаміка та закономірності зміни показників розвитку відновлюваної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу під впливом економічних, інвестиційних і регуляторних факторів.

Метою роботи є визначення закономірностей розвитку відновлювальної енергетики, порівняльний аналіз динаміки її ключових показників у країнах репрезентантах регіонів Європи, Азії та Північної Америки та їх моделей енергетичного переходу.

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи, поставлено наступні завдання:

1. Дослідити теоретичні засади сталого енергетичного розвитку та трансформації енергетичних систем.
2. Проаналізувати сучасний стан і глобальні тенденції розвитку відновлюваної енергетики у світі.
3. Провести порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу за період 2000–2023 рр.
4. Здійснити комплексний аналіз обсягів, структури та тенденцій інвестицій у ВДЕ в США, Китаї та ЄС.
5. Сформувані статистичну базу дослідження та здійснити описову характеристику вибірки показників.
6. Розробити комплекс економіко-математичних моделей, який включає:
 - побудову та оцінку прогнозних моделей ARIMA для обсягів виробництва ВДЕ;
 - формування панельних даних і оцінювання регресійних моделей (Pooled, FE, RE) для аналізу впливу макроекономічних факторів;
7. Проаналізувати вплив інвестицій, економічних та інституційних факторів на темпи розвитку ВДЕ та сформувані практичні рекомендації.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Теоретична значущість роботи полягає у розвитку підходів до оцінювання динаміки відновлюваної енергетики на основі поєднання часових рядів та панельних моделей, а також у систематизації факторів, що визначають успішність енергетичного переходу. Практична значущість полягає у формуванні висновків і рекомендацій щодо можливих напрямів удосконалення енергетичної політики з урахуванням досвіду країн Європи, Азії та США, а також у використанні отриманих результатів у процесі розроблення стратегій та прогнозів розвитку ВДЕ.

Практичні результати дослідження спрямовані на вдосконалення політик та механізмів розвитку ВДЕ в країнах із різними моделями енергетичного переходу. До ключових напрямів розвитку віднесено: посилення інвестиційної стабільності, розвиток мережевої інфраструктури, підвищення ролі інноваційних технологій, оптимізацію державних стимулів та розширення міжнародної співпраці у сфері чистої енергетики.

Рік виконання кваліфікаційної магістерської роботи – 2025.

Рік захисту роботи – 2025.

Ключові слова: відновлювана енергетика, джерела енергії, панельні моделі, динаміка виробництва та споживання, енергетичний перехід, прогнозування виробництва.

В і д г у к
про кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»
навчально-наукового інституту «Інститут інформаційних технологій в економіці
КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Макаренко Марії Вікторівни

(ПІБ)

на тему Порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики в
регіонах світу

(назва теми)

1. Актуальність теми обумовлена необхідністю переходу як окремих держав, так і світової економіки загалом до відновлюваної енергетики. Аналіз цього переходу як нового ключового стратегічного напрямку розвитку економік світу надасть можливість підвищення ефективності енергетичних стратегій. Для України питання розвитку відновлювальної енергетики є особливо актуальним для відновлення енергетичної інфраструктури.
2. Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи: проведений порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики, розроблений комплекс економіко-математичних моделей дозволив визначити та оцінити зв'язок між технологічними інноваціями, інституційною підтримкою, інвестиційними механізмами та глобальними кліматичними зобов'язаннями, що демонструє високий рівень автора в аналізі теоретичного та практичного матеріалу, обґрунтуванні висновків, застосуванні сучасних інформаційних технологій.
3. Наявність самостійних розробок автора вибір теми та виконання кваліфікаційної роботи проведено автором повністю самостійно. Кваліфікаційна робота відповідає затвердженому індивідуальному завданню та оформлена відповідно до вимог до кваліфікаційних робіт.
4. Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій отриманих у роботі, пов'язана з проведенням економетричним оцінюванням впливу інвестицій та макроекономічних показників на розвиток ВДЕ. Побудовою прогнозних моделей, що дали змогу оцінити майбутню динаміку розвитку ВДЕ до 2028 року. Результати дослідження апробовані на XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції Форумі молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід» 21-22 листопада 2025 року у Львові, тези доповіді «Застосування економетричних методів для аналізу та прогнозування розвитку сектору відновлюваної енергетики», що засвідчено Сертифікатом № 13-2025/071 .
5. Наявність недоліків: кваліфікаційна магістерська робота після перевірки на ознаки академічного плагіату стала налічувати більшу кількість сторінок за рахунок її форматування. Крім вказаного, виконана робота містить незначну кількість недоліків стилістичного характеру, які не впливають на її загальну якість.

6. Загальна оцінка кваліфікаційної магістерської роботи та її допущення до захисту перед ЕК: кваліфікаційна магістерська робота Макаренко М.В. виконана на *високому рівні* та може бути допущена до захисту перед ЕК. Робота свідчить про відповідність набутих здобувачем компетентностей вимогам освітньої програми «Економічна кібернетика і Дата Сайнс», а її автор Макаренко М.В., за умови успішного захисту, заслуговує на присвоєння освітньої кваліфікації «Магістр з економіки».

Науковий керівник доцент кафедри штучного інтелекту, моделювання та статистики кандидат економічних наук, доцент
(посада, учене звання, науковий ступінь)

(підпис)

Ольга ГАЛІЦИНА
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

Рецензія

на кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача вищої освіти

Макаренко Марії Вікторівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема Порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики в регіонах світу

Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи і доцільність її розроблення

Актуальність обумовлена зростаючою потребою у світовому переході до стійких енергетичних систем та пошуком рішень для зменшення залежності від викопних ресурсів. Відновлювана енергетика демонструє різні темпи розвитку, що потребує порівняльного аналізу для виявлення ключових тенденцій і факторів впливу. Дослідження динаміки показників ВДЕ дає змогу оцінити ефективність енергетичних стратегій різних країн та визначити найуспішніші з них.

Якість проведеного дослідження

У роботі забезпечено порівняння динаміки ключових показників розвитку відновлювальної енергетики в різних регіонах світу, що дало змогу отримати об'єктивні й узагальнені висновки. Використання сучасних статистичних та аналітичних інструментів підвищило точність результатів та дозволило виявити суттєві закономірності й відмінності. Інтерпретація отриманих даних свідчать про високий рівень опрацювання матеріалу та наукову обгрунтованість зроблених висновків.

Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи

Чітка логічна структура та послідовність викладення матеріалу, що забезпечує зрозумілість і наукову цінність дослідження. Робота ґрунтується на актуальних статистичних даних і сучасних джерелах, що підвищує її достовірність. У роботі запропоновано рекомендації, які можуть бути використані для вдосконалення енергетичної політики, що підкреслює її прикладну спрямованість.

Зауваження

У висновках варто глибше підкреслити практичну значущість отриманих результатів та можливості їх застосування в контексті України.

Практична значимість висновків і рекомендацій

Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення регіональних та національних стратегій розвитку відновлюваної енергетики. Виявлені тенденції та порівняння між регіонами світу допомагають визначити найефективніші моделі підтримки ВДЕ та адаптувати їх до умов окремих країн. Рекомендації можуть слугувати основою для підвищення інвестиційної привабливості сектору, оптимізації енергетичної політики та планування довгострокових програм розвитку. Дослідження має прикладну цінність для органів державного управління, аналітичних центрів та підприємств енергетичної галузі.

Місце роботи та посада рецензента

Науковий ступінь, учене звання (за наявності)

Повне засвідчую:

Місце печатки організації, організаційне звання

Д-р Геловський Імремер
Артем Гербушов
(підпис, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Гербушов Артем І.
(підпис)



ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	6
1.1. Поняття, роль та види відновлюваної енергетики у світовій економіці	6
1.2. Глобальні тренди та стратегічні пріоритети переходу до сталих енергосистем	9
1.3. Міжнародна політика і регуляторні механізми щодо розвитку відновлюваної енергетики	13
РОЗДІЛ 2 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В РЕГІОНАХ СВІТУ	18
2.1. Методики оцінювання показників розвитку відновлюваної енергетики: індикатори, індекси, статистичні моделі та аналітичні підходи	18
2.2. Динаміка виробництва та споживання енергії з відновлюваних джерел за регіонами світу	22
2.3. Порівняльний аналіз інвестиційних потоків у відновлювану енергетику у США, Китаї та ЄС	35
РОЗДІЛ 3 ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСУ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	43
3.1. Відбір показників для побудови економіко-математичних моделей та прогнозування	43
3.2. Побудова економіко-математичної моделі прогнозування показників ВДЕ ..	46
3.3. Рекомендації для урядів, інвесторів і міжнародних організацій щодо підвищення ефективності розвитку ВДЕ.....	64
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	77

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Світовий енергетичний ландшафт за останні десятиліття докорінно змінюється під впливом глобальних викликів, пов'язаних із зміною клімату, виснаженням традиційних енергетичних ресурсів та необхідністю забезпечення енергетичної незалежності. Перехід до відновлюваної енергетики став ключовим стратегічним напрямом розвитку як на рівні окремих держав, так і світової економіки загалом.

Для України питання розвитку відновлювальної енергетики є особливо актуальним у контексті відновлення енергетичної інфраструктури, зменшення залежності від імпорту енергоносіїв та інтеграції у європейський енергетичний простір. Тому дослідження динаміки та закономірностей розвитку ВДЕ у різних регіонах світу має вагоме наукове та практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розвитку відновлювальної енергетики широко досліджуються у працях зарубіжних та вітчизняних учених, серед яких варто відзначити роботу Деніела Єрґіна «Нова карта світу. Енергетика, клімат, конфлікти», а також праця українських дослідників Приходько І., Ігнатишина В., Приходько Ю. у статті під назвою «Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі» та ін. Дослідники аналізують структурні зміни у світовому енергобалансі, фактори впливу на розвиток ВДЕ, інвестиційні механізми та вплив політик декарбонізації. Проте більшість праць фокусуються або на глобальних тенденціях, або на розвитку окремих країн. Недостатньо дослідженим залишається питання порівняльного аналізу динаміки показників ВДЕ між регіонами світу з урахуванням економічних, інституційних та інвестиційних факторів, що й становить наукову нішу даної кваліфікаційної магістерської роботи.

Метою роботи є визначення закономірностей розвитку відновлювальної енергетики, порівняльний аналіз динаміки її ключових показників у країнах

репрезентантах регіонів Європи, Азії та Північної Америки та їх моделей енергетичного переходу.

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи, поставлено наступні завдання:

8. Дослідити теоретичні засади сталого енергетичного розвитку та трансформації енергетичних систем.
9. Проаналізувати сучасний стан і глобальні тенденції розвитку відновлюваної енергетики у світі.
10. Провести порівняльний аналіз динаміки показників відновлювальної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу за період 2000–2023 рр.
11. Здійснити комплексний аналіз обсягів, структури та тенденцій інвестицій у ВДЕ в США, Китаї та ЄС.
12. Сформувати статистичну базу дослідження та здійснити описову характеристику вибірки показників.
13. Розробити комплекс економіко-математичних моделей, який включає:
 - побудову та оцінку прогнозних моделей ARIMA для обсягів виробництва ВДЕ;
 - формування панельних даних і оцінювання регресійних моделей (Pooled, FE, RE) для аналізу впливу макроекономічних факторів;
14. Проаналізувати вплив інвестицій, економічних та інституційних факторів на темпи розвитку ВДЕ та сформувати практичні рекомендації.

Об'єктом дослідження виступає процес переходу світових енергетичних систем до відновлюваних джерел енергії.

Предметом дослідження є динаміка та закономірності зміни показників розвитку відновлюваної енергетики у країнах репрезентантах регіонів світу під впливом економічних, інвестиційних і регуляторних факторів.

Методи дослідження. У роботі застосовано:

- методи аналізу і синтезу для формування теоретичних засад і визначення стану проблеми;

- економіко-статистичні методи для описової оцінки вибірки показників;
- графічні методи для візуалізації динаміки розвитку ВДЕ;
- методи аналізу часових рядів для виявлення трендів та прогнозних тенденцій;
- регресійні та панельні економетричні моделі для оцінки впливу факторів на розвиток ВДЕ.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів.

Теоретична значущість роботи полягає у розвитку підходів до оцінювання динаміки відновлюваної енергетики на основі поєднання часових рядів та панельних моделей, а також у систематизації факторів, що визначають успішність енергетичного переходу.

Практична значущість полягає у формуванні висновків і рекомендацій щодо можливих напрямів удосконалення енергетичної політики з урахуванням досвіду країн Європи, Азії та США, а також у використанні отриманих результатів у процесі розроблення стратегій та прогнозів розвитку ВДЕ.

Інформаційну базу дослідження становлять праці вітчизняних і зарубіжних науковців, статистичні дані міжнародних організацій (IRENA, IEA, World Bank, Our World in Data), офіційні звіти державних агентств з енергетики, нормативно-правові документи у сфері розвитку відновлюваних джерел енергії, а також відкритий набір даних Global Renewable Energy and Indicators Dataset (платформа Kaggle), що використано для проведення практичних розрахунків.

Структура роботи. Робота складається із вступу та 3-х розділів. Загальний обсяг роботи: 70 аркушів основного тексту, 22 ілюстрації, 5 таблиць. При підготовці використовувалася література з 50 джерел.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Поняття, роль та види відновлюваної енергетики у світовій економіці

Відновлювальна енергетика — енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії.

До відновлюваних джерел енергії належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як планети. Відновлювані джерела енергії здатні самостійно поновлюватися, і таке поновлення здійснюється природним шляхом.

Альтернативні джерела енергії – невикопні джерела енергії, які постійно існують або періодично з’являються в навколишньому природному середовищі, такі як енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів.

З 2021 року світова енергетична криза спричинила значне зростання цін та інфляцію, причому як промисловість, так і споживачі відіграють вирішальну роль у підвищенні енергоефективності. Ця криза може прискорити впровадження чистих та відновлюваних джерел енергії.

Поява відновлюваних джерел енергії являє собою життєво важливу зміну парадигми у глобальному ставленні до сталої енергетики. Природні процеси, такі як сонячне світло, вітер та інші біологічні механізми, забезпечують ефективний підхід

до підвищення енергетичної безпеки, зміцнення економічного розвитку та виробництва чистої енергії для пом'якшення наслідків зміни клімату.

До економічних переваг розвитку у галузі ВДЕ можна віднести створення робочих місць, так як збільшення потужностей у виробництві, установці, експлуатації та обслуговуванні потребує залучення більшої кількості спеціалістів; сектор ВДЕ привабливий для інвесторів, що сприяє розвитку нових технологій та інновацій у сфері енергетики; не дивлячись на те, що початкові витрати будуть високими, довгострокові експлуатаційні витрати на виробництво енергії з ВДЕ значно нижчі, що робить її економічно вигідною у довгостроковій перспективі.

До екологічних та суспільних переваг можна віднести зниження викидів парникових газів та забруднюючих речовин, що сприяє боротьбі із глобальним потеплінням та покращує якість повітря; зменшується залежність від імпорту викопного палива, що підвищує енергетичну незалежність країн.

Види відновлюваної енергетики:

- 1) Сонячна енергія – отримують за допомогою сонячних або фотоелектричних панелей, виготовлених із матеріалів, які перетворюють сонячне світло в електричний струм. Обсяги накопичення сонячної енергії залежать від наступних факторів: пора року, час доби та розташування панелей. Сонячні електростанції можна встановлювати не лише на землі, а ще і на поверхні водосховищ та озер. За умови правильного виробництва та розташування, сонячні електростанції не наносять шкоди навколишньому середовищу.
- 2) Вітрова енергія – вітер забезпечує обертання з'єднаних із генератором лопатей турбіни, у результаті чого виробляється електроенергія. Основна проблема у видобутку вітрової енергії – це те, що розташування вітряків вимагає відносно великих площ, тому морські вітрові електростанції стали альтернативою наземним. Такі електростанції залишаються актуальними, не зважаючи на залежність від погодних умов, нестабільність водної

поверхні і захмарну вартість прокладання кабелів живлення на морському дні.

- 3) Гідроелектроенергія – вид ВДЕ, для видобутку якої використовуються дамби або греблі, які керують потоком води. Напір води створює обертання лопатей турбіни, з'єднаних із генератором, унаслідок чого виробляється електроенергія. Це найнадійніший та найстабільніший спосіб видобутку відновлюваної енергетики. Проте є і недоліки – тварини та люди, яким потрібні водойми, можуть частково або повністю втратити до них доступ.
- 4) Геотермальна енергія – це енергія, джерелом якої є води, нагріті магмою з надр землі, і яка видобувається з рукотворних свердловин. Вода перетворюється на пар, це запускає рух турбін, які живлять генератори для виробництва електроенергії. Проте не всі країни багаті на геотермальні джерела, тому цей вид ВДЕ буде актуальним для меншості країн. До недоліків відноситься збільшення ризику виникнення землетрусів через буріння свердловин у зоні високих температур.
- 5) Енергія біомаси – утворюється в результаті згоряння матеріалу рослинного походження, це приводить у дію турбіни й дає змогу генерувати електричний струм. Цей метод характеризується низькою собівартістю й екологічністю.

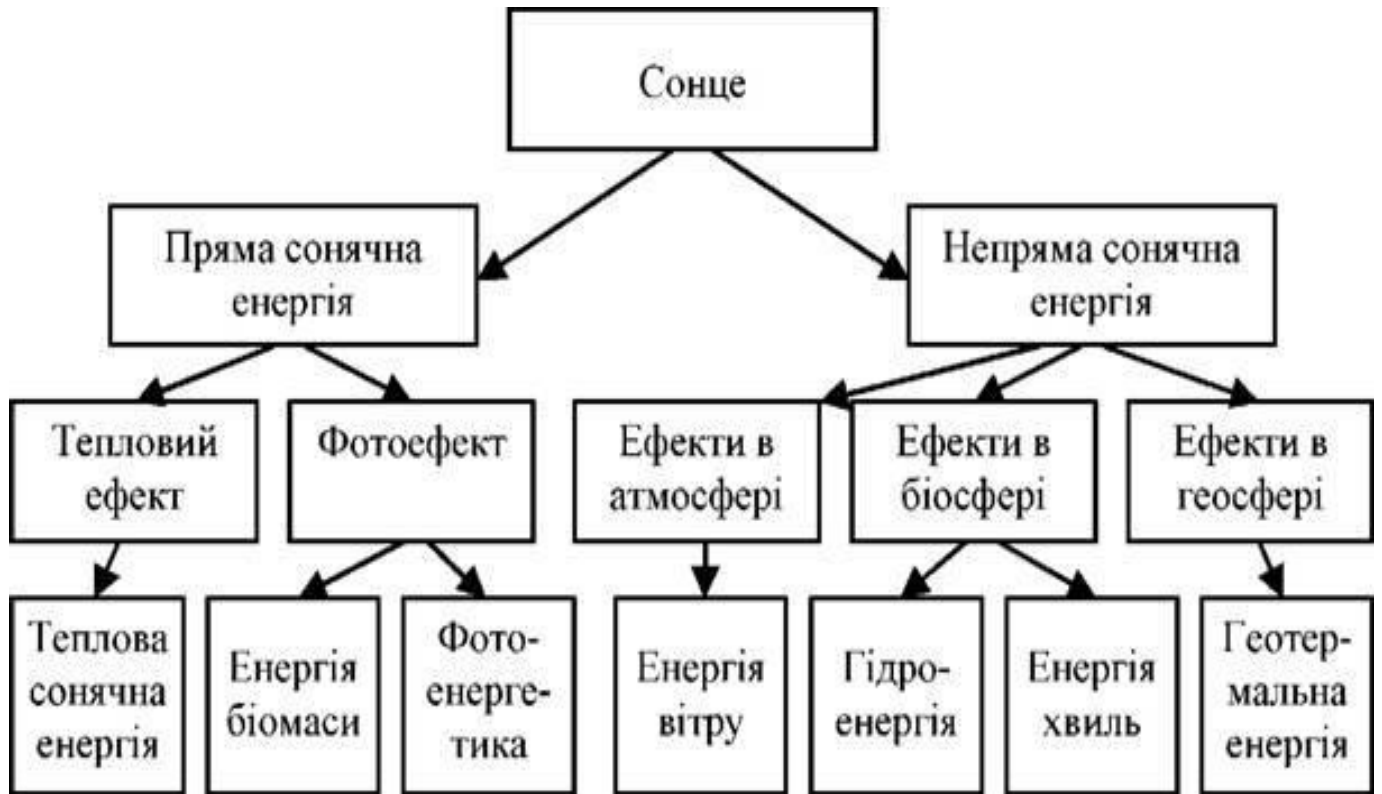


Рисунок 1.1 - Структура поновлювальної енергії [5]

Схема на рис 1.1 ілюструє, як енергія Сонця напряду та опосередковано перетворюється на різні форми відновлюваної енергії, що використовуються людиною.

1.2. Глобальні тренди та стратегічні пріоритети переходу до сталих енергосистем

Відновлювана енергетика стрімко змінює сучасний енергетичний ринок у всьому світі, нові глобальні тренди, які визначають розвиток галузі – це боротьба зі зміною клімату, інновації та зростаючий попит на екологічні джерела енергії.

Розглянемо основні глобальні тренди:

- Сонячна енергетика залишається лідером в світі серед відновлюваних джерел енергії завдяки своїй доступності, універсальності та відносно низьким операційним витратам.
- Інтеграція відновлюваних джерел у глобальні мережі для кращого керування енергією, яку виробляють сонячні та вітрові станції. Сонячні електростанції почнуть працювати в єдиній системі з генераторами та іншими джерелами енергії, підвищуючи стабільність постачання.
- Бізнеси інвестуватимуть у власні джерела відновлюваної енергетики для скорочення витрат на електроенергію та підвищення енергонезалежності. Такі бізнеси матимуть конкурентну перевагу на ринку через свою автономність.
- Зросте виробництво та використання літій-іонних батарей, а отже зросте і кількість робочих місць у цій галузі.

Розкриття повного потенціалу енергетичних систем вимагає переосмислення самої трансформації як стратегічного важеля для економічного зростання. Те, що довго вважалося кліматичним зобов'язанням, тепер має бути переосмислене як двигун створення робочих місць, інновацій та конкурентоспроможності.

Уряди, підприємства та фінансові установи повинні визнати, що декарбонізація – це не просто екологічна необхідність, а шлях до довгострокової економічної конкурентоспроможності, тому представимо стратегічні переваги енергетичного переходу у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Стратегічні переваги енергетичного переходу [7]

Зона переваг	Стратегічна цінність
Створення робочих місць та економічне зростання	Сценарій МЕА «Нульові викиди до 2050 року» передбачає створення 14 мільйонів нових робочих місць у сфері чистої енергетики до 2030 року, а також прогнозує, що ще 16 мільйонів працівників перейдуть на роботу, пов'язану з чистою енергетикою.

Продовження таблиці 1.1

Промислова конкурентоспроможність	Чиста енергія та енергоефективність можуть знизити експлуатаційні витрати, підвищити енергетичну безпеку та створити нові високоцінні галузі промисловості, забезпечуючи конкурентоспроможність на світових ринках.
Стійкі енергетичні системи	Безпечна, доступна та стійка енергетика є основою економічної стабільності, зменшення впливу волатильності викопного палива та геополітичних ризиків.
Технологічне лідерство	Країни, які інвестують в енергетичні інновації та інфраструктуру сьогодні, матимуть хороші можливості для домінування на енергетичних ринках вже завтра.
Екологічні супутні вигоди	Скорочення викидів покращує здоров'я населення, знижує витрати на охорону здоров'я та підвищує продуктивність робочої сили, одночасно зміцнюючи стійкість до кліматичних потрясінь.

Далі розглянемо найважливіші стратегічні пріоритети переходу до сталих енергосистем. Насамперед, варто зазначити, що енергетичні системи повинні забезпечувати чисту, безпечну та доступну енергію в умовах зростаючих перебоїв. Тому ці п'ять пріоритетів прокладають шлях до зміцнення безпеки, рівності та сталого розвитку в майбутньому.

1. Розробити глобально узгоджені політичні рамки, які адаптуються до місцевих умов та підкріплюються стратегічними партнерствами, адаптуючи стимули до національних сильних сторін та сприяючи регіональній співпраці в галузі інфраструктури, ланцюгів постачання та енергетичної інтеграції.

До прикладу: Національна місія Індії з розвитку зеленого водню (2023) передбачає цільові стимули на основі промислових сильних сторін кожного штату, таких як нафтохімічний потенціал Гуджарату, база відновлюваних джерел енергії Тамілнаду та виробництво сталі в Одіші, підтримуючи вітчизняне виробництво та експортний потенціал, одночасно узгоджуючи це з національними та глобальними цілями декарбонізації. [21]

2. Модернізувати інфраструктуру та планування мережі за допомогою цифрових інструментів для кращої інтеграції відновлюваних джерел енергії, сховищ та розподілених активів, забезпечуючи надійне та ефективне постачання чистої енергії в енергетиці та паливі. Водночас, мінімізувати втрати енергії та підвищити загальну ефективність системи.

Наприклад, Саудівська електрична компанія встановила 11 мільйонів інтелектуальних лічильників, покращивши моніторинг енергії в режимі реального часу, підвищивши надійність мережі та заклавши основу для посилення інтеграції відновлюваних джерел енергії. [22]

3. Узгодити освітню, професійну підготовку та планування робочої сили з потребами ринку праці в режимі реального часу, щоб створити кваліфіковану, інклюзивну робочу силу, яка може підтримувати впровадження чистої енергії, підвищення енергоефективності та справедливий перехід.

До прикладу, Австралійські навчальні центри з чистої енергетики Hubs співпрацюють із технічними та подальшими освітніми закладами (TAFE), енергетичними компаніями та профспілками для проведення практичного навчання з встановлення сонячної, вітрової та акумуляторної енергії, що дозволяє скоротити розрив між ринковим попитом та пропозицією робочої сили. [23]

4. Розвивати міжнародну співпрацю в галузі досліджень, розробок та інновацій, а також пов'язувати дослідження та розробки, пілотну підтримку та раннє впровадження, щоб скоротити час тестування, пришвидшити виявлення

нежиттєздатних технологій та прискорити масштабування проривних рішень у важкій промисловості та транспорті.

Приклад: Інвестиції Міністерства енергетики США у розмірі 7 мільярдів доларів США в регіональні водневі центри пов'язують державно-приватні партнерства для масштабування водневих технологій на ранніх стадіях, підтримуючи промислову декарбонізацію в транспорті та виробництві. [24]

5. Виходити за межі ізольованих проєктів, поєднуючи інструменти розподілу ризиків, розвиток місцевого ринку капіталу та цільові державно-приватні платформи, роблячи інвестиції в чисту енергію та енергоефективність більш життєздатними там, де вони найбільше потрібні.

Приклад: Національний інвестиційний та інфраструктурний фонд Індії (NIF) слугує платформою, що підтримується суверенним урядом, яка співпрацює з глобальними інвесторами для спільного фінансування інфраструктури, використовуючи покращення кредитної спроможності для зниження ризиків проєктів чистої енергетики та залучення приватного капіталу у великих масштабах.

1.3. Міжнародна політика і регуляторні механізми щодо розвитку відновлюваної енергетики

Підтримка політики розвитку відновлюваної енергетики сприяє інноваціям та просуванню технологій відновлюваної енергетики. Крім того, це питання відіграє важливу роль у трансформації системи енергопостачання на основі викопного палива.

Гарантований зелений тариф (FiT) та стандарти портфеля відновлюваної енергетики (RPS) є ключовими політиками розвитку потужностей відновлюваної енергетики, які були на порядку денному різних країн протягом останнього десятиліття.

Основні перешкоди для розвитку відновлюваної енергетики можна розділити на чотири основні групи: політичні, адміністративні (правові), пов'язані з мережевою інфраструктурою та соціально-економічні. Розвиток відновлюваної енергетики вимагає державної підтримки, інтегруючи пакети підтримки у свою політику на макрорівні, уряди можуть сприяти зростанню чистої енергетики. Ці пакети зазвичай розроблені для створення та розширення ринків, одночасно усуваючи існуючі бар'єри. Ефективна політика повинна відповідати технологічному прогресу та динаміці світового ринку, що розвивається. Відповідно, країни повинні постійно адаптувати свої політичні інструменти як до світових тенденцій, так і до власних внутрішніх можливостей.

Оцінювання енергетичної політики проводиться після її впровадження у всіх випадках, або шляхом відомчого моніторингу, звітності, або звіту про стан справ та офіційної звітності на основі огляду. Графік оцінювання в кожній країні різниться: проводиться щорічно; кожні чотири роки; а в інших випадках – десь посередині або використовуються неконкретні терміни оцінювання.

Процес QCA виявив деякі ключові спільні риси між оцінюваними країнами, а також деякі помітні відхилення. На рис. 1.2 представлено результати процесу розробки політики, позначені спільні риси та відхилення в управлінні та етапах розробки політики.

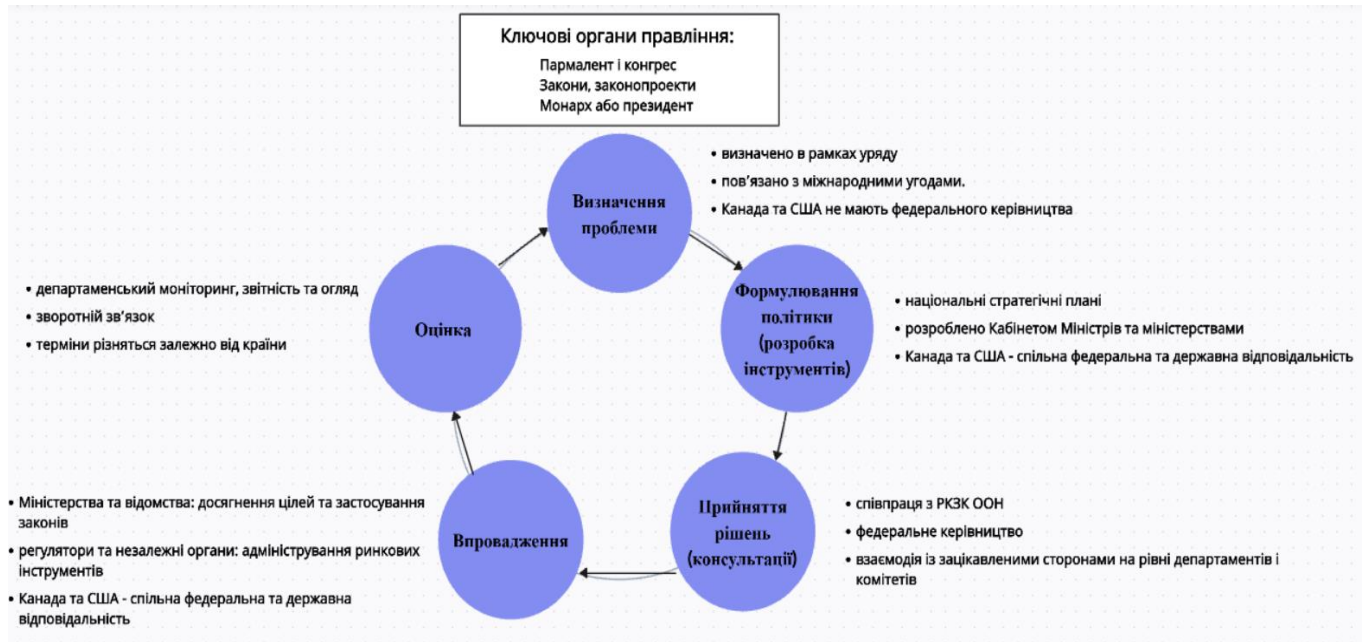


Рисунок 1.2 - Процес управління та розробки політики ОЕСР

Джерело: розроблено автором на основі [20]

Щодо розвитку ВДЕ, міжнародна політика спрямована на стимулюванні використання відновлюваних джерел енергії для боротьби зі зміною клімату, забезпечення енергетичної безпеки та зменшення викидів парникових газів.

Ці ключові аспекти досягаються шляхом впровадження цілей та угод, як наприклад, Паризька угода, підтримка інвестицій, розвиток технологій та створення стимулюючих механізмів, як «зелені» тарифи та субсидії. Ключову роль у цьому процесі відіграють міжнародні організації, а саме Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA), яке надає аналітичну підтримку та сприяє співпраці між країнами.

Світові країни-лідери прагнуть збільшити частку відновлюваних джерел до 60% до 2030 року відповідно до угоди, яку уклали на грудневій конференції ООН щодо зміни клімату COP28 (Дубай, ОАЕ). Угода зобов'язує потроїти свої потужності зеленої енергетики протягом наступних шести років, щоб удвічі скоротити викиди в енергетичному секторі.

За даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), станом на 2024р., п'ятірка лідерів за обсягами виробництва світової відновлюваної електроенергії виглядає так:

- Китай - 31%
- США - 11%
- Бразилія - 6,4%
- Канада - 5,4%
- Індія - 3,9%

За даними IRENA, у 2024 році сім країн закривали свої енергетичні потреби за рахунок відновлюваної енергетики майже у 100% обсязі. До переліку цих країн входять: Албанія, Бутан, Ефіопія, Ісландія, Непал, Парагвай та Демократична Республіка Конго. Ще 40 країн, серед яких - 11 європейських, отримують, як мінімум, половину електроенергії з відновлюваних джерел.

Розглянемо регуляторні рамки в енергетиці, вони підкріплені складною взаємодією технологій та методів, що забезпечують їх ефективне функціонування. В основі цих рамок лежить надійна система аналізу даних та забезпечення дотримання політики, яка забезпечує дотримання регуляторних стандартів. Передові технології, такі як аналітика великих даних, машинне навчання та блокчейн, все частіше інтегруються в регуляторні процеси для підвищення прозорості, ефективності та підзвітності.

Аналіз даних відіграє вирішальну роль у регуляторних системах, надаючи уявлення про моделі споживання енергії, ринкові тенденції та вплив на навколишнє середовище. Ця інформація є життєво важливою для політиків та регуляторних органів, щоб вони могли приймати обґрунтовані рішення та розробляти цілеспрямовані заходи, що сприяють розвитку практик сталого енергоспоживання. Наприклад, інтелектуальні лічильники та датчики, розгорнуті в енергетичних мережах, збирають дані про споживання енергії в режимі реального часу, що дозволяє

точніше прогнозувати та керувати попитом. Такий підхід, заснований на даних, дозволяє регуляторам виявляти неефективність та сфери для покращення в енергетичних системах, що зрештою призводить до кращого управління ресурсами та зменшення викидів.

Цифрові інструменти та платформи також трансформують способи моніторингу та забезпечення дотримання нормативних вимог. Технологія блокчейн, наприклад, пропонує децентралізовану та захищену від несанкціонованого доступу систему реєстрації транзакцій та перевірки дотримання нормативних стандартів.

Забезпечуючи прозорий та незмінний облік енергетичних транзакцій, блокчейн підвищує довіру та підзвітність в енергетичному секторі. Крім того, цифрові платформи сприяють залученню та співпраці зацікавлених сторін, забезпечуючи централізований центр для обміну інформацією, звітності та зворотного зв'язку.

РОЗДІЛ 2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В РЕГІОНАХ СВІТУ

2.1 Методики оцінювання показників розвитку відновлюваної енергетики: індикатори, індекси, статистичні моделі та аналітичні підходи

Оцінювання розвитку відновлюваної енергетики зазвичай починається з вимірювання ключових кількісних показників — індикаторів, які характеризують як обсяги виробництва чи потужностей, так і темпи змін, економічну чи екологічну ефективність.

До таких індикаторів належать загальне виробництво електроенергії з ВДЕ (ТВт·год), частка ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні (%), встановлена потужність електростанцій (МВт), темпи щорічного приросту потужності (%), обсяг інвестицій у проекти ВДЕ (млрд дол. США), а також скорочення викидів CO₂ (тонн) унаслідок впровадження ВДЕ.

Наприклад, у звіті International Renewable Energy Agency (IRENA) «Renewable energy in climate change adaptation: Metrics and risk assessment framework» розглядаються індикатори, що відображають ефективність, результативність, соціальну справедливість і інституційну здатність політик з ВДЕ.

Важливо зазначити, що індикатори самі по собі не створюють контексту для порівняльного аналізу, якщо не супроводжуються стандартизованими методами вимірювання та врахуванням різних економічних, соціальних і технологічних умов.

Окрім окремих показників, у світовій практиці широко застосовуються комплексні або інтегральні індекси, які об'єднують кілька критеріїв у єдину метрику.

До прикладу: Energy Transition Index (ETI) від World Economic Forum (WEF) — містить моніторинг енергетичної системи країни за трьома китами: енергетична стійкість, доступність та екологічна стійкість.

Індекс Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI) — оцінює привабливість країни для інвестицій у ВДЕ, враховуючи політичні, технологічні, фінансові чинники; показники Sustainable Development Goal 7 indicators (SDG 7) — зокрема, поділ «частка ВДЕ у кінцевому споживанні» чи «потужність ВДЕ на душу населення» в контексті Цілей сталого розвитку.

Для аналізу динаміки розвитку ВДЕ та порівнянь між країнами репрезентантами для кожного регіону у роботі використані наступні статистичні та економіко-математичні методи:

1) Аналіз часових рядів

Аналіз часових рядів – це специфічний спосіб аналізу послідовності точок даних, зібраних протягом певного інтервалу часу. В аналізі часових рядів аналітики записують точки даних через певні проміжки часу протягом встановленого періоду часу.

Що відрізняє дані часових рядів від інших даних, так це те, що аналіз може показати, як змінні змінюються з часом. Іншими словами, час є ключовою змінною, оскільки він показує, як дані коригуються з плином часу, а також з кінцевими результатами. Він забезпечує додаткове джерело інформації та встановлює порядок залежностей між даними.

Аналіз часових рядів зазвичай вимагає великої кількості точок даних для забезпечення узгодженості та надійності. Великий набір даних гарантує репрезентативний розмір вибірки, а аналіз може проаналізувати дані з шумом. Він також гарантує, що будь-які виявлені тенденції чи закономірності не є викидами та можуть враховувати сезонні коливання.

Для вивчення динаміки виробництва енергії з ВДЕ, встановленої потужності чи інвестицій використовується аналіз часових рядів, який дозволяє оцінити тренд, сезонність та випадкові коливання.

Базова формалізація часового ряду:

$$y_t = tr_t + s_t + c_t + r_t, \quad (2.1)$$

де y_t - фактичне значення показника у час t ,

tr_t – трендова складова,

s_t – сезонна складова,

c_t – циклічна складова,

r_t – випадкова похибка.

Для прогнозування виробництва електроенергії з ВДЕ на наступні роки, використано одну з найпоширеніших моделей для прогнозування – ARIMA (p,d,q).

Модель ARIMA (p,d,q) – це статистичний метод, що використовується для прогнозування часових рядів. ARIMA розшифровується як Авторегресивна Інтегрована Ковзна Середня (AR) і поєднує три компоненти для моделювання та прогнозування майбутніх точок даних. Параметри p , d та q визначають структуру моделі: p – це порядок авторегресивної (AR) компоненти, d – це ступінь диференціації (інтеграції), необхідний для того, щоб дані були стаціонарними, а q – це порядок компонента ковзної середньої (MA). Разом ці параметри дозволяють моделі враховувати тенденції, сезонність та шум у даних часових рядів.

$$\phi(L)(1 - L)^d Y_t = \theta(L)r_t, \quad (2.2)$$

де p - порядок авторегресійної частини,

d - порядок диференціювання,

q - порядок середнього ковзного значення,

L - лаг-оператор.

r_t – випадкова похибка.

2) Регресійні моделі для оцінки факторного впливу

Регресійний аналіз – це потужний інструмент для оцінки впливу в оціночних дослідженнях. Він моделює взаємозв'язки між змінними, дозволяючи ізолювати вплив втручань, при цьому контролювати інші фактори. Цей метод допомагає виявити причинно-наслідкові зв'язки та кількісно визначити вплив програм.

Ключові міркування включають вибір відповідних змінних, врахування припущень та правильну інтерпретацію результатів. Тож регресійний аналіз дозволяє визначити чинники, що прискорюють або стримують розвиток ВДЕ. Це допоможе виявити вплив ВВП, регуляторної політики та інвестицій на частку виробництва енергії з ВДЕ.

У загальному вигляді лінійна регресійна модель виражається так:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i, \quad (2.3)$$

де y_i – залежна пояснювальна змінна,

$x_1, x_2 \dots x_{ki}$ - незалежні пояснювальні змінні,

$\beta_0, \beta_1 \dots \beta_k$ – вектор параметрів,

u_i - випадкова похибка.

Для виявлення впливу ВВП, регуляторної політики та інвестицій на частку виробництва енергії з ВДЕ лінійна регресійна модель виглядатиме так:

RenewableEnergyShare_i

$$= \beta_0 + \beta_1 GDP_I + \beta_2 EnergyPolicyScore_i + \beta_3 Investments_i + u_i$$

3) Панельні економетричні моделі

Панельні економетричні моделі аналізують дані з кількох об'єктів (таких як окремі особи, фірми чи країни) протягом кількох часових періодів, поєднуючи перехресні та часові ряди вимірів. Ці моделі використовуються для контролю

непостережуваної гетерогенності, аналізу динаміки та надання більше інформації, ніж лише перехресні або часові ряди даних.

Ключові методи включають модель фіксованих ефектів, яка контролює незмінні в часі індивідуальні характеристики, та модель випадкових ефектів, яка припускає, що ці характеристики не корелюють з регресорами.

Панельні моделі, будуть використані для аналізу одночасно міжкраїнових відмінностей і динаміки розвитку. Вони є ефективними для порівняння регіонів Європи, Азії та США у динаміці розвитку ВДЕ.

Базова модель із фіксованими ефектами:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + u_{it}, \quad (2.4)$$

де i – країна,

t – рік,

α_i - індивідуальний ефект країни,

x_{it} - змінні, що впливають,

u_{it} - випадкова похибка,

β - вектор параметрів.

2.2 Динаміка виробництва та споживання енергії з відновлюваних джерел за регіонами світу

Незважаючи на загальносвітове зростання інвестицій та потужностей ВДЕ, темпи, структура і масштаби цього розвитку залишаються регіонально неоднорідними, тому розглянемо динаміку виробництва та споживання ВДЕ у США, Китаї та ЄС.

США

Попит на електроенергію в Сполучених Штатах зріс на 3% у 2024 році, частково через спеку в літні місяці, а частково через відновлення після помірною літа 2023 року, коли попит знизився на 1,3%.

Зростання попиту було задовільнено переважно за рахунок збільшення виробництва сонячної, вітрової та газової енергій, що також компенсувало падіння виробництва вугілля.

У 2024 році спостерігалось найбільше зростання виробництва сонячної енергії в США. Це було друге за величиною зростання серед усіх країн, після Китаю. Значне збільшення потужностей, спричинене Законом про скорочення інфляції, почало впливати на збільшення виробництва. Виробництво енергії вітру зросло в результаті покращення вітрових умов з 2023 року.

Виробництво газу в США зросло на 3,3%. Це було найбільше зростання виробництва газу серед усіх країн у 2024 році та понад половину (57%) світового зростання виробництва газу.

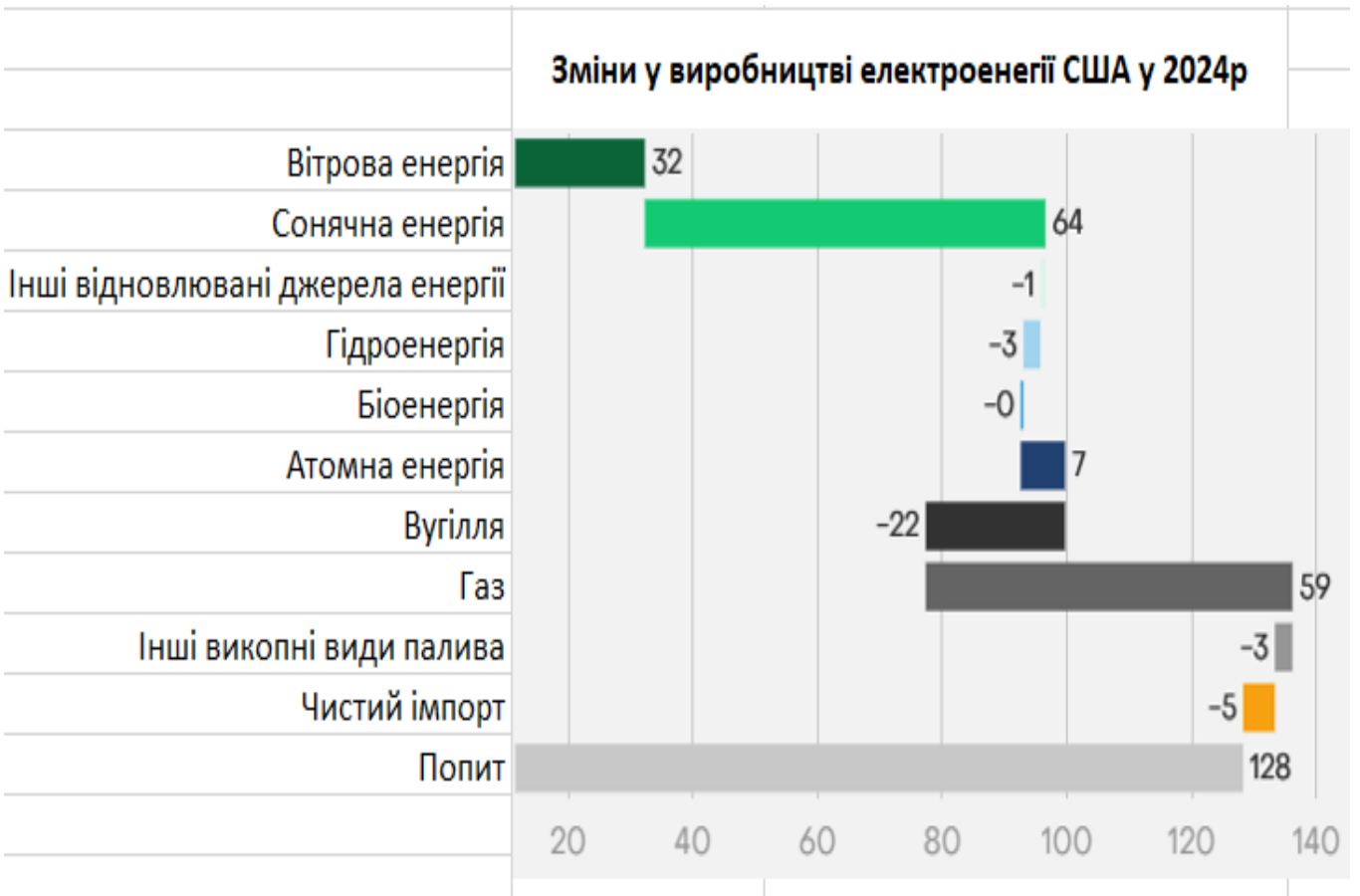


Рисунок 2.1 – Зміни у виробництві електроенергії США у 2024р. [27]

Вугільна енергетика в США переживає фазу виснаження з моменту свого піку в 2007 році. Відтоді вугільна енергетика впала на дві третини (-1364 ТВт·год). У 2024 році частка вугілля в структурі електроенергетики США вперше впала нижче 15%.

Вугільна енергетика була переважно замінена збільшенням виробництва енергії вітру та сонця (+722 ТВт·год з 2007 року) та виробництва газу (+968 ТВт·год з 2007 року), яке зросло до рекордних рівнів у 2024 році, подвоївшись порівняно з 2007 роком. На США припадає 43% світового зростання виробництва газу з 2015 року.

Частковий перехід з вугілля на газ означає, що викиди в енергетичному секторі скоротилися не так швидко, як у вугільній енергетиці. З 2015 року викиди скоротилися на 18%, з 2062 млн тонн CO₂ до 1683 млн тонн CO₂ у 2024 році.

З 2015 року виробництво вітрової та сонячної енергії в США разом зросло більш ніж утричі (+527 ТВт·год), виробивши 757 ТВт·год електроенергії у 2024 році. Це постійне зростання означає, що вітер та сонячна енергетика вперше обігнали вугільну енергетику в США у 2024 році, виробляючи 17% електроенергії країни.

Зростання виробництва чистої електроенергії відбулося лише за рахунок сонячної та вітрової енергії – виробництво біоенергії, атомної та гідроенергетики у 2024 році було меншим, ніж у 2015 році.

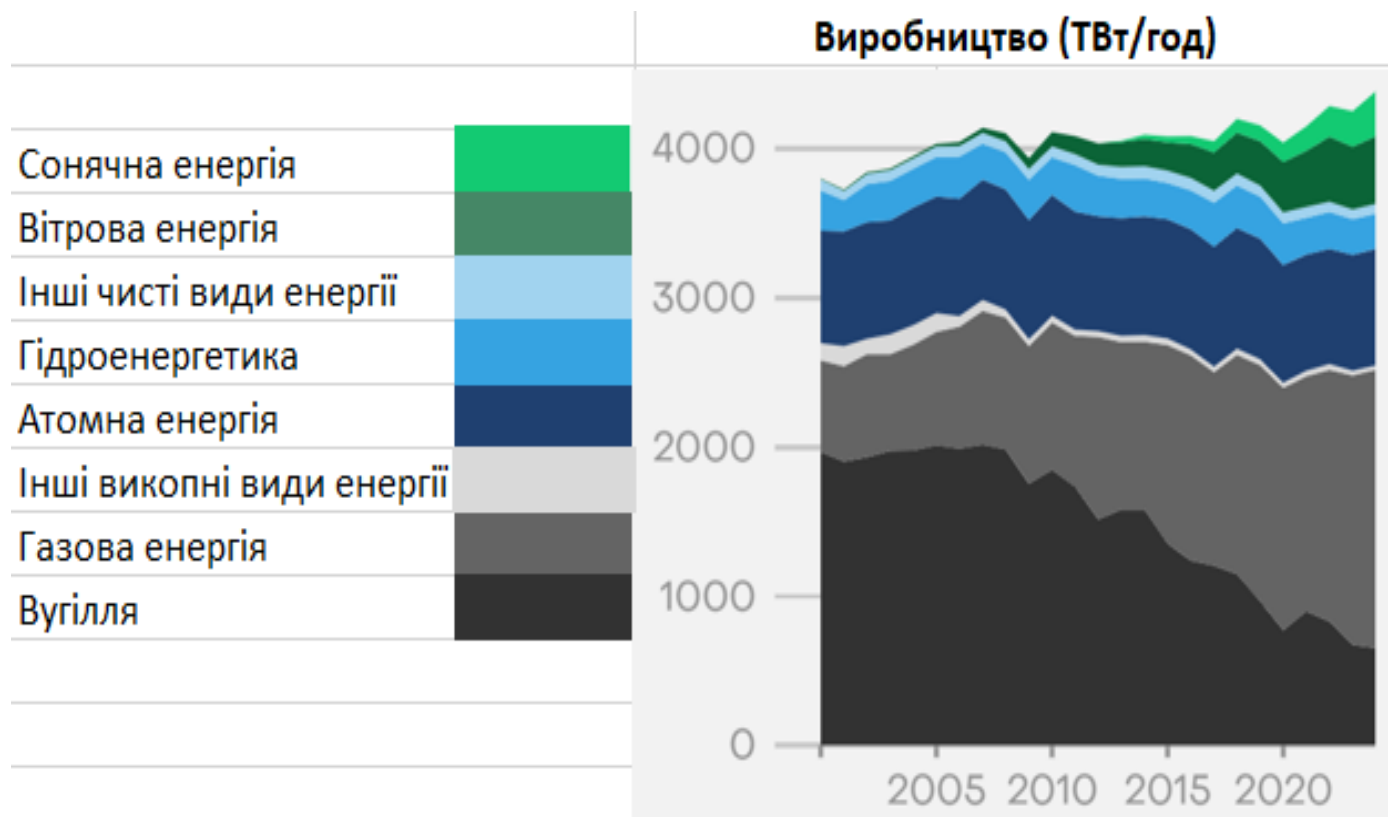


Рисунок 2.2 – Динаміка виробництва електроенергії США [27]

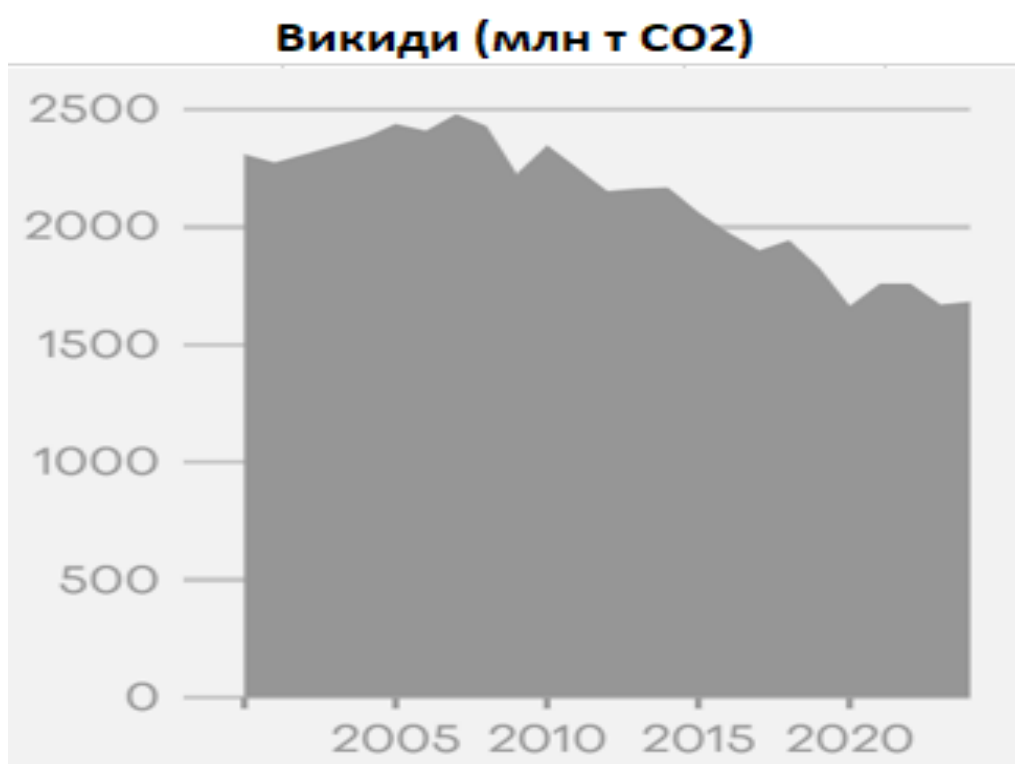


Рисунок 2.3- Динаміка викидів CO₂ у США [27]

У 2024 році Сполучені Штати виробили 42% своєї електроенергії з чистих джерел, що відповідає середньосвітовому показнику. 17% електроенергії країни було вироблено за допомогою вітрової та сонячної енергії, що трохи вище середньосвітового показника (15%), але нижче, ніж у Китаї (18%).

У 2024 році 58% електроенергії США вироблялося з викопного палива, що відповідало середньосвітовому показнику в 59%, незважаючи на значне скорочення виробництва вугілля. Це було пов'язано із залежністю країни від газу, який забезпечив 43% її електроенергії у 2024 році (1865 ТВт·год). Це більш ніж удвічі перевищує виробництво газу всіма іншими членами G7 разом узятими.

Китай

Попит на електроенергію в Китаї продовжував зростати – на 6,6% у 2024 році, що менше на 6,9%, порівняно із 2023 роком.

Підвищення температури повітря у 2024 році сприяло значно вищому попиту на охолодження влітку, а в січні та лютому спостерігалось відновлення промислового

попиту з нижчих рівнів у 2023 році, оскільки останні обмеження, пов'язані з Covid-19, були зняті на початку 2023 року.

81% зростання попиту було задоволено за рахунок зростання чистої генерації – зросло виробництво енергії вітру, сонця, гідроенергетики, атомної енергії та біоенергетики. Вітрова та сонячна генерація разом задовольнили понад половину зростання попиту на електроенергію.

Найбільшою зміною у виробництві електроенергії в Китаї, порівняно з 2023 роком, стало продовження зростання сонячної енергетики. Виробництво зросло на 43% у 2024 році. Також слід зазначити відновлення виробництва гідроенергії, яке зросло на 11%.

У 2024 році зростання сонячної енергетики в Китаї становило 53% від загального світового зростання сонячної енергетики, тоді як зростання вітрової енергетики в Китаї на 106 ТВт·год становило 58% від загальносвітового показника.

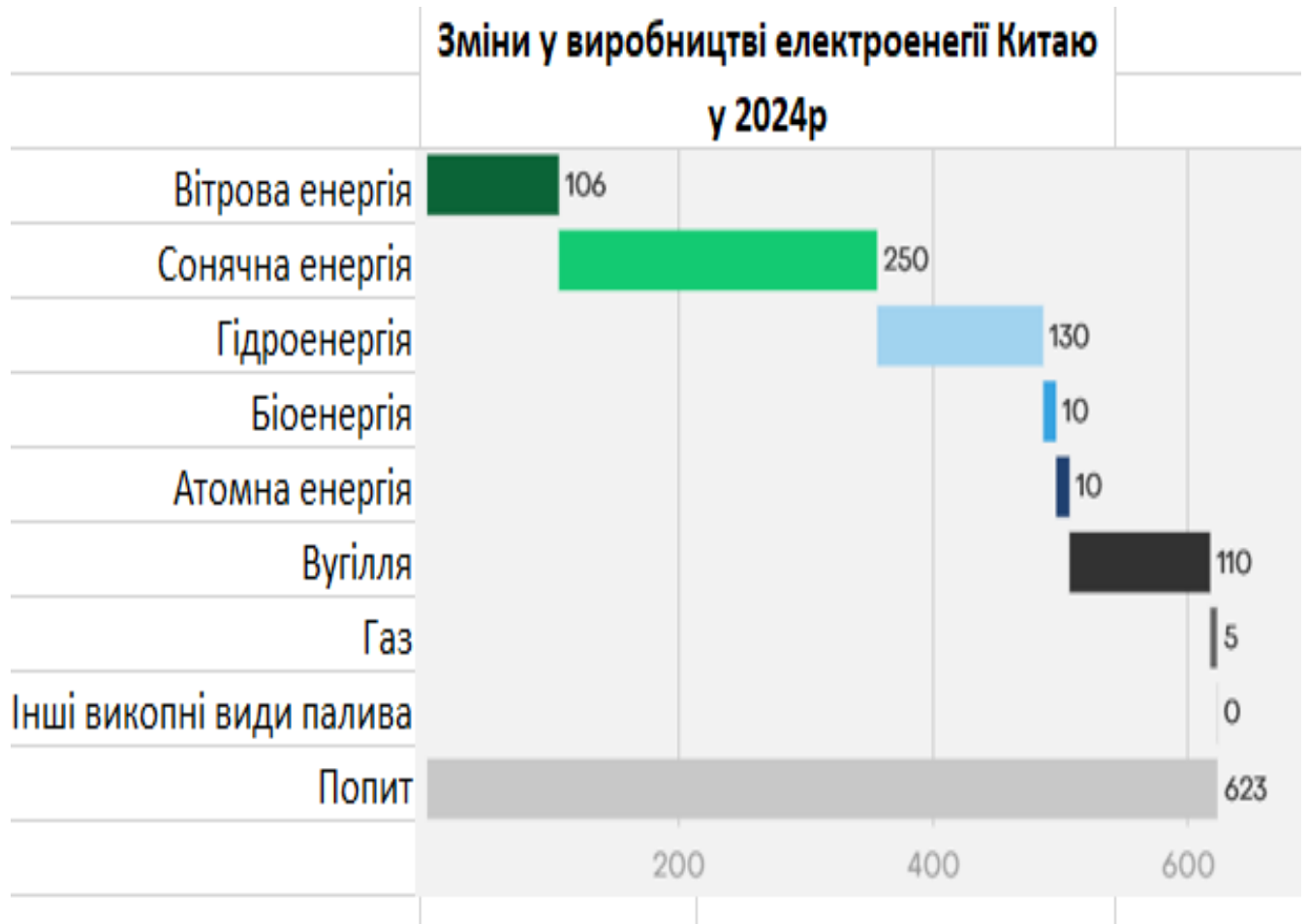


Рисунок 2.4 – Зміни у виробництві електроенергії Китаю у 2024р. [27]

У період за 2000-2024 рр. попит на електроенергію в Китаї зріс у сім разів. Лише 30% зростання попиту з 2000 по 2015 рік було задоволено за рахунок зростання чистої електроенергії (і 70% з викопних джерел). Але з 2015 року понад половина (53%) була задоволена за рахунок чистої електроенергії (і 47% з викопних джерел). Виробництво енергії вітру та сонця потроїлося за останні п'ять років, з 629 ТВт·год у 2019 році до 1826 ТВт·год у 2024 році

Незважаючи на зростання сонячної та вітрової енергетики, Китай у 2024 році виробляв 62% електроенергії з викопного палива, що робить його найбільшим джерелом викидів парникових газів в енергетичному секторі у світі.

Загальний обсяг викидів в енергетичному секторі зріс на 2,2% до 5640 млн тонн CO₂ у 2024 році.

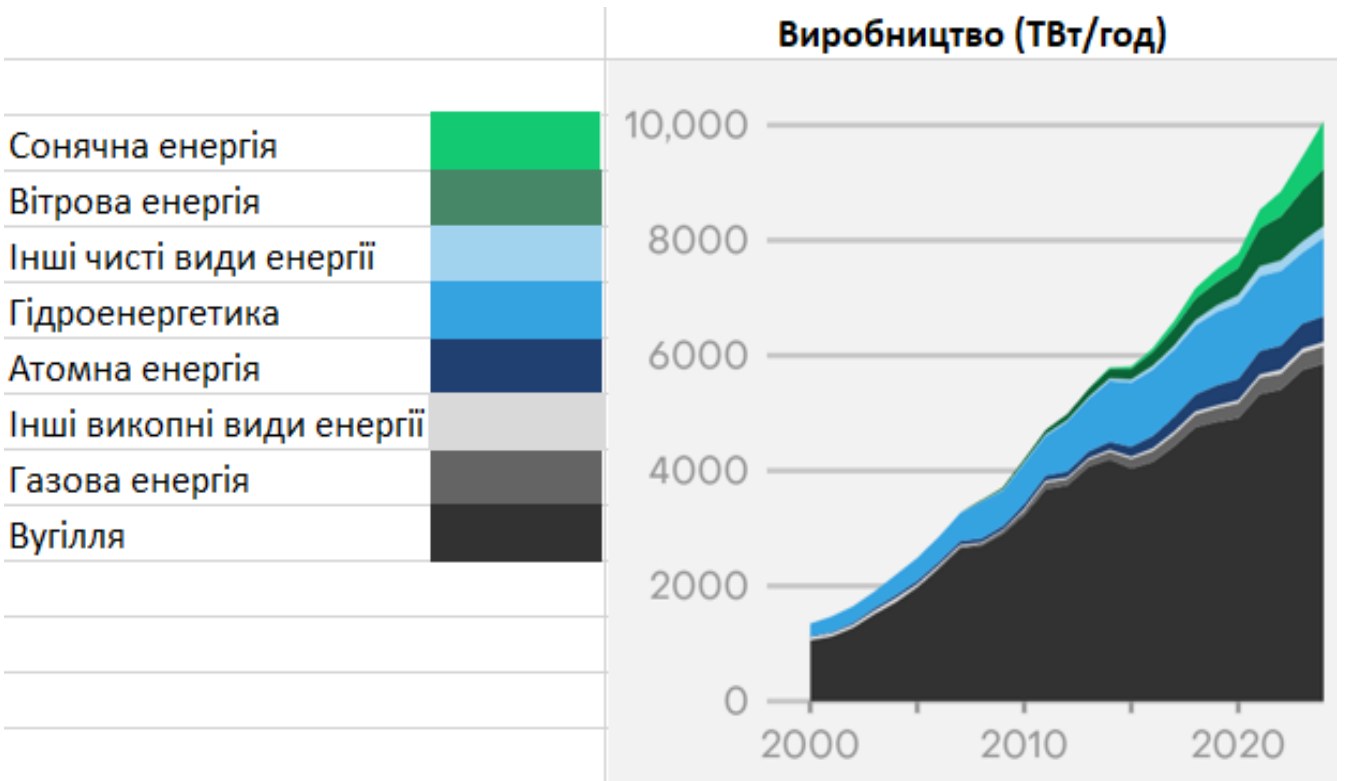


Рисунок 2.5 – Динаміка виробництва електроенергії у Китаї [27]

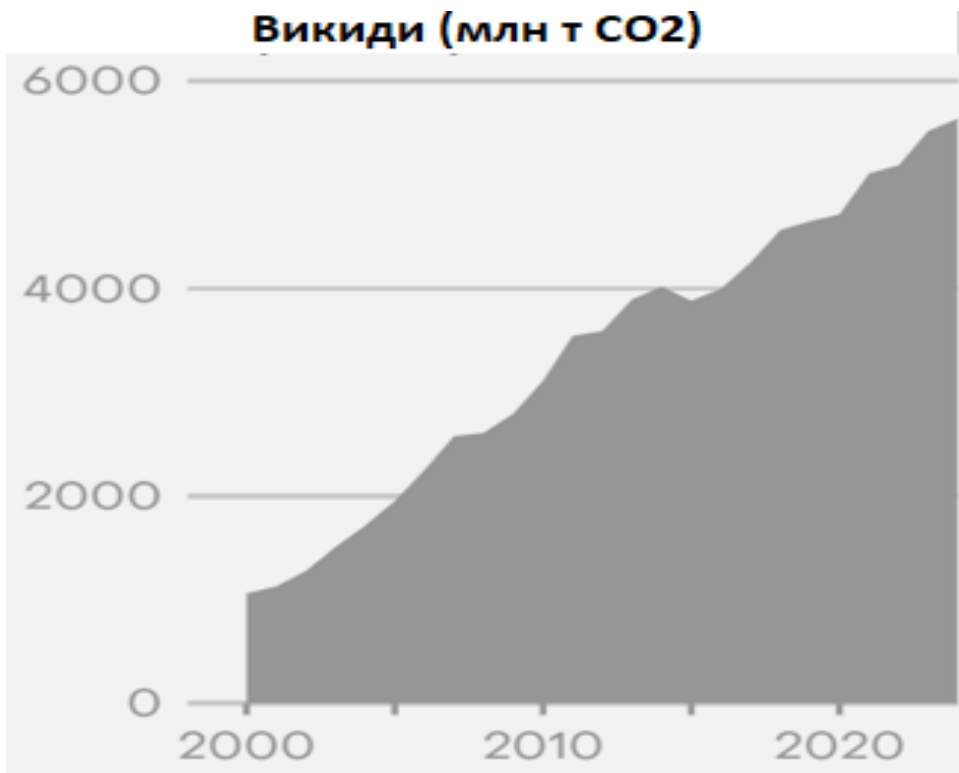


Рисунок 2.6 – Динаміка викидів CO₂ у Китаї [27]

Китай відіграє надзвичайно важливу роль у світовому переході на електроенергетику. Він володіє понад половиною світових встановлених потужностей вугільних електростанцій, і водночас є фундаментальним для понад 80% світової індустрії виробництва сонячної енергії.

Китай домінує у світовому зростанні вітрової та сонячної енергетики, на який припадає 54% у 2024 році, а також у світовому зростанні вугільної енергетики, на яку припадає 74%.

У 2024 році чиста енергетика становила 38% від загального обсягу електроенергетики, що трохи нижче за середній світовий показник у 41%. Гідроенергетика була найбільшим джерелом чистої енергії з часткою 13,5%.

Частка вітрової та сонячної енергетики Китаю досягла нового рекордного рівня в +18% (1826 ТВт·год), залишаючись вищою за середньосвітовий показник у 15% та вперше випередивши США.

Частка чистої енергетики Китаю, а також частка вітрової та сонячної енергетики залишаються вищими за середню частку чистої енергетики та частку вітрової та сонячної енергетики в Азії.

Частка вугілля Китаю у 58% (5864 ТВт·год) залишається трохи вищою за середній показник по регіону в 54% та значно вищою за середній показник по світу в 34%. У 2024 році Китай відповідав за 55% світового виробництва вугілля.

Європейський Союз

У 2024 році сонячна енергетика була найшвидше зростаючим джерелом енергії в Європейському Союзі, зі збільшенням на 21% порівняно з 2023 роком. Це зростання становило 11% від світового збільшення виробництва сонячної енергії.

Виробництво енергії вітру зросло на 8 ТВт·год у річному обсязі у 2024 році. Хоча збільшення потужностей продовжувалося, вітрові умови були менш сприятливими, ніж у 2023 році, що призвело до нижчого, ніж очікувалося, обсягу виробництва.

Виробництво електроенергії на гідроенергетиці та атомній енергії зросло на 9,6% та 4,6% відповідно, завдяки сприятливим опадам у більшій частині Європи, тоді як виробництво електроенергії на атомній енергетиці зросло через скороченню простоїв у Франції.

Виробництво електроенергії з викопного газу скорочується п'ятий рік поспіль -5,6%. Виробництво вугілля в ЄС скоротилося на 16%, продовжуючи падіння другий рік поспіль.

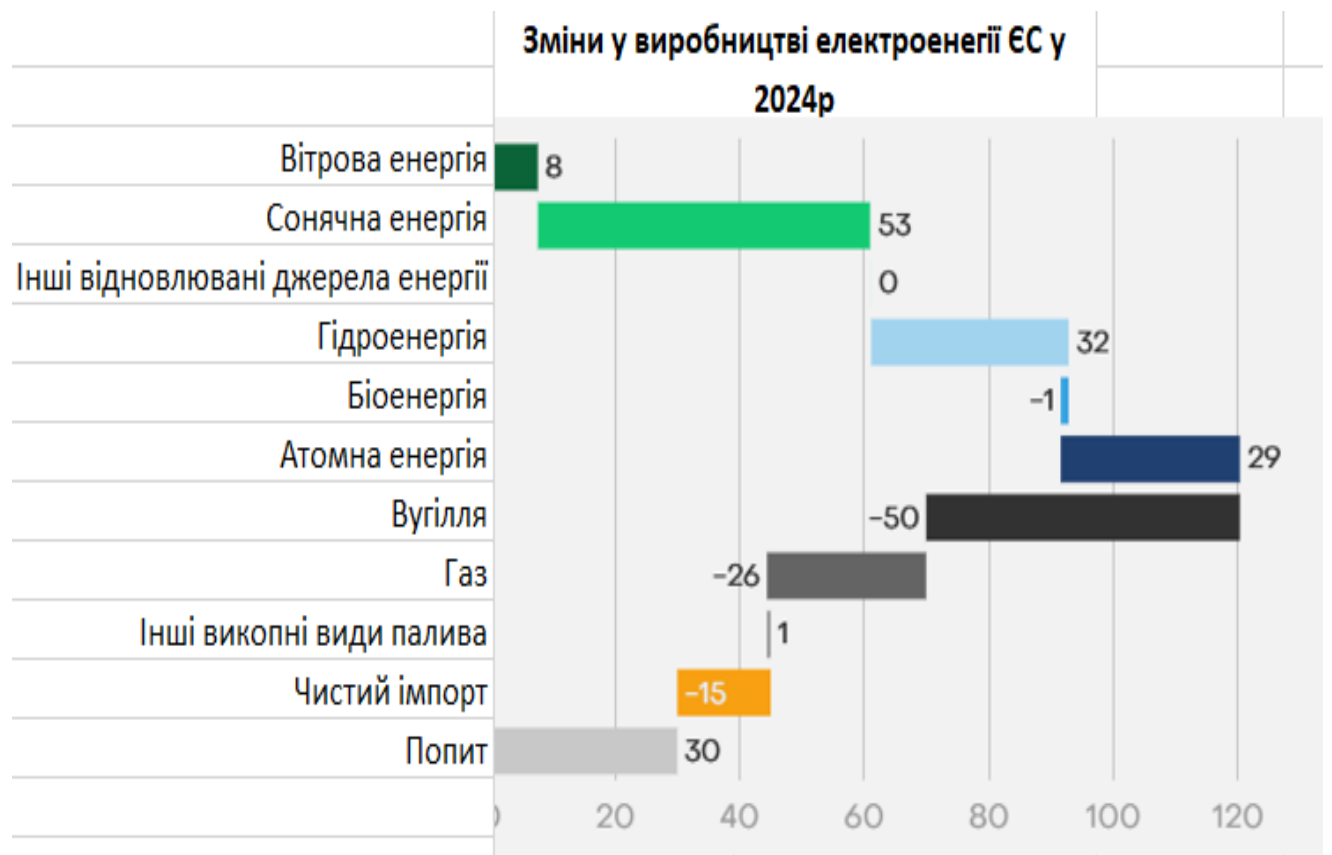


Рисунок 2.7 – Зміни у виробництві електроенергії ЄС у 2024р. [27]

ЄС довів, що глибока трансформація енергетичного сектору є досяжною та корисною. У 2024 році викиди в енергетичному секторі ЄС скоротилися до 585 мільйонів тонн CO₂ (MtCO₂).

За останні п'ять років виробництво вугілля скоротилося на 40%, причому Австрія, Швеція та Португалія повністю відмовилися від нього, тоді як країни з великим вугільним парком, такі як Німеччина, зазнали значного закриття електростанцій. Водночас виробництво газу зменшувалося протягом кожного з останніх п'яти років і у 2024 році було на 24% менше, ніж у 2019 році.

Скорочення виробництва газу посилило енергетичну безпеку блоку на тлі вторгнення Росії в Україну та волатильності цін на газ, що спостерігалася протягом останніх трьох років. Виробництво викопного палива в ЄС зараз знаходиться на найнижчому рівні за понад сорок років (793 ТВт·год).

Ключовою рушійною силою цього стало значне зростання виробництва енергії вітру та сонця. Частка вітру та сонця в енергетичному балансі ЄС зросла з 17% у 2019 році до 29% у 2024 році, при цьому виробництво енергії вітру зросло на 31%, а виробництво енергії сонця – на 143%.

Потужність гідроенергетики залишалася незмінною протягом останніх п'яти років, причому зміни у виробництві були зумовлені переважно погодними умовами. Тим часом потужність атомної енергії зменшилася зі 110 ГВт до 96 ГВт, хоча найбільші зміни у виробництві відбулися через перебої в роботі та технічне обслуговування.

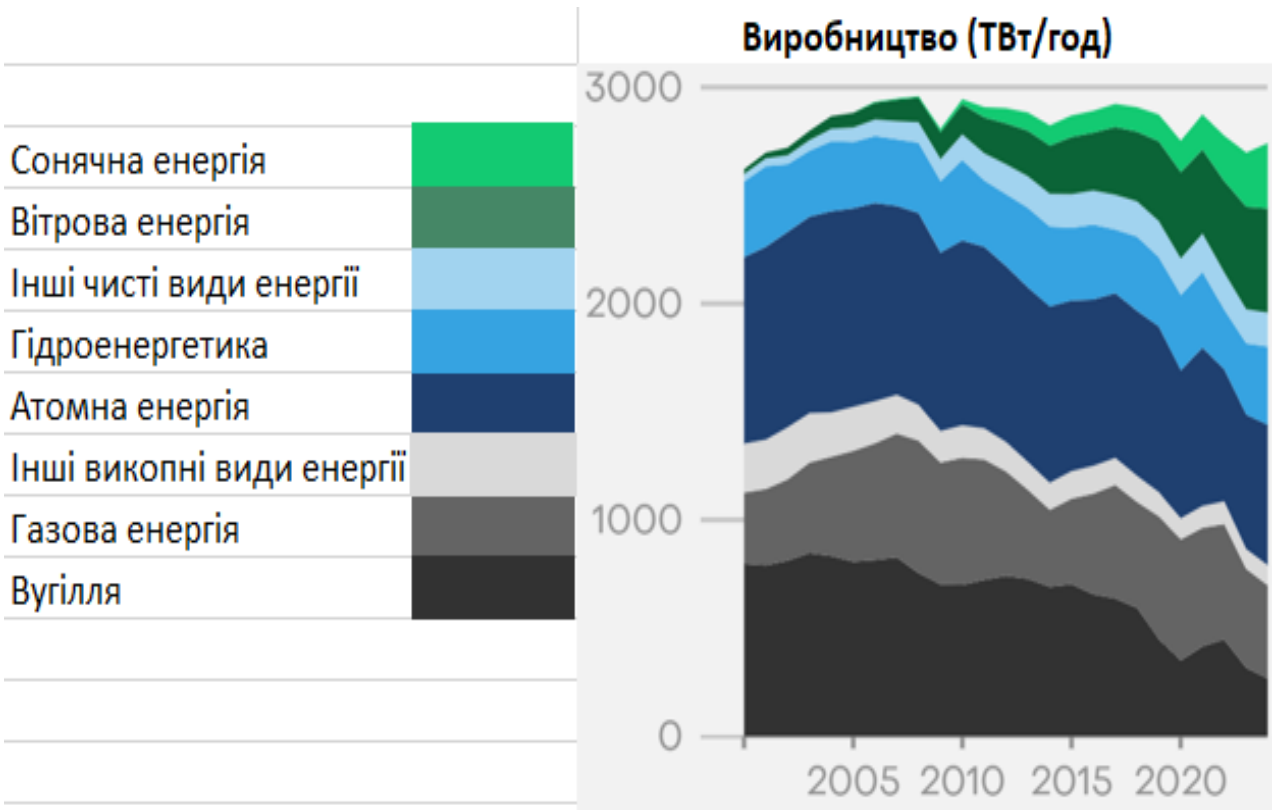


Рисунок 2.8 – Динаміка виробництва електроенергії у ЄС [27]

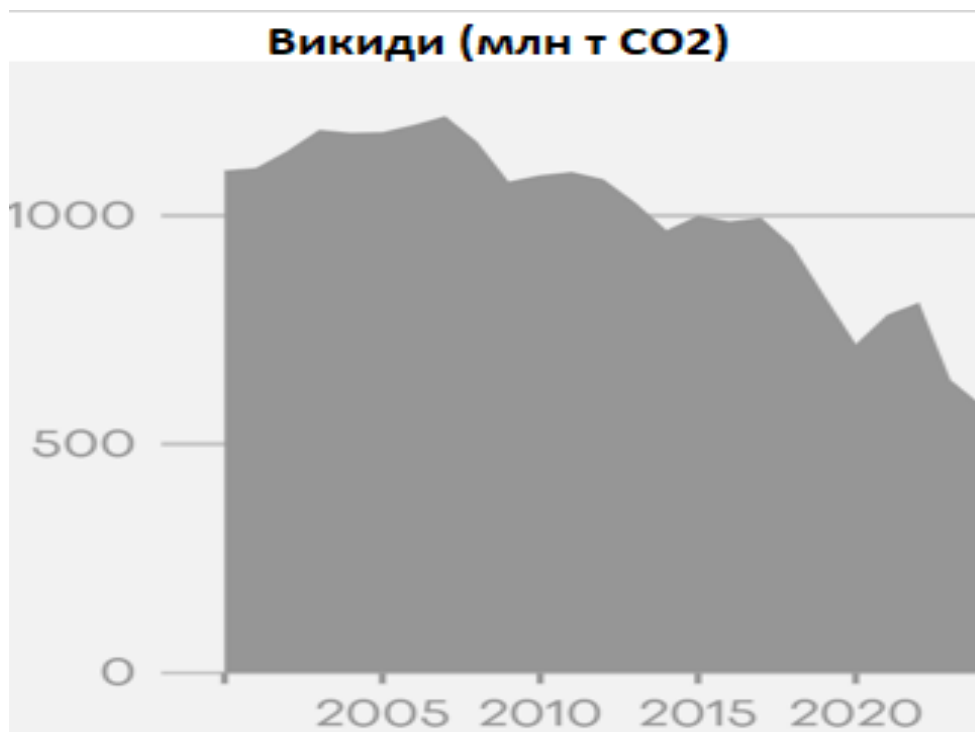


Рисунок 2.9 – Динаміка викидів CO₂ у ЄС [27]

В результаті трансформації енергетичного сектору ЄС закріпив свої позиції світового лідера в галузі чистої енергетики, демонструючи можливість інтеграції високої частки змінних відновлюваних джерел енергії. 71% електроенергії регіону надходило з чистих джерел у 2024 році, що значно вище середньосвітового показника в 41%.

Два найбільші джерела генерації в ЄС – ядерна та вітрова – є низьковуглецевими, а газ та вугілля посідають третє та шосте місця відповідно.

ЄС отримував 18% своєї електроенергії з енергії вітру, що більш ніж удвічі перевищує середній світовий показник. Сонячна енергетика забезпечила 11% виробництва електроенергії в ЄС у 2024 році, вперше перевищивши вугілля. З 15 країн з найбільшою часткою сонячної енергії у 2024 році - сім були державами-членами ЄС.

Викопне паливо забезпечувало 29% електроенергії ЄС, що вдвічі менше від середньосвітового показника в 59%. Основна відмінність полягала в значно меншій частці виробництва вугілля. Виробництво вугілля впало до менш ніж 10% від загального виробництва електроенергії ЄС порівняно із середньосвітовим показником 34%.

Вуглецеємність виробництва електроенергії в ЄС у 2024 році становила 213 гCO₂ на кВт·год, що менше половини середньосвітового показника (473 гCO₂/кВт·год).

Потреба в електроенергії на душу населення в ЄС становила 6,1 МВт·год, що на 60% вище за середній світовий показник і вдвічі менше, ніж у Сполучених Штатах.

Низька інтенсивність викидів CO₂ та попит на душу населення означали, що викиди CO₂ на душу населення в енергетичному секторі ЄС становили 1,3 тонни CO₂ (тCO₂), що на 28% менше за середньосвітовий показник у 1,8 тCO₂ та приблизно втричі менше, ніж у Китаї та Сполучених Штатах.

2.3 Порівняльний аналіз інвестиційних потоків у відновлювану енергетику у США, Китаї та ЄС

Інвестиційні потоки є одним із ключових індикаторів та рушійною силою глобального енергетичного переходу, визначаючи швидкість впровадження відновлюваних джерел енергії та їх конкурентоспроможність, тож проведемо порівняльний аналіз інвестиційних потоків у США, Китаї та ЄС.

США

Інвестиції в енергетику в Сполучених Штатах відображають пріоритетність енергетичної безпеки, з подальшим стратегічним прагненням встановити присутність у нових ланцюгах створення вартості та постачати продукцію на міжнародні ринки.

З моменту, як країна стала чистим експортером енергії у 2019 році, що стало вражаючим поворотом у порівнянні з її високою попередньою залежністю від імпорту, вона продовжує розширювати свою роль у світовій енергетиці. У 2024 році вона була найбільшим у світі виробником нафти та газу (20% світового виробництва), а також великим інвестором (25% загальних інвестицій).

Між 2015 і 2024 роками частка щорічних інвестицій в енергетику, що спрямовується на постачання викопного палива та виробництво електроенергії на основі викопного палива, знизилася з 60% до трохи менше 40%.

Тим часом інвестиції в чисту енергетику швидко зростали завдяки політиці та більш конкурентоспроможним цінам. Ці фактори стимулювали нові інвестиції у виробництво, які досягли 60 мільярдів доларів США у 2024 році, і були додатково підтримані ініціативами, спрямованими на підвищення внутрішньої конкурентоспроможності та залучення прямих іноземних інвестицій.

На Сполучені Штати зараз припадає 8% світового виробництва літій-іонних акумуляторів, а у 2024 році виробничі потужності сонячних фотоелектричних модулів майже потроїлися до 42 ГВт.

Із розвитком штучного інтелекту та подальшими інвестиціями в центри обробки даних, компанії поспішають знайти джерела чистої електроенергії. Це призвело до сплеску на ринку корпоративних угод про купівлю електроенергії (PPA) у США, де технологічні компанії та компанії, що займаються ЦОД, відповідають за закупівлю 86 ГВт потужностей відновлюваної енергії з 2015 року.

Це також створило попит на енергетичні технології наступного покоління, такі як малі модульні реактори (ММР) та передові геотермальні електростанції, досягнувши угод відповідно на 26 ГВт (переважно ММР) та 265 МВт станом на 4 квартал 2024 року. Це стало можливим завдяки глибоким фінансовим ринкам та вітчизняній екосистемі венчурного капіталу, які допомогли стимулювати зростання розробників нових технологій на ранніх стадіях.

Враховуючи свою довгу історію в ядерній енергетиці, а також перетік технологій та робочої сили з нафтогазового сектору, США можуть стати лідером у цих технологіях, а ЦОД створять внутрішній ринок для інновацій та комерціалізації.

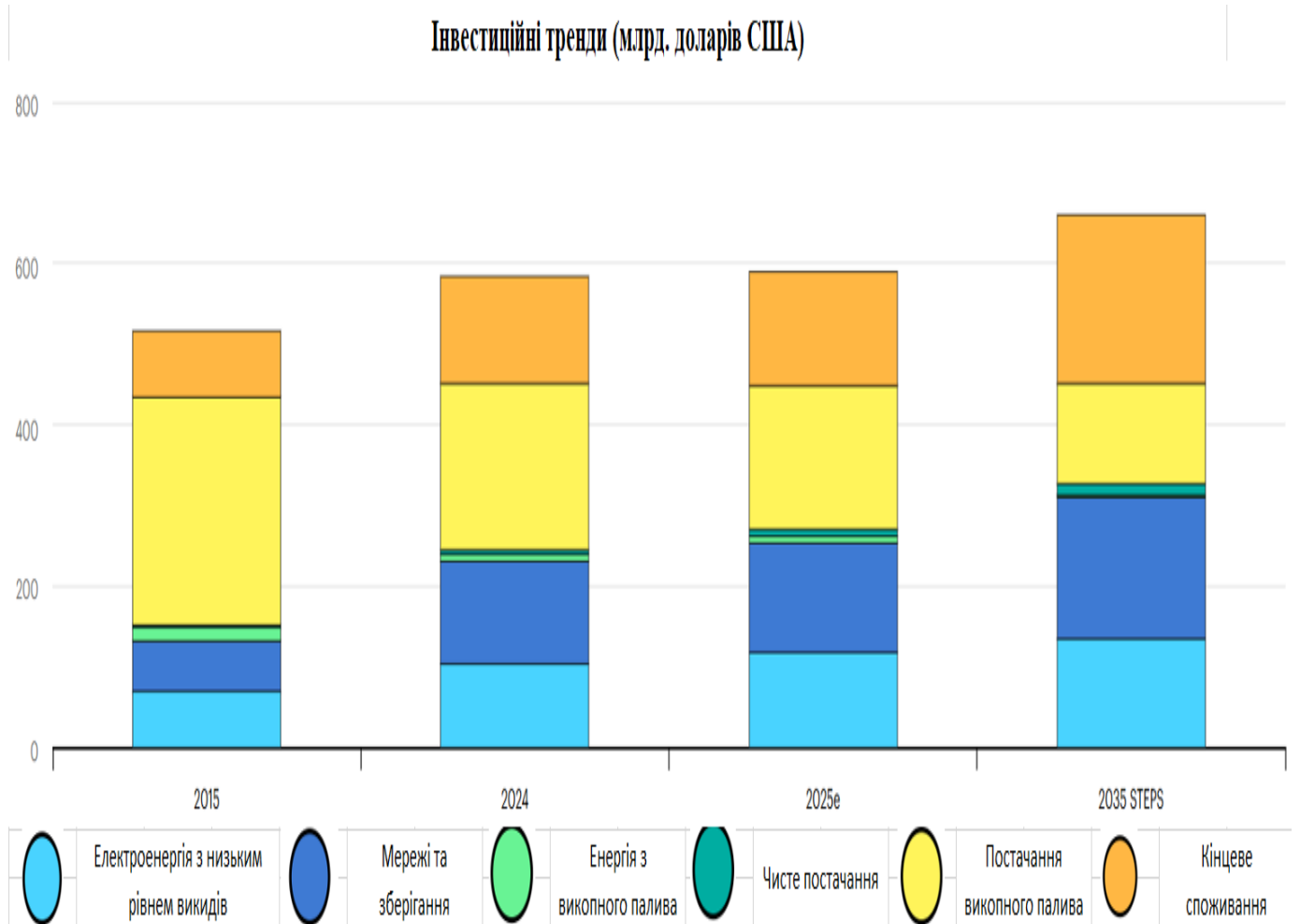


Рисунок 2.11 – Динаміка та прогноз інвестицій у галузь ВДЕ у США [40]

Китай

За десять років з моменту підписання Паризької угоди та п'ять років з моменту оголошення подвійних цілей щодо викидів вуглецю, Китай демонстрував стрімке зростання інвестицій у чисту енергетику, особливо у відновлювані джерела енергії.

У 2024 році інвестиції Китаю в чисту енергетику склали понад 625 мільярдів доларів США, що майже вдвічі більше, ніж у 2015 році. Китай також досяг своєї цілі щодо потужностей вітрової та сонячної енергетики на 2030 рік у 2024 році, на шість років раніше запланованого терміну.

Хоч і встановлення відновлюваних джерел енергії має продовжуватися, очікується, що зростання інвестицій сповільниться у 2025 році, а у випадку сонячної енергії навіть дещо знизиться.

Змінні макроекономічні пріоритети Китаю вже давно формують його підхід до інвестицій в енергетику. Не зважаючи на те, що Китай досяг своєї цільової позначки зростання ВВП на 5% у 2024 році, економіка зіткнулася зі зростаючим тиском через слабе внутрішнє споживання, дефляційні ризики та поглиблення кризи на ринку нерухомості.

На цьому тлі енергетична безпека та надійність стали ще більш критично важливими. Після років розширення постачання енергії, увага змістилася на забезпечення ефективного та стабільного використання цих потужностей для задоволення нового та мінливого попиту, одночасно підтримуючи конкурентоспроможність промисловості.

Ці пріоритети матеріалізувалися у двох основних інвестиційних тенденціях. По-перше, це значний поштовх до розвитку мережевої, накопичувальної та інтелектуальної інфраструктури, що видно з інвестицій у передачу та розподіл у розмірі 88 мільярдів доларів США у 2025 році.

Сплески промислового попиту виявили слабкі місця в китайській мережі, тоді як швидке розгортання відновлюваних джерел енергії випереджає розширення мережі, що призводить до вищих показників скорочення виробництва та неефективної передачі енергії до районів з високим попитом на енергію на сході.

По-друге, це подальше розширення вугільної промисловості, інвестиції в які, як очікується, перевищать 54 мільярди доларів США у 2025 році. Хоча вугільна генерація може слугувати додатковою резервною відновлюваною енергетикою, масштаби інвестицій вказують на більшу залежність від теплової енергії, зумовлену постійними занепокоєннями щодо безпеки електропостачання.

Інвестиції Китаю в енергетику традиційно здійснювалися переважно державними підприємствами та характеризувалися великомасштабними

інфраструктурними проектами, що підтримувалися державним фінансуванням. Однак ситуація починає змінюватися.

У рамках своєї стратегії, що розвивається, Китай чітко заохочує залучення приватних підприємств в енергетичний сектор за межі експортно-орієнтованого виробництва чистої енергії до сфер, що мають більш стратегічне внутрішнє значення, таких як атомна енергетика, нові системи зберігання енергії та навіть видобуток нафти і газу, а також гірничодобувна промисловість.

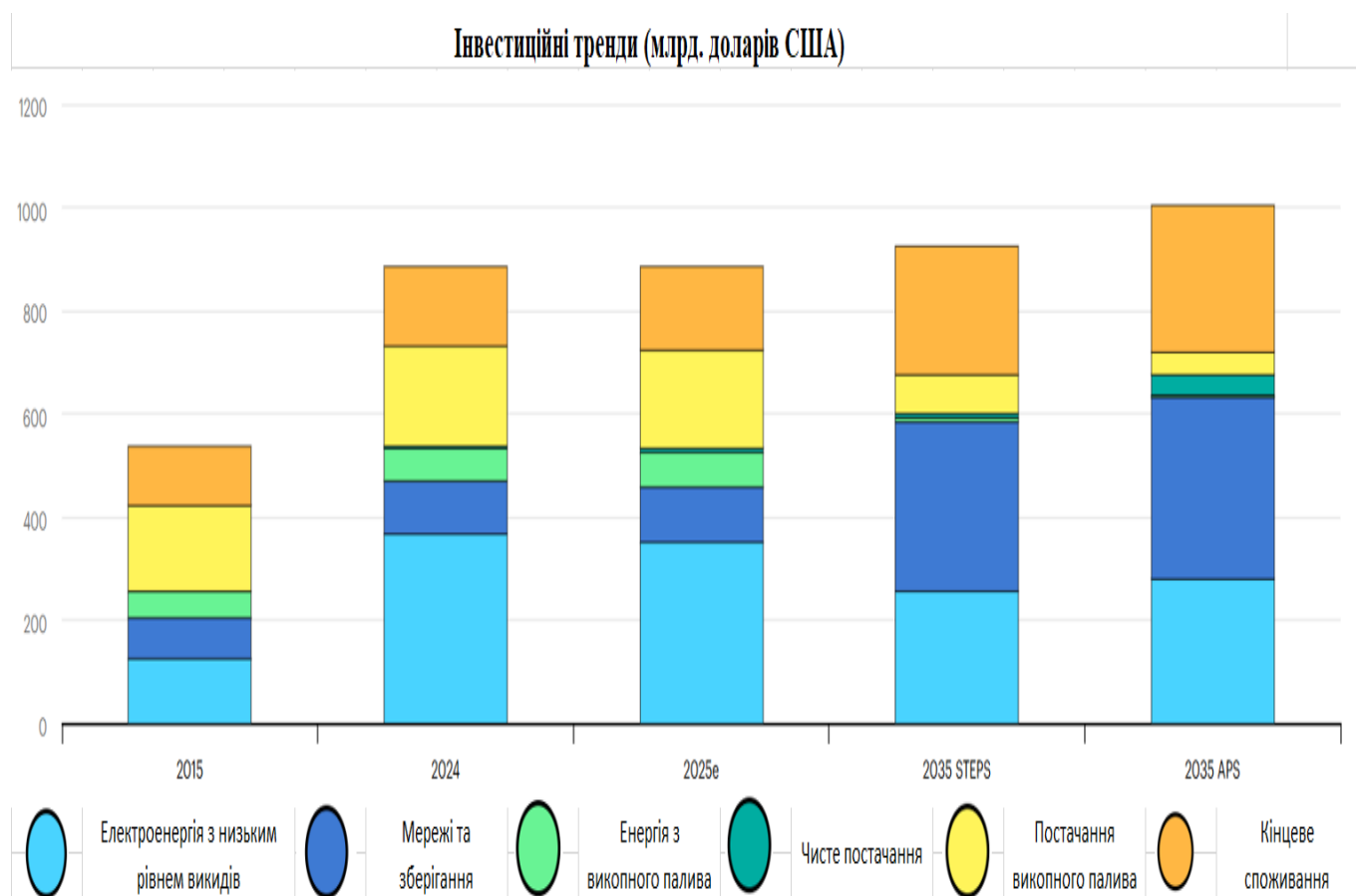


Рисунок 2.10 – Динаміка та прогноз інвестицій у галузь ВДЕ у Китаї [40]

Європейський Союз

Протягом останнього десятиліття Європейський Союз посилив свою відданість чистій енергетиці, а інвестиції у 2025 році досягли майже 390 мільярдів доларів США.

Інвестиції в електроенергію з низьким рівнем викидів були обумовлені світовою енергетичною кризою, яка настала після повномасштабного вторгнення Росії в Україну у 2022 році, подальшими сприятливими політичними стимулами та зниженням вартості технологій відновлюваної енергетики.

У 2024 році відновлювані джерела енергії виробляли 50% електроенергії, що споживається в ЄС, тоді як викопне паливо становило трохи більше 25% (майже вдвічі менше, ніж їх частка десять років тому), що довело співвідношення інвестицій у виробництво енергії з відновлюваних джерел до електроенергії з викопного палива без обмежень до 35:1 порівняно з 6:1 десять років тому.

Крім того, інвестиції в енергоефективність будівель за останнє десятиліття майже подвоїлися до 100 мільярдів доларів США, і регіон є лідером у випуску сталого боргу для «зелених» будівель.

Російське вторгнення в Україну у 2022 році різко скоротило експорт російського газу до Європейського Союзу, що призвело до кризи поставок та підняття ціни до рекордно високого рівня. Окрім посилення підтримки відновлюваних джерел енергії та енергоефективності, країни ЄС також диверсифікували постачання газу, зокрема, збільшивши імпорт СПГ зі Сполучених Штатів.

Інвестиції в мережеву інфраструктуру стають дедалі важливішими, оскільки модернізація мереж повинна йти в ногу зі швидким розширенням виробництва електроенергії з низьким рівнем викидів. Щорічні витрати на мережі, як очікується, перевищать 70 мільярдів доларів США у 2025 році, що вдвічі перевищує суму, витрачену десять років тому.

Однак інвестиції ще не відповідають темпам впровадження чистої енергетики, що призводить до неефективності, такої як довгі черги на підключення та труднощі з передачею дешевої відновлюваної електроенергії з південних частин Європейського Союзу до районів з високим попитом.

Ці проблеми посилюються обмеженнями в ланцюжку поставок, оскільки ціни на компоненти в ЄС зросли більш ніж удвічі за останнє десятиліття. Крім того, у торгівлі трансформаторами домінує Китай, на який припадає 60% імпорту ЄС.

Європейський Союз також стикається з викликом глибокої інтеграції ринку. Незважаючи на значні інвестиції в технології з низьким рівнем викидів, середні ціни на енергоносії в Європі вищі, ніж в інших великих економіках.

Енергетичний ринок ЄС також зазнав помітних розбіжностей у спотових цінах між державами-членами. Зі зростанням ринкових цін ЄС у 2024 році, Іспанія зазнала майже нульових і навіть негативних спотових цін, що призвело до скорочення відновлюваних джерел енергії.

Ці коливання значною мірою пояснюються швидким розширенням без відповідної модернізації інфраструктури зберігання та мережевої інфраструктури.

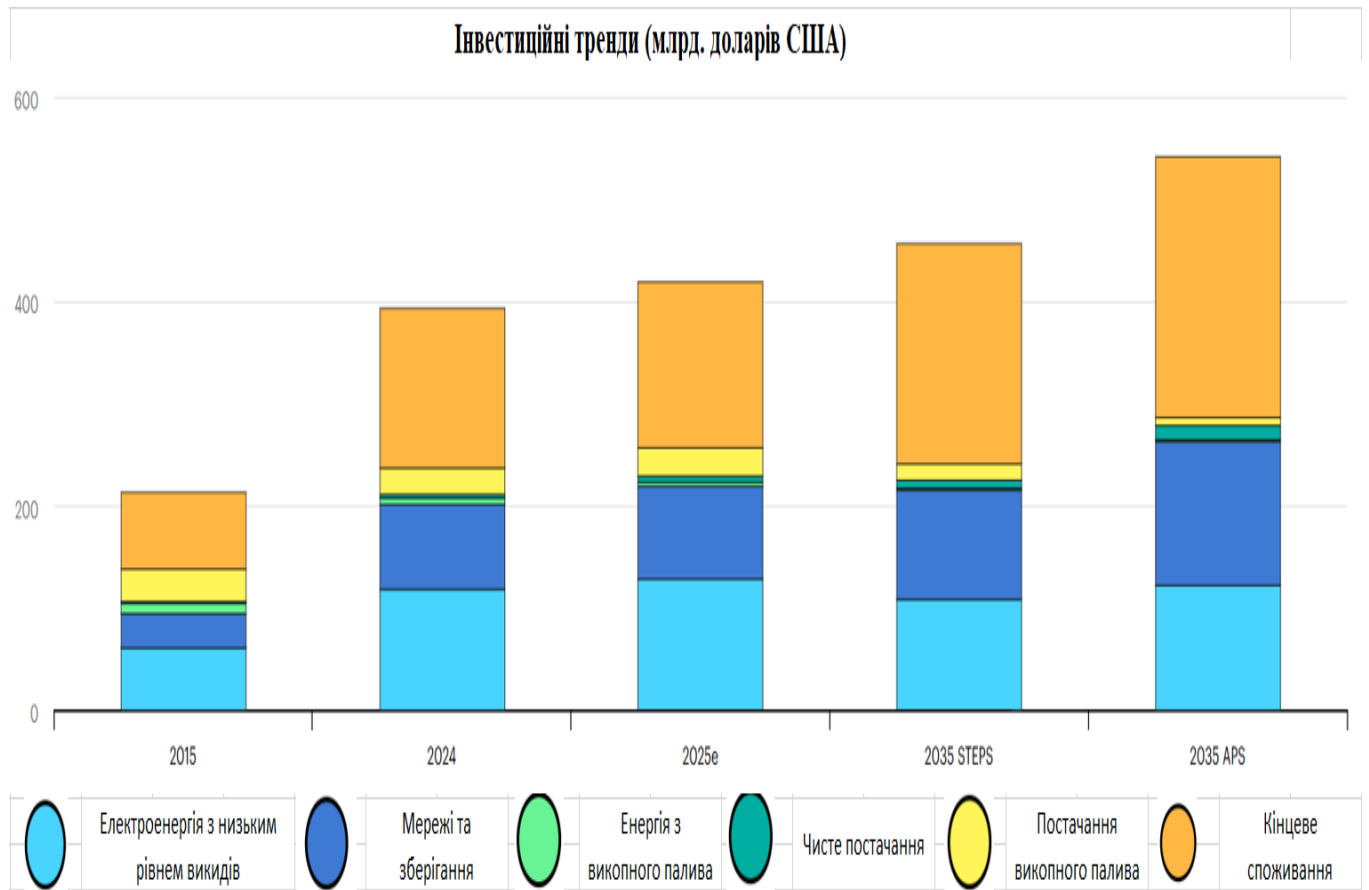


Рисунок 2.12 – Динаміка та прогноз інвестицій у галузь ВДЕ у ЄС [40]

Отже, порівняльний аналіз інвестиційних потоків висвітлює, що конкуренція у сфері ВДЕ перетворилася на ключовий елемент глобальної геоекономічної боротьби. Тоді як Китай зберігає лідерство завдяки масштабному державному плануванню та контролю за ланцюжками постачання, США та ЄС активно нарощують інвестиції, використовуючи механізми податкових пільг та субсидій для відновлення технологічного суверенітету.

РОЗДІЛ 3

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСУ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

3.1 Відбір показників для побудови економіко-математичних моделей та прогнозування

У межах даного дослідження інформаційно-статистичною основою виступає міжнародний набір даних Global Renewable Energy and Indicators Dataset, сформований і опублікований на платформі Kaggle.

Датасет являє собою консолідований масив показників, що характеризують енергетичний розвиток 150 країн світу у період 2000–2023 рр., включаючи як загальноекономічні, так і спеціалізовані енергетичні індикатори.

Структура даних охоплює як виробничо-ресурсні, так і результативно-екологічні характеристики функціонування енергетичних систем, що дозволяє здійснити комплексне моделювання трансформацій у напрямі переходу до сталого енергетичного розвитку.

Датасет базується на офіційно верифікованих джерелах, таких як International Energy Agency (IEA), World Bank, United Nations Statistical Division, Our World in Data, а також національні енергетичні звіти країн.

Така мультиджерельна компіляція дає змогу забезпечити високу достовірність і репрезентативність даних, що особливо важливо для досліджень, орієнтованих на порівняльний аналіз енергетичних моделей різних держав.

Датасет охоплює мультиваріантний часовий ряд для багатьох країн, але для аналізу, у межах своєї роботи, я сконцентрую свою увагу на дослідженні протягом періоду 2000-2023рр, обравши для кожного регіону країну репрезентант.

З огляду на потреби цього дослідження, з початкового масиву даних було сформовано вибірку релевантних змінних, які дозволяють всебічно охарактеризувати рівень залучення відновлюваних джерел енергії та оцінити інтенсивність «зеленої» енергетичної трансформації.

Загалом у фінальний масив для аналізу були включені такі групи показників:

Таблиця 3.1 – Вибірка релевантних змінних

Total Renewable Energy Production	загальний обсяг виробництва енергії з відновлюваних джерел
Hydro, Solar, Wind, Geothermal, Biomass Production	деталізація за видами генерації
Share of Renewable Energy in Total Energy Mix	частка відновлюваних джерел у загальному енергетичному балансі країни.
Final Consumption from Renewable Energy	кінцеве споживання енергії з ВДЕ
Energy Intensity	енергоємність економіки
Renewable Energy per Capita	середнє споживання відновлюваної енергії на одну особу
GDP	валовий внутрішній продукт
CO ₂ Emissions per Capita	викиди CO ₂ на душу населення
CO ₂ Reduction from Renewable Energy	оцінка впливу переходу на ВДЕ на скорочення викидів.

Джерело: складено автором

Вибір саме цих показників обумовлений їх методологічним значенням для вимірювання процесів сталого енергетичного розвитку.

Зокрема, індикатори виробництва енергії з ВДЕ дозволяють простежити кількісну динаміку розширення зеленої генерації, тоді як показники енергоефективності та споживання окреслюють якісні зрушення в енергетичній поведінці економіки та суспільства.

Соціально-економічні та екологічні показники створюють аналітичне підґрунтя для побудови моделей залежності між розвитком відновлюваної енергетики та макроекономічними й кліматичними ефектами.

Перевагою обраної статистичної бази є її міжкраїнова та міжчасова порівнюваність, що дозволяє застосувати методи панельного аналізу, багатofакторного регресійного моделювання та техніки машинного навчання для прогнозування подальшого розвитку відновлюваної енергетики.

У контексті цього дослідження буде здійснено акцент на групі країн, що демонструють різні моделі енергетичного переходу — Німеччина, США та Китай, що дає можливість зіставити європейський, американський та азійський вектори трансформації енергетичних систем.

Перед проведенням економетричного аналізу було здійснено підготовку даних, яка включала:

- нормалізацію форматів числових полів;
- усунення пропусків;
- стандартизацію одиниць вимірювання;
- логарифмування показників із високою варіативністю;
- виявлення та обробку викидів за методом Z-score та міжквартильного розмаху.

Застосовані етапи попередньої обробки забезпечили підвищення коректності результатів подальшого моделювання та зменшення ризику упередженості висновків.

Отже, сформована інформаційно-статистична база є комплексною, репрезентативною та методологічно придатною для аналізу глобальних процесів розвитку відновлюваної енергетики.

Вона дозволяє не лише побудувати загальну картину енергетичного переходу, а й виявити факторно-причинні зв'язки між розвитком ВДЕ та економічними, екологічними й соціальними наслідками.

Саме це створює аналітичну основу для моделювання траєкторій енергетичної трансформації та формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо стратегічних пріоритетів розвитку енергетичного сектору в контексті глобальних тенденцій.

3.2 Побудова економіко-математичної моделі прогнозування показників ВДЕ

Ефективне управління процесами енергетичного переходу потребує кількісної оцінки динаміки розвитку відновлювальної енергетики і побудови моделей прогнозування ключових показників.

Саме економіко-математичні методи дозволяють сформулювати науково обґрунтовані висновки щодо майбутніх тенденцій в умовах високої варіативності зовнішніх факторів та асиметрії технологічного розвитку між країнами.

У цьому розділі здійснено прогнозування обсягів щорічного виробництва ВДЕ для США, Китаю та Німеччини до 2028 року за допомогою ARIMA-моделювання.

На практичному рівні це дозволяє оцінити потенціал країн репрезентантів світових регіонів у сфері відновлюваної енергетики, визначити сценарні траєкторії

розвитку, а також сформуванати комплекс рекомендацій для зацікавлених сторін - урядів, інвесторів та міжнародних інституцій.

На рис. 3.1 відображено динаміку річного виробництва електроенергії з відновлюваних джерел у Китаї, Німеччині та США протягом 2000-2023 років.

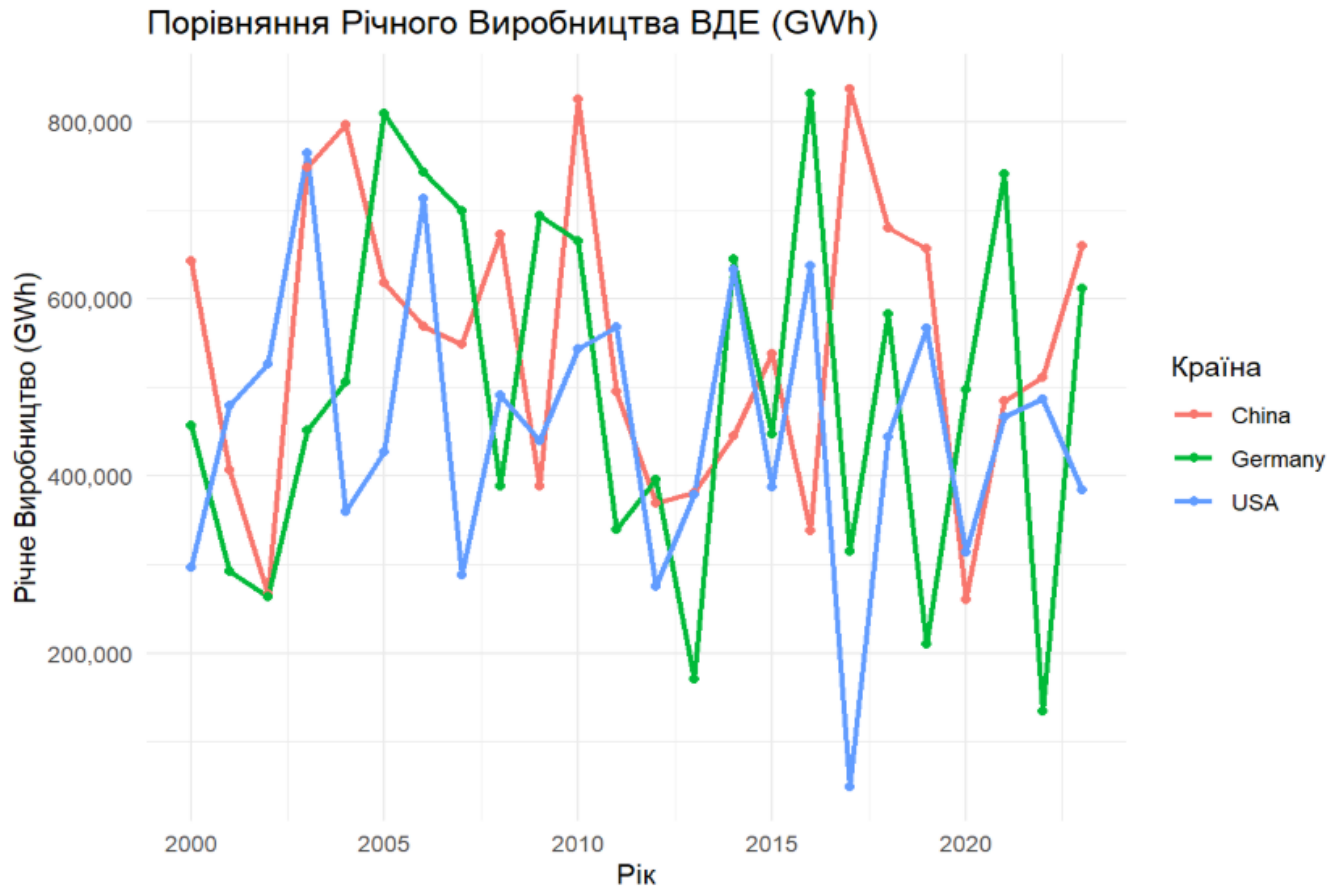


Рисунок 3.1 – Порівняльна динаміка річного виробництва ВДЕ у Китаї, Німеччині та США протягом 2000-2023 років

Джерело: розроблено автором

Проаналізуємо детальніше кожну країну окремо: Динаміка річного виробництва ВДЕ у Китаї має відносно високі значення, порівняно з Німеччиною та США, періоди зростання можна відзначити протягом 2006-2008рр., 2012-2016рр. та 2020-2023рр.

Крива має чіткі хвилеподібні коливання та відображає стабільність у довгостроковому вимірі, без системних спадів. Це може свідчити про сильну інституційну підтримку розвитку ВДЕ та стратегічне планування, так як для Китаю розвиток відновлюваної енергетики є невід'ємною частиною національної політики, а коливання можуть відображати зміну у потужностях виробництва енергії з вітрових та гідроресурсів залежно від кліматичних умов.

Крива, що відображає динаміку річного виробництва відновлюваної енергетики Німеччини, демонструє значну волатильність, точки суттєвого спаду припадають на 2012, 2018 та 2022 роки, а періоди помітного зростання – на 2003-2007рр., 2013-2015рр.

Такі характерні коливання притаманні країнам, у яких: велика частка енергії припадає на вітрові та сонячні станції, так як мають залежність від погодних умов; децентралізована енергосистема; часто змінюється регуляторна система, до прикладу, коригування тарифів, реформування програми Energiewende.

Динаміка річного виробництва США також має великі коливання, подекуди більш різкі, ніж Німеччина, різке падіння виробництва спостерігається у 2012 та 2018 роках, а піки розвитку припадають на періоди 2005-2008рр., та 2014-2016рр.

Американська енергосистема має складну структуру через те, що значна частина ВДЕ припадає на гідроенергетику, виробництво якої залежить від рівня опадів, також істотно впливають на потужності виробництва політичні рішення, тому, у результаті, США демонструє найбільшу нестабільність серед трьох країн.

Перейдемо до результатів прогнозування річного виробництва ВДЕ в Китаї. На рис. 3.2 наведено графік, що демонструє прогноз річного виробництва електроенергії з відновлюваних джерел до 2028 року на основі моделі ARIMA(0,0,0) з ненульовим середнім.

Такий тип моделі використовується у випадках, коли часовий ряд не демонструє статистично значущих трендів, сезонності або автокореляційних залежностей.

Оскільки модель не містить членів авторегресії чи ковзного середнього, динаміка ряду вважається стаціонарною навколо константного середнього рівня, тобто історичні дані не мають стійкої висхідної чи спадної тенденції, демонструють коливання навколо стабільного середнього значення та залежності від попередніх періодів.

Моделлю визначене середнє значення ряду 547 817 GWh, що і є центральною точкою прогнозу для всіх років 2024–2028. Похибка середнього становить $\approx 33\,972$, що вказує на відносно високу стабільність середньої оцінки.

Основні статистики представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Метрики оцінки якості прогнозування річного виробництва ВДЕ для Китаю

RMSE	166430.6
MAE	140458.4
MAPE	0.35412
ACF1	-0.005536141
AIC	649.18
BIC	651.54

Джерело: розроблено автором

У загальному висновку, можемо сказати, що для даного ряду не існує складніших ARIMA-комбінацій, які давали б кращу прогнозну якість.

Поглянемо графічно на результати прогнозування річного виробництва ВДЕ в Китаї.

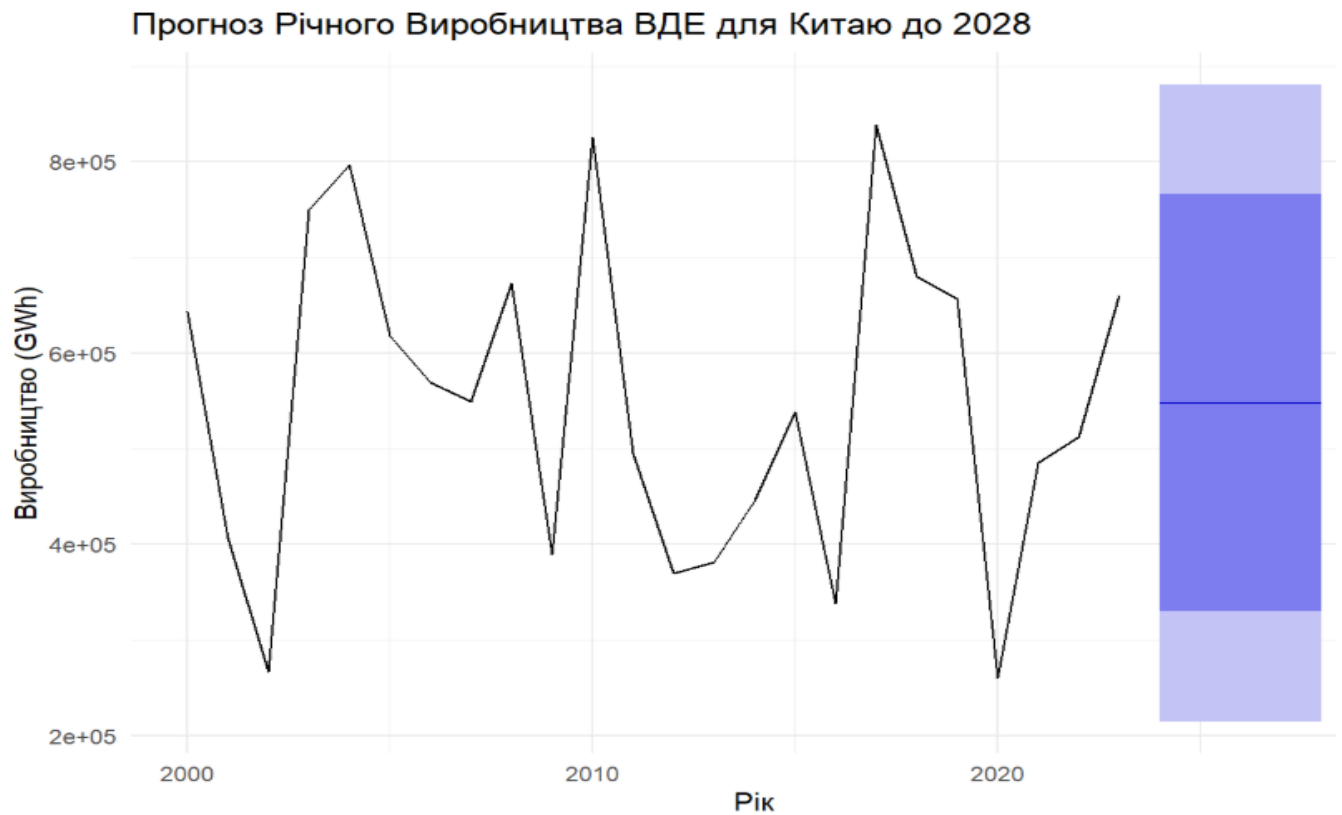


Рисунок 3.2 – Прогноз річного виробництва ВДЕ для Китаю

Джерело: розроблено автором

У лівій частині представлено історичний ряд, дані показують сильні коливання, жодного чіткого, стійкого тренду, що підтверджує правильність вибору моделі без авторегресійних та інших компонентів.

У правій частині відображено прогноз: центральна смуга — точковий прогноз, напівпрозорі смуги — 80% та 95% довірчі інтервали.

Можна зробити висновки, що прогноз вирівнюється до середнього рівня, інтервали прогнозу широкі, що означає підвищену історичну волатильність, а незмінність інтервалів за роками свідчить про стаціонарну модель.

Для проведення прогнозних розрахунків розвитку відновлюваної енергетики у Німеччині було застосовано модель $ARIMA(0,0,0)$ із ненульовим середнім значенням, яка виявилася статистично оптимальною для досліджуваного часового ряду.

Така модель фактично описує процес як стаціонарний без вираженого тренду, проте із фіксованим середнім значенням, що є характерним для рядів із високою волатильністю та відсутністю систематичних довгострокових трендових змін.

Основні статистики представлено у табл. 3.3:

Таблиця 3.3 - Метрики оцінки якості прогнозування річного виробництва ВДЕ для Німеччини

RMSE	202357.1
MAE	173351.4
MAPE	51.00025
ACF1	-0.09718784
AIC	658.56
BIC	660.92

Джерело: розроблено автором

Середнє очікуване значення виробництва ВДЕ для Німеччини, оцінене моделлю, становить $\approx 495\,826$ GWh на рік, що відображає усереднений рівень генерації, на який орієнтується прогноз.

Характеристики точності моделі підтверджують адекватність прогнозування: показник RMSE становить 202 357,1, а MAPE - 51 %, що пояснюється значною нерівномірністю вихідних даних та різкими короткостроковими коливаннями виробництва.

Отримані прогнозні значення на до 2028 року демонструють стабільні обсяги генерації на рівні 495 826 GWh, без чітко вираженого зростаючого чи спадного тренду.

Довірчі інтервали прогнозу підтверджують наявність потенційної невизначеності внаслідок високої волатильності рядового процесу: у межах 95% довірчого інтервалу виробництво може коливатися від 90 683 GWh до 900 969 GWh, що підкреслює потенціал як до різкого зростання, так і до короткострокових спадів через високу чутливість сектору до ринкових, політичних та технологічних чинників.

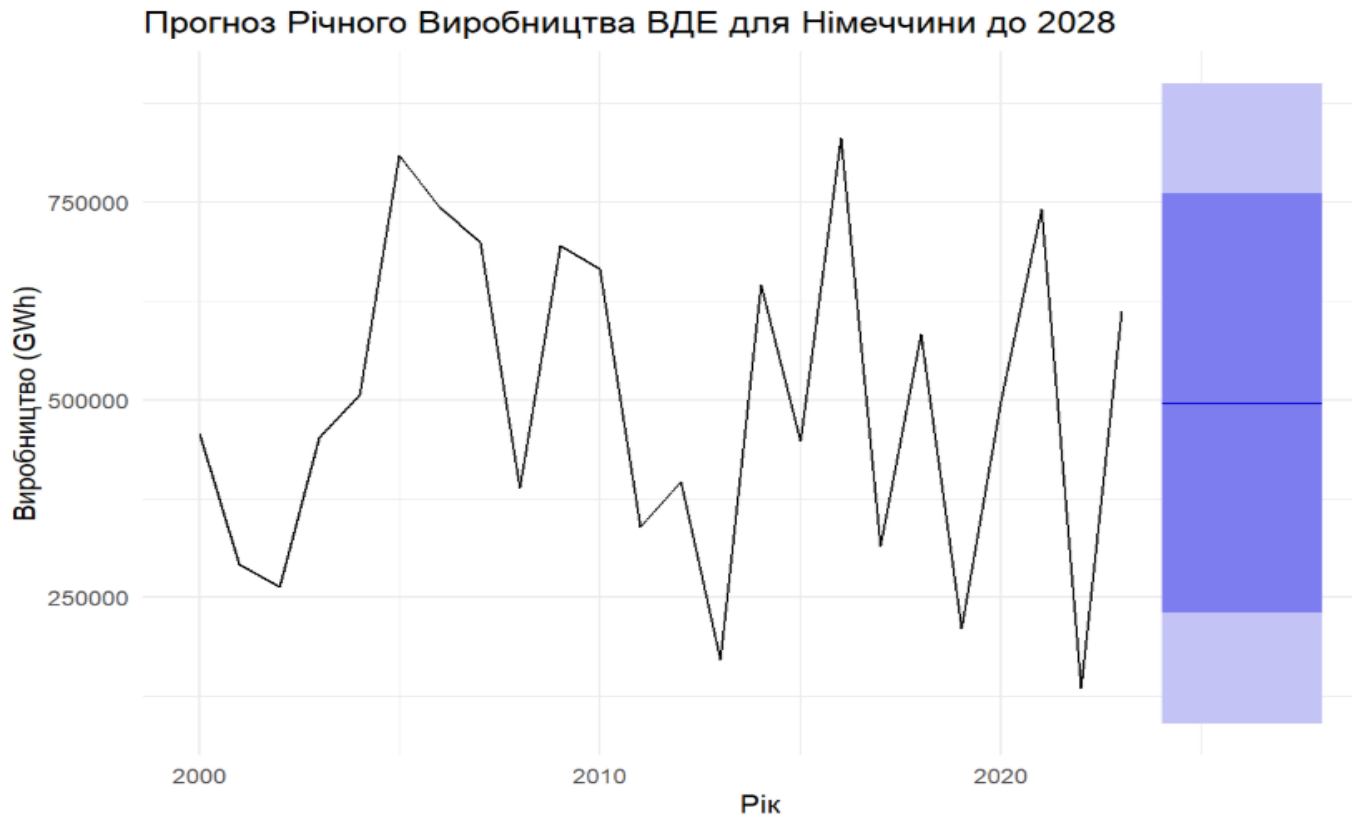


Рисунок 3.3 – Прогноз річного виробництва ВДЕ для Німеччини

Джерело: розроблено автором

Побудований прогноз наочно зображено на рис. 3.3, візуалізація підтверджує, що модель не передбачає різких структурних змін у динаміці генерації, однак зберігає широкий діапазон можливих значень, що є характерним для країн із високим рівнем інтеграції ВДЕ в енергосистему та складним виробничим профілем.

Для оцінювання майбутньої динаміки розвитку відновлюваної енергетики у США була застосована модель ARIMA(0,0,1) із ненульовим середнім.

Така специфікація передбачає вплив однієї складової ковзного середнього на динаміку ряду, що узгоджується з характером короткострокових стрибків у генерації ВДЕ у США, які можна було помітити графічно у попередньому дослідженні. Середнє очікуване значення виробництва, зафіксоване моделлю, становить $\approx 458\,762$ GWh, що відображає типове значення генерації у періоді спостережень.

Основні статистики представлено у табл. 3.4:

Таблиця 3.4 - Метрики оцінки якості прогнозування річного виробництва ВДЕ для США

RMSE	139555.8
MAE	105025.7
MAPE	47.53596
ACF1	0.001276126
AIC	642.95
BIC	646.49

Джерело: розроблено автором

Оцінка точності моделі свідчить про її прийнятну прогнозну здатність: значення RMSE становить 139 555,8, а MAPE - 47,54 %, що відображає високу варіативність ряду, властиву ринкам із гнучким механізмом розвитку відновлюваної енергетики.

Разом із тим отримані результати підтверджують, що модель коректно ідентифікує загальний середній рівень виробництва та характер короткострокових коливань.

За результатами прогнозу очікується, що обсяги виробництва ВДЕ у США не матимуть суттєвого висхідного або спадного тренду, середній прогноз становить

близько 458–492 тис. GWh, що свідчить про стабілізацію виробництва на високому рівні після періоду активного розширення потужностей.

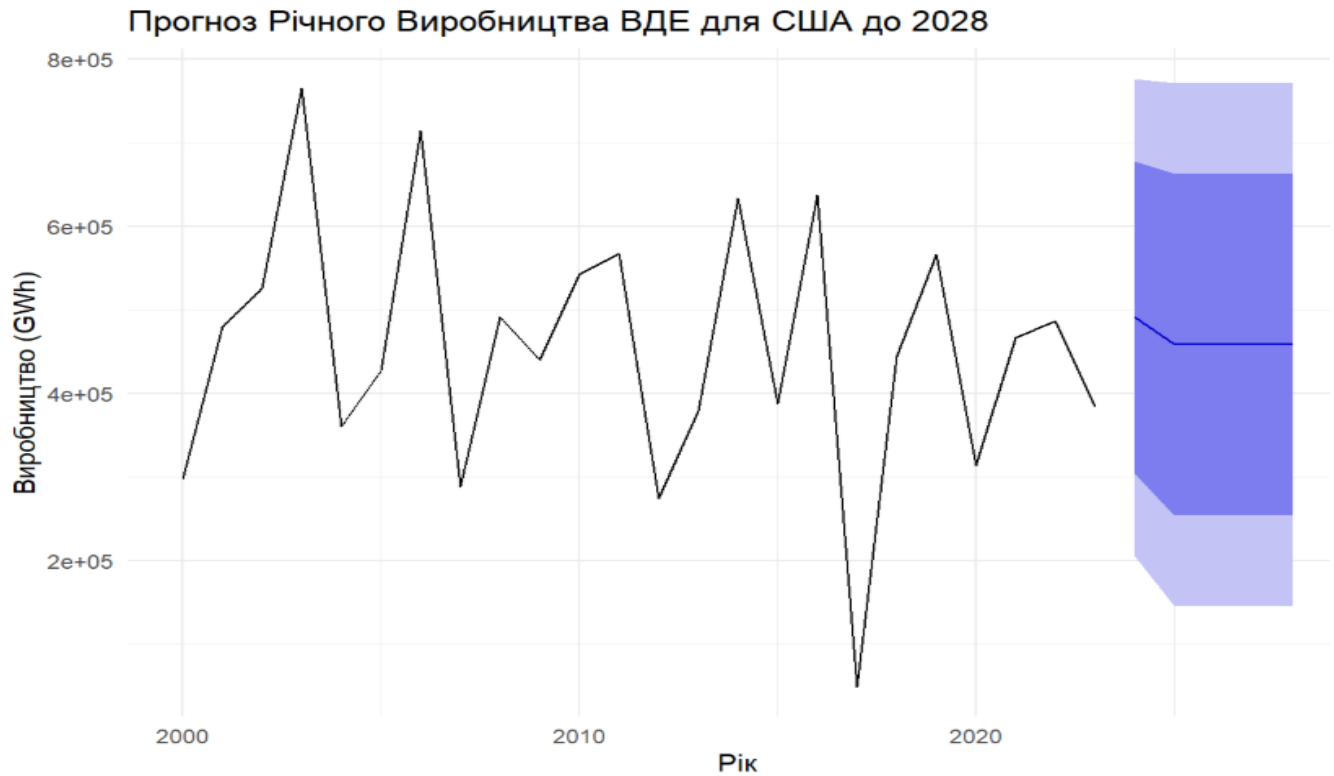


Рисунок 3.4 – Прогноз річного виробництва ВДЕ для США

Джерело: розроблено автором

Широкі довірчі інтервали прогнозу (145 575,7 – 771 947,8 GWh у межах 95 %), відображені на рис. 3.4, демонструють наявність значної невизначеності, що характерно для енергетичних систем, де розвиток ВДЕ залежить від макроекономічних умов, політичних рішень та інноваційної динаміки у секторі.

Для оцінювання взаємозв'язку між розвитком відновлюваних джерел енергії та макроекономічними факторами, було сформовано збалансовану панель даних, що охоплює три країни (Китай, Німеччина, США) у період 2000–2023 рр. як сукупність часових та країнових спостережень.

У якості залежної змінної використано показник річного виробництва електроенергії з ВДЕ, а у якості незалежних змінних - логарифм валового внутрішнього продукту ($\log(\text{GDP})$) та логарифм інвестицій у відновлювану енергетику ($\log(\text{Investments})$).

Метою регресійного аналізу було виявлення сили та напрямку впливу економічних чинників на інтенсивність генерації електроенергії з ВДЕ.

Оцінювання моделі виконано за допомогою панельної регресії типу *pooling model*, яка припускає однорідність ефектів для всіх країн та років. Отримані результати наведено на рис. 3.5.

Pooling Model

Call:

```
plm(formula = Production..GWh. ~ log(GDP) + log(Investments..USD.),
     data = pdata, model = "pooling")
```

Balanced Panel: n = 3, T = 24, N = 738

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-50013.4	-24240.7	-1627.4	24137.4	53543.2

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)	
(Intercept)	126384.8	41498.5	3.0455	0.002406	**
log(GDP)	-1537.7	1034.2	-1.4869	0.137473	
log(Investments..USD.)	-1296.1	1016.8	-1.2747	0.202804	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 5.8074e+11

Residual Sum of Squares: 5.7796e+11

R-Squared: 0.0047817

Adj. R-Squared: 0.0020736

F-statistic: 1.76571 on 2 and 735 DF, p-value: 0.17179

Рисунок 3.5 – Результати оцінки параметрів Pooled-моделі панельних даних

Джерело: розроблено автором

Константа моделі є статистично значущою на рівні 1% ($p = 0.002406$), що вказує на наявність стабільної базової складової у виробництві ВДЕ, не пояснюваної включеними економічними змінними.

Водночас коефіцієнти при $\log(\text{GDP})$ та $\log(\text{Investments})$ не є статистично значущими ($p > 0.1$), що означає відсутність підтверджених лінійних залежностей між

обсягами виробництва електроенергії з ВДЕ та розміром економіки або рівнем інвестицій за обраною специфікацією моделі.

Оцінений коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.00478$ вказує, що побудована модель пояснює лише близько 0,48 % варіації залежної змінної.

Це може бути обумовлено низкою факторів: високою структурною неоднорідністю країн, значною волатильністю генеруючих обсягів, неповнотою набору регресорів, а також наявністю часових та просторових ефектів, які pooling-модель ігнорує.

Отримане значення статистики Фішера ($F = 1.76571$, $p = 0.17179$) не підтверджує загальну значущість моделі, що додатково свідчить про слабку пояснювальну здатність моделі загального пулінгу у досліджуваній структурі, тому для отримання надійніших висновків у подальшому дослідженні застосуємо моделі fixed effects (FE) та random effects (RE).

Результати моделювання, що представлені на рис. 3.6 свідчать, що коефіцієнти при змінних $\log(\text{GDP})$ та $\log(\text{Investments})$ залишаються статистично незначущими ($p > 0.1$).

Значення оцінених коефіцієнтів становлять -1515.4 та -1167.2 відповідно, що вказує на слабкий негативний напрямок зв'язку, однак він не є статистично підтвердженим.

Значення F-статистики $F = 1.58688$ ($p = 0.20526$) також вказує на статистичну незначущість моделі в цілому.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.00431$ демонструє, що лише близько 0.43 % варіації залежної змінної пояснюється зміною логарифмічних значень ВВП та інвестицій.

```

## Oneway (individual) effect Within Model
##
## Call:
## plm(formula = Production..GWh. ~ log(GDP) + log(Investments..USD.),
##      data = pdata, model = "within")
##
## Balanced Panel: n = 3, T = 24, N = 738
##
## Residuals:
##      Min.   1st Qu.   Median   3rd Qu.    Max.
## -51208.5 -23978.3 -1671.7  23840.3  55382.3
##
## Coefficients:
##
##              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
## log(GDP)          -1515.4     1035.3 -1.4637  0.1437
## log(Investments..USD.) -1167.2     1021.4 -1.1427  0.2535
##
## Total Sum of Squares:    5.7892e+11
## Residual Sum of Squares: 5.7642e+11
## R-Squared:      0.0043112
## Adj. R-Squared: -0.0011223
## F-statistic: 1.58688 on 2 and 733 DF, p-value: 0.20526

```

Рисунок 3.6 – Результати оцінки параметрів моделі з фіксованими індивідуальними ефектами

Джерело: розроблено автором

Отримані результати означають, що навіть при врахуванні індивідуальних фіксованих ефектів країни, включені макроекономічні змінні не забезпечують суттєвої пояснювальної сили щодо динаміки виробництва ВДЕ.

Це може свідчити про те, що зростання виробництва електроенергії з ВДЕ у США, Китаї та Німеччині зумовлене переважно не рівнем ВВП чи обсягами інвестицій як такими, а іншими факторами, зокрема, політикою підтримки ВДЕ, розвитком мережевої інфраструктури, технологічним прогресом та системою тарифних стимулів.

Для уточнення характеру впливу макроекономічних показників на виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії, проведено оцінювання панельної регресійної моделі з випадковими індивідуальними ефектами (Random Effects), результати представлено на рис. 3.7.

Oneway (individual) effect Random Effect Model
(Amemiya's transformation)

Call:

```
plm(formula = Production..GWh. ~ log(GDP) + log(Investments..USD.),
     data = pdata, model = "random", random.method = "amemiya")
```

Balanced Panel: n = 3, T = 24, N = 738

Effects:

	var	std.dev	share
idiosyncratic	784244884	28004	1
individual	0	0	0

theta: 0

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-50013.4	-24240.7	-1627.4	24137.4	53543.2

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
(Intercept)	126384.8	41498.5	3.0455	0.002323 **
log(GDP)	-1537.7	1034.2	-1.4869	0.137044
log(Investments..USD.)	-1296.1	1016.8	-1.2747	0.202401

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 5.8074e+11

Residual Sum of Squares: 5.7796e+11

R-Squared: 0.0047817

Adj. R-Squared: 0.0020736

Chisq: 3.53142 on 2 DF, p-value: 0.17107

Рисунок 3.7 – Результати оцінки параметрів моделі з випадковими індивідуальними ефектами

Джерело: розроблено автором

Результати моделі свідчать, що дисперсійний компонент індивідуального випадкового ефекту має нульове значення, а весь розподіл варіації припадає на ідіосинкратичну складову (std.dev = 28 004; share = 1).

Це означає, що у вибірці не спостерігається країнового випадкового ефекту, а міжкрайнові відмінності не роблять статистично суттєвого внеску у пояснення динаміки виробництва ВДЕ.

Оцінені коефіцієнти при змінних $\log(\text{GDP})$ та $\log(\text{Investments})$ мають від'ємний знак (-1537.7 та -1296.1 відповідно), але не є статистично значущими ($p > 0.1$).

Це означає, що, відповідно до моделі RE, зміни ВВП й обсягів інвестицій у відновлювану енергетику не обумовлюють достовірних змін у виробництві електроенергії з ВДЕ.

Значення $R^2 = 0.00478$ та скориговане значення $\text{Adj. } R^2 = 0.00207$ свідчать про низьку пояснювальну здатність моделі.

Аналогічно, χ^2 -тест на загальну значущість моделі ($\chi^2 = 3.53142$, $p = 0.17107$) підтверджує відсутність статистичної значущості всієї регресійної структури.

Отже, усі моделі демонструють, що виробництво ВДЕ визначається не стільки масштабами економіки та обсягами інвестицій, скільки політичними, технологічними та регуляторними чинниками.

Сформуємо наступні гіпотези, які перевіримо за допомогою Хаусмана-тесту:

Н₀: модель випадкових ефектів (RE) є коректною та узгодженою

Н₁: модель випадкових ефектів є неузгодженою → слід використовувати модель фіксованих ефектів

Було отримано такі результати:

$\text{chisq} = 1.9412$

$\text{df} = 2$

$\text{p-value} = 0.3789 > 0.05$

alternative hypothesis: one model is inconsistent

Отже, немає підстав відхилити нульову гіпотезу, доцільніше використовувати модель випадкових ефектів, а не фіксованих.

Для виявлення подібностей і відмінностей у моделях розвитку відновлюваної енергетики було застосовано квадрат євклідової відстані із застосуванням методу Уорда, який мінімізує внутрішньогрупову дисперсію при формуванні кластерів.

Дані було попередньо агреговано за країнами шляхом обчислення середніх значень ключових показників:

- обсяги виробництва електроенергії з ВДЕ,
- обсяги інвестицій у сектор відновлюваної енергетики,
- ВВП,
- частки ВДЕ у структурі енергобалансу.

Для запобігання впливу різних масштабів вимірювання змінні були стандартизовані перед проведенням кластеризації.

Результати наведено у вигляді дендрограми на рис. 3.8, яка демонструє структуру подібності між країнами за сукупністю проаналізованих ознак. Дендрограма дає змогу ідентифікувати три окремі кластери.

Перший блок представляє Китай, другий - Німеччину, третій – США:

Дендограма на основі квадрату евклідової відстані

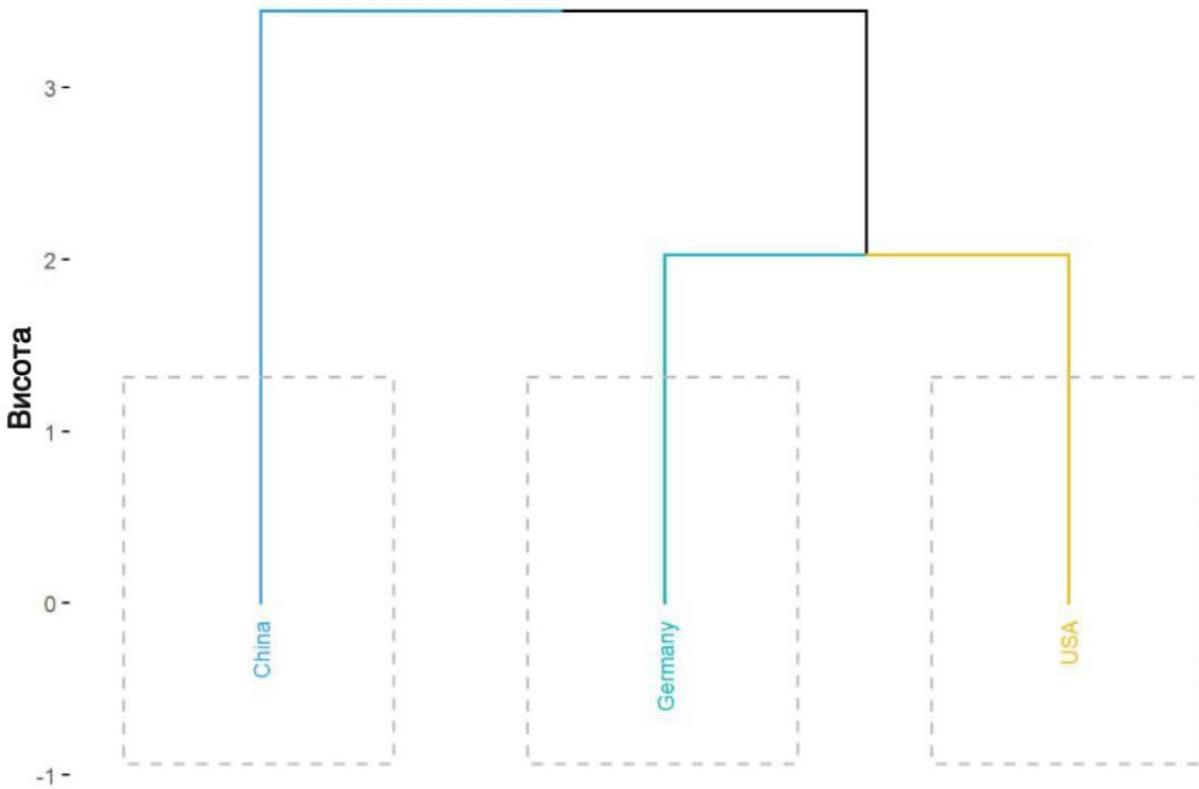


Рисунок 3.8 – Дендограма на основі квадрату евклідової відстані

Джерело: розроблено автором

Отриманий результат свідчить про те, що кожна із досліджених країн формує унікальну траєкторію розвитку відновлюваної енергетики, і жодна з них не має достатньо високого рівня подібності для об'єднання з іншими за вибраними ознаками.

Розподіл країн за блоками пояснюється відмінностями у структурах енергетичних систем і динаміці галузевих інвестицій.

Китай характеризується найвищими темпами масштабування виробничих потужностей у ВДЕ, інтенсивним залученням капіталу та активною державною підтримкою.

Німеччина демонструє високий рівень інтеграції ВДЕ до енергобалансу та стабільну політико-регуляторну модель розвитку, але обсяги виробництва не є такими масштабними, як у Китаї.

США відзначаються значними інвестиційними потоками та розвиненим технологічним сектором, однак структура ринку енергетики залишається більш диверсифікованою з високою часткою традиційних джерел.

3.3 Рекомендації для урядів, інвесторів і міжнародних організацій щодо підвищення ефективності розвитку ВДЕ

На основі результатів досліджень, можна сформулювати комплекс рекомендацій для різних груп стейкхолдерів. Вони спрямовані на забезпечення сталого розвитку сектора відновлюваної енергетики, підвищення енергетичної безпеки, зменшення залежності від викопних ресурсів і досягнення кліматичних цілей.

Отримані результати прогнозування, що представлені в попередніх підрозділах, свідчать про суттєві відмінності у темпах і характері розвитку сектору ВДЕ в окремих країнах, що обумовлює необхідність формування адресних стратегій стимулювання енергетичного переходу.

Зокрема, модельні результати показали:

- для США характерна підвищена волатильність і чутливість прогнозів до зовнішніх чинників;
- Китай продемонстрував високу стабільність прогнозних траєкторій;
- Німеччина має помірну, але нестійку динаміку із значними інтервальними коливаннями.

Це означає, що рекомендації щодо подальшого розвитку ВДЕ мають враховувати специфіку інституційного й економічного середовища кожної країни.

Важливою умовою підвищення ефективності розвитку відновлюваної енергетики є формування довгострокових стратегічних програм на державному рівні.

Практика Китаю та Німеччини показує, що наявність стабільних регуляторних рамок з чітко окресленими цілями та механізмами реалізації сприяє зниженню ринкової невизначеності, забезпечує прогнозованість інвестицій та сприяє зростанню виробництва ВДЕ.

Для країн зі значною волатильністю виробництва, таких як США, формування багаторічних програм розвитку, які передбачають сталі графіки інвестицій, податкові стимули та довгострокові контракти на купівлю електроенергії, дозволить значною мірою зменшити структурні коливання, що були виявлені моделями ARIMA.

Одним із ключових обмежень, які стримують розвиток ВДЕ, незалежно від рівня економічного розвитку країни, - є недостатній рівень модернізації електричних мереж.

Значна частина коливань у прогнозах пояснюється тим, що нові відновлювані джерела енергії потребують підвищеної гнучкості системи та здатності до оперативного балансування.

З огляду на це, важливою рекомендацією є концентрація державної підтримки не лише на стимулюванні генерації, але й на розвитку магістральних і розподільчих мереж, інтеграції Smart Grid, впровадженні автоматизованих систем управління навантаженнями й модернізації підстанцій.

У країнах з високими територіальними диспропорціями (наприклад, США та Китай) актуальною є модернізація міжрегіональних мереж для забезпечення можливості передачі великих обсягів енергії від регіонів з надлишковим виробництвом до регіонів зі значним попитом.

Важливе значення мають механізми державної підтримки інвестицій у сектор ВДЕ. Міжнародна практика підтверджує ефективність прямих і непрямих стимулів, таких як "зелені" тарифи, податкові кредити, пільгове фінансування, гранти для впровадження малих генеруючих систем.

Для країн, які демонструють високий потенціал виробництва, але нестабільні прогностні характеристики, ефективним інструментом є системи підтримки довгострокових інвестиційних контрактів, що гарантують сталий дохід виробникам.

Такий підхід дозволяє підвищити передбачуваність ринку та забезпечити його стабільне функціонування навіть у разі ринкових або політичних коливань.

У контексті глобальних кліматичних зобов'язань, надзвичайно важливою складовою державної політики є впровадження механізмів обмеження викидів CO₂, включно із системами торгівлі викидами.

Досвід Європейського Союзу вказує, що економічне стимулювання скорочення викидів є дієвим інструментом, який спрямовує фінансові потоки у бік відновлюваної енергетики та сприяє закриттю екологічно шкідливих виробництв. У країнах із високою залежністю від викопних ресурсів такі механізми є ключовими для зміщення структури енергобалансу.

Окрему роль у прискоренні енергетичного переходу відіграють приватні інвестори, які здатні забезпечити диверсифікацію джерел фінансування.

Важливою тенденцією останніх років є активне використання інструментів «зелених» фінансів, включаючи випуск зелених облігацій, створення інвестиційних фондів для фінансування ВДЕ та сертифікацію проектів за міжнародними екологічними стандартами.

Широке застосування таких механізмів дозволяє зменшити ризики для приватного капіталу та підвищити ліквідність ринку інвестицій у чисту енергію.

Не менш важливим напрямом є розвиток локальних виробничих кластерів обладнання для ВДЕ. Створення внутрішньої виробничої бази зменшує залежність від імпорту, скорочує терміни реалізації проектів та знижує загальні витрати.

Модель індустріалізації ВДЕ Китаю демонструє, що локалізація виробництва є важливим чинником зменшення вартості технологій і стабілізації їх ринку.

Роль міжнародних організацій у розвитку відновлюваної енергетики залишається визначальною, особливо для країн, що розвиваються.

Міжнародні фінансові інституції, такі як МБРР, ЄБРР та ЄІБ, мають можливість забезпечувати довгострокове пільгове фінансування великих інфраструктурних проєктів, включаючи розвиток мереж, інтеграцію ВДЕ й технології накопичення.

Крім фінансової підтримки, міжнародні організації здатні надавати країнам технічну допомогу, сприяючи розробленню стратегій розвитку, проведенню екологічних оцінок, підготовці законодавчих актів та створенню прозорих механізмів залучення інвестицій.

Цей аспект є особливо важливим для держав, що потребують гармонізації законодавства або не мають належного досвіду у розробленні політик енергетичного переходу.

У підсумку слід зазначити, що ефективність розвитку відновлюваної енергетики значною мірою залежить від скоординованої взаємодії державних інституцій, приватного сектору та міжнародних організацій.

Лише комплексне поєднання довгострокової державної стратегії, модернізації інфраструктури, стимулювання інновацій, забезпечення доступного фінансування та розвитку технологічних рішень дозволить зменшити невизначеність енергетичних прогнозів і забезпечити системний розвиток ВДЕ.

Такий підхід сприятиме як досягненню кліматичних цілей, так і посиленню енергетичної безпеки та економічної стійкості держав у довгостроковій перспективі.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження забезпечило комплексне досягнення мети та виконання всіх завдань, окреслених у вступі до кваліфікаційної магістерської роботи.

У центрі аналізу перебувала динаміка розвитку відновлюваної енергетики у трьох ключових країнах світу — Китаї, США та Німеччині, що виступають репрезентантами регіонів Азії, Північної Америки та Європи.

Отримані результати дозволили виявити закономірності розвитку ВДЕ, визначити чинники впливу та оцінити можливі сценарії подальшого енергетичного переходу.

В рамках роботи було сформовано теоретичні засади сталого енергетичного розвитку та систематизовано наукові підходи до трансформації енергосистем. Узагальнення сучасних досліджень продемонструвало, що розвиток відновлюваної енергетики є результатом взаємодії технологічних інновацій, інституційної підтримки, інвестиційних механізмів та глобальних кліматичних зобов'язань.

Сформовано статистичну базу на основі даних міжнародних енергетичних агентств та відкритих ресурсів. Здійснено описовий аналіз і візуалізацію часових рядів, що дозволило окреслити характерні особливості динаміки кожної з країн.

Встановлено, що Китай демонструє системне та масштабне нарощення виробництва ВДЕ, США характеризуються підвищеною волатильністю та циклічністю, тоді як Німеччина має найбільш прогнозовану й структуровану траєкторію розвитку в межах європейської енергетичної політики.

Порівняльний аналіз динаміки ВДЕ у 2000–2023 рр. дав змогу визначити ключові тенденції кожної країни та їх взаємні відмінності. Китай виступає світовим лідером за темпами збільшення виробництва відновлюваної енергії, що обумовлено масштабними державними інвестиціями, централізованим плануванням та розвитком виробничих кластерів.

США має значний технічний потенціал, однак демонструє нерівномірність зростання внаслідок циклічності ринку інвестицій та залежності від регіональних політик.

Німеччина, попри менший масштаб енергетичного ринку, вирізняється високим рівнем інституційної стабільності та сталим розвитком ВДЕ в рамках Європейського «зеленого» курсу.

Проведено економетричне оцінювання впливу інвестицій та макроекономічних показників на розвиток ВДЕ. Результати регресійного та панельного аналізу підтвердили, що інвестиції не є ключовим чинником зростання відновлюваної генерації у всіх країнах; рівень ВВП та масштаб енергоспоживання також не справляють суттєвий позитивний вплив.

Отримані моделі засвідчили наявність структурних відмінностей у факторах розвитку: у Китаї домінує державний інвестиційний компонент, у США — ринковий, у Німеччині — регуляторно-інституційний.

Побудова прогнозних моделей на основі ARIMA дала змогу оцінити майбутню динаміку розвитку ВДЕ до 2028 року. Прогнози виявили, що:

- для Китаю характерна стабільна траєкторія без вираженого спадного чи зростаючого тренду;
- для США — широкий діапазон невизначеності, що відображає ринкову волатильність;
- для Німеччини — помірне та відносно передбачуване зростання.

Отримані результати слугували основою для сценарного аналізу та формування комплексних висновків щодо можливого розвитку сектору.

Практичні рекомендації, сформульовані у фінальній частині роботи, спрямовані на вдосконалення політик та механізмів розвитку ВДЕ в країнах із різними моделями енергетичного переходу.

До ключових напрямів розвитку віднесено: посилення інвестиційної стабільності, розвиток мережевої інфраструктури, підвищення ролі інноваційних

технологій, оптимізацію державних стимулів та розширення міжнародної співпраці у сфері чистої енергетики.

Узагальнюючи результати дослідження, слід зазначити, що виконана робота має теоретичне й прикладне значення, оскільки дозволяє глибше зрозуміти закономірності розвитку відновлюваної енергетики в ключових регіонах світу та забезпечує наукове підґрунтя для подальших досліджень у сфері моделювання енергетичного переходу, прогнозування ринку ВДЕ та оцінювання впливу макроекономічних чинників на структуру світового енергобалансу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kaggle. Global Renewable Energy and Indicators Dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/anishvijay/global-renewable-energy-and-indicators-dataset/data>. (accessed: 16.10.2025).
2. Fiveable. Regression analysis for impact estimation. URL: <https://fiveable.me/applied-impact-evaluation/unit-6/regression-analysis-impact-estimation/study-guide/IQerput2TssAOAq4> (accessed: 20.11.2025).
3. International Renewable Energy Agency. Renewable Energy in Climate Change Adaptation. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/anishvijay/global-renewable-energy-and-indicators-dataset/data>. (accessed: 18.10.2025).
4. Russell C. China Leads Renewables Charge in Asia, Others Need to Catch Up. URL: <https://www.reuters.com/business/energy/china-leads-renewables-charge-asia-others-need-catch-up-russell-2024-06-04/>. (accessed: 25.10.2025).
5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі: монографія [Плачкова С.Г., Плачков І., В., Дунаєвська Н.І. та ін.]; К. : Фенікс, 2013. — 390 с.
6. Науменко О. Зелений тариф в Україні. URL: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/31078/>. (дата звернення: 17.11.2025).
7. World Economic Forum. Fostering Effective Energy Transition 2025. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2025.pdf?utm_source. (accessed: 18.11.2025).
8. Комаренко Д. Сонце, вітер та вода: топ країн із зеленою енергетикою. *РБК-Україна*. 2024.
9. Використання відновлювальних нетрадиційних джерел енергії. URL: https://www.gpee.com.ua/news_item/727#:~:text=При%20використанні%20відновлюва

[льних%20нетрадиційних%20джерел,в%20містах%20і%20зонах%20відпочинку](#). (дата звернення: 23.11.2025).

10. Касич А. О., Литвиненко Я. О. Сонячна енергетика в Україні: перспективи розвитку. *Економіка і суспільство*. 2017. Вип. 12. С. 93-99.

11. Yergin D. *The New Map: Energy, Climate, and the Clash of Nations*. New York: Penguin Press, 2020.

12. Глосарій технічних термінів у сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії / [за ред. О. Масняка та ін.; пер з нім. О. Блащук]. — Львів: Львівська політехніка, 2019. — 212 с. — ISBN 966-941-397-0.

13. Microsoft. Відновлювана енергетика. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/sustainability/learning-center/renewable-energy#:~:text=Відновлювана%20енергетика%20–%20це%20галузь%2C%20яка,це%20основні%20джерела%20відновлюваної%20енергії> (дата звернення: 15.11.2025).

14. Краменко Д. Сонце, вітер і вода. Топ країн із "зеленою" енергетикою та який потенціал України. *РБК-Україна*. 22 липня 2024

15. IRENA. Renewable capacity statistics 2024. International Renewable Energy Agency. URL: <https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Renewable-capacity-statistics-2024> (accessed: 18.11.2025).

16. Енергетичний фронт. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ). URL: [https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiyi-vde/#:~:text=Відновлювані%20джерела%20енергії%20\(ВДЕ\)%20–%20це%20такі%20джерела%2C%20які,енергії%20з%20відновлюваних%20джерел%20енергії](https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiyi-vde/#:~:text=Відновлювані%20джерела%20енергії%20(ВДЕ)%20–%20це%20такі%20джерела%2C%20які,енергії%20з%20відновлюваних%20джерел%20енергії). (дата звернення: 15.11.2025).

17. International Energy Agency. (2022). Global energy employment rises above pre-Covid levels, driven by clean energy and efforts to strengthen supply chains. URL: <https://www.iea.org/news/global-energy-employment-rises-above-pre-covid-levelsdriven-by-clean-energy-and-efforts-to-strengthen-supply-chains> (accessed: 18.11.2025).

18. Meegle. Energy Regulatory Frameworks. URL: https://www.meegle.com/en_us/topics/sustainable-energy/energy-regulatory-frameworks#technological-insights-and-mechanisms (accessed: 19.11.2025).
19. Taghipour P., Rostamzadeh R., Esgandari K., Sarhangi K. A new policy model for renewable energy development. *ScienceDirect*. Volume 10, December 2025, 101251.
20. Chapman A., McLellan B., Tezuka T. Strengthening the Energy Policy Making Process and Sustainability Outcomes in the OECD through Policy Design. *MDPI*. 2016, 6, 9.
21. Ministry of New and Renewable Energy, Government of India. (2023). National Green Hydrogen Mission. URL: <https://mnre.gov.in/en/national-green-hydrogen-mission/> (accessed: 18.11.2025).
22. Saudi Electricity Company. Sustainability Report 2024. Saudi Electricity Company. URL: <https://www.sustainabilityreports.com/saudi-electricity/2024/sustainability-report> (accessed: 18.11.2025).
23. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, Australian Government. Queensland's new clean energy training centre. URL: <https://www.energy.gov.au/news/queenslands-new-clean-energy-training-centre> (accessed: 18.11.2025).
24. The White House. Biden-Harris Administration Announces Regional Clean Hydrogen Hubs to Drive Clean Manufacturing and Jobs. The White House. - 2023, 13 October. URL: <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2023/10/13/biden-harris-administration-announces-regional-clean-hydrogen-hubs-to-drive-clean-manufacturing-and-jobs/> (accessed: 18.11.2025).
25. Meegle. Energy Regulatory Frameworks. URL: https://www.meegle.com/en_us/topics/sustainable-energy/energy-regulatory-frameworks#technological-insights-and-mechanisms. (accessed: 25.10.2025).

26. Econometrics Academy. Panel Data Models. URL: <https://sites.google.com/site/econometricsacademy/econometrics-models/panel-data-models> (accessed: 20.11.2025).
27. Ember. Major Countries and Regions – Global Electricity Review 2025. URL: https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/major-countries-and-regions/?utm_source=. (accessed: 18.10.2025).
28. Milvus. What is an ARIMA (p,d,q) model, and what do the parameters represent? URL: <https://milvus.io/ai-quick-reference/what-is-an-arma-pdq-model-and-what-do-the-parameters-represent> (accessed: 20.11.2025).
29. Tableau. Time Series Analysis: Definition, Types, Techniques, and When It's Used. URL: <https://www.tableau.com/analytics/what-is-time-series-analysis> (accessed: 20.11.2025).
30. Гончаренко, В. В., В. О. Бабенко, А. О. Пантелеймоненко, і А. А. Пожар. 2019. «ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ КИТАЮ». *Економічний простір*, вип. 152 (Грудень), 5-16.
31. Dudley M. Electric Wind: An Energy History of Modern Britain / Marianna Dudley. – Manchester: Manchester University Press, 2025. – 184 с. – ISBN 978-1-5261-8294-4.
32. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С. О. Кудря. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 492 с.
33. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: монографія / А. В. Прокіп, В. С. Дудюк, Р. Б. Колісник ; [за заг. ред. А. В. Прокіпа]. — Львів: ЗУКЦ, 2015. — 338 с. : іл., схеми, граф. — Бібліогр.: с. 317—337 (183 назви). — ISBN 978-617-655-116-4 : 70.
34. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.

35. Сидоров В. І. Від макроскопічних до молекулярних технологій відновлюваної енергії / Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2018. — № 3. — С. 34–42.
36. Dhingra, Ishwar C. (2022). Green economy: opportunities and challenges: an international perspective. London: Routledge. ISBN 978-1-032-07399-6.
37. Acar Sevil; Yeldan Alp Erinç, ред. (2019). Handbook of green economics. London San Diego, CA Cambridge, MA Oxford: Academic Press, Elsevier. ISBN 978-0-12-816635-2.
38. Відновлювані джерела енергії: видання третє, оновлене / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2025. 512 с. ISBN 978-966-641-9.
39. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнєцов. — Київ: ІВЕ, 2024. — 152 с. ISBN 978-617-8268-20-6.
40. IEA. World Energy Investment 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025> (accessed: 20.11.2025).
41. Математичні моделі нестационарних процесів у контурах геотермальних теплообмінників: монографія / В. Ф. Резцов, Зур'ян О. В., Т. В. Суржик. — Київ: ІВЕ, 2023. — 170 с. ISBN 978-966-641-15
42. Заходи забезпечення стабільної та ефективної роботи енергосистем з відновлюваними джерелами енергії : монографія / Мілан Белік, Євген Зайцев, Владислав Кучанський, Ірина Гунько, Вікторія Березниченко, Олена Рубаненко. — Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. — 184 с. ISBN 978-617-554-400-6.
43. Belik Milan, Kudria Stepan, Rubanenko Olean Digitalization of renewable energy : monography / Milan Belik, Stepan Kudria, Olean Rubanenko. — Odesa : Publishing House "Helvetika", 2024. — 202 p. ISBN 978-617-554-401-3
44. Рубаненко О.О. Підвищення енергоефективності відновлюваних джерел енергії: монографія. — Х. :ФОП Панов А.М., 2024. 428 с. ISBN 978-8534-04-2.

45. Функціонування, стратегічний розвиток і регулювання відновлюваної енергетики [Текст] : монографія / О. О. Трофименко, С. В. Войтко ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - Київ : Альфа Реклама, 2014. - 178 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 143-157. - 300 прим. - ISBN 978-966-288-043-4.
46. Економічна ефективність використання сонячної енергії у сільськогосподарських підприємствах [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / Савченко Єлена Володимирівна ; Львів. нац. аграр. ун-т. - Львів, 2014. - 21 с. : табл.
47. Екологістичні підходи до використання енергетичного потенціалу деревної біомаси [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.06 / Гречин Богдан Дмитрович ; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. - Рівне, 2018. - 24 с. : рис., табл.
48. Інноваційні процеси в регіонах на засадах впровадження відновлюваної енергетики: від теорії до практики [Текст] : монографія / Г. О. Кузнецова. - Херсон : Гельветика, 2019. - 289 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 263-281. - 300 прим. - ISBN 978-966-916-910-5
49. Організаційно-економічний механізм виробництва біопалив із агробіомаси: теорія, методологія, практика [Текст] : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03 / Пришляк Наталя Вікторівна ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. - Вінниця, 2021. - 40 с. : рис., табл.
50. Теоретико-методологічні засади формування організаційно-економічного забезпечення розвитку відновлювальної енергетики [Текст] : монографія / І. О. Клопов ; Донбас. держ. машинобуд. акад. - Одеса : Гельветика, 2017. - 362 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 300-335. - 300 прим. - ISBN 978-966-992-460-5

ДОДАТКИ**Додаток А**

```
library(readr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(forecast)
library(tseries)
library(plm)
library(broom)
library(car)
library(cluster)
library(factoextra)
library(tidyr)
library(scales)

df <- read_csv("C:/Users/User/Desktop/kmr/df.csv")

target_countries <- c("Germany", "China", "USA")
df_filtered <- df %>%
  filter(Country %in% target_countries)

production_summary <- df_filtered %>%
  group_by(Country) %>%
  summarise(
    Total_Production_GWh = sum(`Production (GWh)`, na.rm = TRUE),
    Mean_Production_GWh = mean(`Production (GWh)`, na.rm = TRUE),
```

```

    .groups = 'drop'
  )

print("--- Зведення Виробництва ВДЕ ---")
print(production_summary)

df_production_yearly <- df_filtered %>%
  group_by(Country, Year) %>%
  summarise(
    Annual_Production_GWh = sum(`Production (GWh)`, na.rm = TRUE),
    .groups = 'drop'
  )

production_plot <- ggplot(df_production_yearly, aes(x = Year, y =
Annual_Production_GWh, color = Country)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  geom_point() +
  labs(
    title = "Порівняння Річного Виробництва ВДЕ (GWh)",
    x = "Рік",
    y = "Річне Виробництво (GWh)",
    color = "Країна"
  ) +
  theme_minimal() +
  scale_y_continuous(labels = scales::comma) # Для кращої читабельності
великих чисел

print(production_plot)

```

```
library(forecast)

china_ts <- df_production_yearly %>%
  filter(Country == "China") %>%
  arrange(Year)

start_year <- min(china_ts$Year)
china_ts_obj <- ts(china_ts$Annual_Production_GWh, start = start_year, frequency
= 1)

arima_model <- auto.arima(china_ts_obj)

print("--- ARIMA Модель для Китаю ---")
print(summary(arima_model))

last_year <- max(china_ts$Year)
h_forecast <- 2028 - last_year

if (h_forecast > 0) {
  forecast_result <- forecast(arima_model, h = h_forecast)

  print(paste("--- Прогноз Виробництва ВДЕ для Китаю до", 2028, "року ---"))
  print(forecast_result)

  forecast_plot <- autoplot(forecast_result) +
    labs(
      title = paste("Прогноз Річного Виробництва ВДЕ для Китаю до", 2028),
```

```

    x = "Рік",
    y = "Виробництво (GWh)"
  ) +
  theme_minimal()
print(forecast_plot)
} else {
  print("Останній рік у даних вже 2028 або пізніше. Прогнозування не
потрібне.")
}

library(forecast)

germany_ts <- df_production_yearly %>%
  filter(Country == "Germany") %>%
  arrange(Year)

start_year <- min(germany_ts$Year)
germany_ts_obj <- ts(germany_ts$Annual_Production_GWh, start = start_year,
frequency = 1)

arima_model <- auto.arima(germany_ts_obj)

print("--- ARIMA Модель для Німеччини ---")
print(summary(arima_model))

last_year <- max(germany_ts$Year)
h_forecast <- 2028 - last_year

```

```

if (h_forecast > 0) {
  forecast_result <- forecast(arma_model, h = h_forecast)

  print(paste("--- Прогноз Виробництва ВДЕ для Німеччини до", 2028, "року ---
"))
  print(forecast_result)

  forecast_plot <- autoplot(forecast_result) +
    labs(
      title = paste("Прогноз Річного Виробництва ВДЕ для Німеччини до", 2028),
      x = "Рік",
      y = "Виробництво (GWh)"
    ) +
    theme_minimal()
  print(forecast_plot)
} else {
  print("Останній рік у даних вже 2028 або пізніше. Прогнозування не
потрібне.")
}

library(forecast)

USA_ts <- df_production_yearly %>%
  filter(Country == "USA") %>%
  arrange(Year)

start_year <- min(USA_ts$Year)

```

```
USA_ts_obj <- ts(USA_ts$Annual_Production_GWh, start = start_year, frequency
= 1)
```

```
arima_model <- auto.arima(USA_ts_obj)
```

```
print("--- ARIMA Модель для США ---")
```

```
print(summary(arima_model))
```

```
last_year <- max(USA_ts$Year)
```

```
h_forecast <- 2028 - last_year
```

```
if (h_forecast > 0) {
```

```
  forecast_result <- forecast(arima_model, h = h_forecast)
```

```
  print(paste("--- Прогноз Виробництва ВДЕ для США до", 2028, "року ---"))
```

```
  print(forecast_result)
```

```
  forecast_plot <- autoplot(forecast_result) +
```

```
    labs(
```

```
      title = paste("Прогноз Річного Виробництва ВДЕ для США до", 2028),
```

```
      x = "Рік",
```

```
      y = "Виробництво (GWh)"
```

```
    ) +
```

```
    theme_minimal()
```

```
  print(forecast_plot)
```

```
} else {
```

```
  print("Останній рік у даних вже 2028 або пізніше. Прогнозування не
потрібне.")
```

```

}

library(plm)

df_panel <- df_filtered %>%
  select(Country, Year, `Production (GWh)`, `GDP`, `Investments (USD)`) %>%
  drop_na()

pdata <- pdata.frame(df_panel, index = c("Country", "Year"))

pooled_model <- plm(`Production..GWh.` ~ log(`GDP`) +
log(`Investments..USD.`),
  data = pdata,
  model = "pooling")

fe_model <- plm(`Production..GWh.` ~ log(`GDP`) + log(`Investments..USD.`),
  data = pdata,
  model = "within")

re_model <- plm(`Production..GWh.` ~ log(`GDP`) + log(`Investments..USD.`),
  data = pdata,
  model = "random",
  random.method = "amemiya") # <--- Зміна тут

print("--- Результати Панельних Моделей ---")

print("Pooled OLS Model:")
print(summary(pooled_model))

```

```
print("Fixed Effects Model (within):")
```

```
print(summary(fe_model))
```

```
print("Random Effects Model (Amemiya method):")
```

```
print(summary(re_model))
```

```
f_test <- pFtest(fe_model, pooled_model)
```

```
print("--- F-тест (Pooled vs. FE) ---")
```

```
print(f_test)
```

```
hausman_test <- phtest(fe_model, re_model)
```

```
print("--- Тест Хаусмана (FE vs. RE) ---")
```

```
print(hausman_test)
```

```
library(factoextra)
```

```
library(cluster)
```

```
df_clust_data <- df %>%
```

```
  group_by(Country) %>%
```

```
  summarise(
```

```
    Mean_Production_GWh = mean(`Production (GWh)`, na.rm = TRUE),
```

```
    Mean_Investments = mean(`Investments (USD)`, na.rm = TRUE),
```

```
    Mean_GDP = mean(`GDP`, na.rm = TRUE),
```

```
    Mean_Prop_Renewables = mean(`Proportion of Energy from Renewables`,
```

```
na.rm = TRUE),
```

```
    .groups = 'drop'
```

```
  ) %>%
```

```
drop_na() %>%  
tibble::column_to_rownames(var = "Country")  
  
df_scaled <- scale(df_clust_data)  
  
d_matrix <- dist(df_scaled, method = "euclidean")  
hc_result <- hclust(d_matrix, method = "ward.D2")  
  
dendro_plot <- fviz_dend(hc_result, k = 3,  
  cex = 0.6,  
  k_colors = c("#2E9FDF", "#00AFBB", "#E7B800"),  
  rect = TRUE,  
  main = "Дендрограма на основі квадрату євклідової відстані")  
  
print(dendro_plot)
```



Звіт подібності

Метадані

Назва організації

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU

Заголовок

Макаренко_Галицина_плагіат

Автор

Науковий керівник / Експерт

МакаренкоГалицина

підрозділ

кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



5.57%

5.57% КП 1

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2



3.68%

3.68% КП 2

10358

Кількість слів



0.55%

0.55% КЦ

81091

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		5
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		19

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Європейська зелена економіка у парадигмі сталого розвитку 11/26/2025 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра міжнародної економіки)	138 1.33 %
2	Європейська зелена економіка у парадигмі сталого розвитку 11/26/2025 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра міжнародної економіки)	83 0.80 %

3	https://ela.kpi.ua/bitstreams/b0e77fc9-77de-40ff-a315-7c381fbcdf77f/download	60 0.58 %
4	https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiji-vde/	41 0.40 %
5	https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiji-vde/	33 0.32 %
6	https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/44cccc5c-e2ab-4617-ac80-2ccbb063a4c3/content	26 0.25 %
7	https://generacia.energy/zelenyj-tarif/31078/	23 0.22 %
8	https://ela.kpi.ua/bitstreams/b0e77fc9-77de-40ff-a315-7c381fbcdf77f/download	17 0.16 %
9	https://generacia.energy/zelenyj-tarif/31078/	16 0.15 %
10	Статистичний аналіз найбільш значущих факторів впливу на зростання смертності від серцевої недостатності 2/12/2023 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	15 0.14 %

з бази даних RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-----------	--

з домашньої бази даних (2.47 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Європейська зелена економіка у парадигмі сталого розвитку 11/26/2025 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра міжнародної економіки)	221 (2) 2.13 %
2	Статистичний аналіз найбільш значущих факторів впливу на зростання смертності від серцевої недостатності 2/12/2023 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	20 (2) 0.19 %
3	Мороз_Юнькова_плагіат 11/30/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	10 (1) 0.10 %
4	Макаренко_Притоманова_плагіат 5/29/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	5 (1) 0.05 %

з програми обміну базами даних (0.06 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
5	2021_M_KITC_Костров_Д_Р 5/31/2024 Kharkiv National University of Radio Electronics (Kharkiv National University of Radio Electronics)	6 (1) 0.06 %

з Інтернету (3.04 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
6	https://ela.kpi.ua/bitstreams/b0e77fc9-77de-40ff-a315-7c381fbcdf77f/download	97 (4) 0.94 %

7	https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiyi-vde/	84 (3) 0.81 %
8	https://generacia.energy/zelenyj-tarif/31078/	58 (5) 0.56 %
9	https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/44cccc5c-e2ab-4617-ac80-2ccbb063a4c3/content	26 (1) 0.25 %
10	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/46078/1/Keleberda_magistr.pdf	18 (2) 0.17 %
11	https://vstup.osvita.ua/r27/337/	14 (1) 0.14 %
12	https://ru.essays.club/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%8B/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D1%83-%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%96-345082.html	11 (1) 0.11 %
13	https://vbaze.com.ua/files/product?_token=dxOu09DQcm6Ch1ojMC92xgFKJDdM9e9u110pHU8&product_id=3332&file=%D0%A1%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%96%D0%B2.doc&download=1	7 (1) 0.07 %

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-------	---------------------------------------

21-22 листопада 2025 року, Львів

Література:

1. Chakravorty, A., & Elsayed, N. (2025). *A comparative study of machine learning algorithms for stock price prediction using insider trading data* <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.08728>
2. Koki, C., Leonardos, S., & Piliouras, G. (2020). *Exploring the predictability of cryptocurrencies via Bayesian hidden Markov models*. <https://arxiv.org/abs/2011.03741>
3. Zhang, J. (2019). *Investment strategy based on machine learning models* (Master's research paper). University of Waterloo. https://uwaterloo.ca/computational-mathematics/sites/default/files/uploads/documents/research_paper_jiayue_zhang.pdf
4. Agakishiev, I., Härdle, W. K., Becker, D., & Zuo, X. (2025). Regime switching forecasting for cryptocurrencies. *Digital Finance*, 7(1), 107–131. <https://doi.org/10.1007/s42521-024-00123-2>

Макаренко М.В.

Електронна пошта: mashamakarenko1@gmail.com

Науковий керівник: к.е.н, доцент Галіцина О.В.

Електронна пошта: galitsyna.olga@kneu.edu.ua

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ
ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ СЕКТОРУ
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Makarenko M.V.

**APPLICATION OF ECONOMETRIC METHODS TO ANALYZE
AND FORECAST THE DEVELOPMENT
OF THE RENEWABLE ENERGY SECTOR**

Відновлювана енергетика виступає одним із ключових інструментів забезпечення сталого розвитку економік світу у період пристосування до кліматичних змін. Регіональні диспропорції визначаються технологічними і політичними можливостями, а також інвестиційними та кліматичними факторами, що робить економетричний аналіз необхідним для обґрунтування політичних та інвестиційних рішень.

Методологія дослідження починається з описового етапу - з візуалізації часових рядів за світовими регіонами, обчислення темпів приросту та наявності кореляції між показниками.

Доцільним є проведення тестів стаціонарності ADF та KPSS і тест на структурні зсуви Bai-Perron test для виявлення переломних точок (шоків) у часових рядах.

Для прогнозування часових рядів (регіональних) використовуються моделі ARIMA та SARIMA. Для покращення короткострокових прогнозів – модель SARIMAX з екзогенними змінними, такими як ціни на електроносії, пільги, інвестиції, тощо.

Дослідження мультиваріантних моделей та взаємозв'язок VAR / VECM виконується для аналізу взаємозалежності між показниками відновлюваної енергетики, ВВП та інвестиціями.

Побудова панельних моделей для оцінки впливу регуляторних та макроекономічних детермінант на темпи зростання виробничих потужностей.

Оцінка прогнозів та можливих сценаріїв, а саме: крос-валідація, метрики MAPE і RMSE та побудова сценаріїв (базовий, прискорений, стриманий) для оцінки ризиків.

В ході дослідження відображено ідентифікацію кластерів регіональної динаміки, виділено регіони-лідери, а також регіони, що «відстають» від розвитку сектору відновлюваної енергетики. Отримано кількісну оцінку значущості детермінант (інвестиції, ВВП на душу населення, політичні інструменти) для темпів встановлення потужностей та виробництва, а також прогнози на 1-5 років для регіональних показників з оцінками невизначеності та альтернативними сценаріями.

Запропоноване дослідження поєднує у собі часові ряди та панельні підходи, що дозволяє одночасно враховувати як регіональні, так і динамічні відмінності. Отримані результати будуть корисні для інвесторів, міжнародних інституцій та розробників енергетичної політики при формуванні цілей з енергетичної трансформації та розподілі фінансування.

Література:

1. International Renewable Energy Agency. Renewable Capacity Statistics 2024 - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Renewable-capacity-statistics-2024>
2. Gujarati D. N., Porter D. C. Basic Econometrics: 4-th ed. - [Електронний ресурс] / D. N. Gujarati, D. C. Porter. – New York: McGraw-Hill, 2009. – Режим доступу: https://www.academia.edu/40263427/BASIC_ECONOMETRICS_FOURTH_EDITION
3. Пирогова І.Є., Конашевич С.В. Відновлювана енергетика у сучасному світі. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2024. Вип. №41. С. 115-130.

Ютовець Ю.А.

Електронна пошта: yuliia.yutovets@lnu.edu.ua

Науковий керівник : к.е.н, доцент Дацків Н.І.

Електронна пошта: nataliya.datskiv@lnu.edu.ua

Львівський національний університет імені Івана Франка

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАРКЕТИНГОВИХ
СТРАТЕГІЙ ПІДПРИЄМСТВА**

Yutovets Y.A.

**PREDICTING THE EFFECTIVENESS OF MARKETING
STRATEGIES FOR ENTERPRISES**