

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем імені проф. І.В. Ельперіна
Кафедра інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«08» грудня 2025р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Сергій ГРИБКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«08» грудня 2025р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(код та назва спеціальності)

освітньо–професійної програми Управління інформацією та аналітика даних
на тему: Інформаційна система аналізу динаміки змін показників світових ринків електроенергії методами інтелектуального аналізу даних

Виконав: здобувач 2 курсу, групи КН–2–2М

_____ Басв Андрій Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Костіков Микола Павлович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(–ла) і не одержував(–ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем імені проф. І.В. Ельперіна

Кафедра інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(код і назва)

Освітньо–професійна програма Управління інформацією та аналітика даних

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри інформаційних
технологій, штучного інтелекту і
кібербезпеки**

Сергій ГРИБКОВ

«05» листопада 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Баєва Андрія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційна система аналізу динаміки змін показників світових ринків електроенергії методами інтелектуального аналізу даних

керівник роботи Костіков Микола Павлович, кандидат технічних наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «05» листопада 2025 року №906–кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Статистичні дані міжнародних аналітичних агентств (Ember, UN Comtrade, Eurostat); законодавчі та нормативні акти, що регулюють ринки електроенергії; наукові праці з питань інтелектуального аналізу даних (Data Mining) та бізнес-аналітики; методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра НУХТ.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1. Дослідження предметної області та аналіз світових ринків електроенергії.

Розділ 2. Методологія дослідження та обґрунтування технологічного стеку.

Розділ 3. Програмна реалізація та налаштування інформаційної системи.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Структурна схема механізмів ціноутворення на ринку. 2. Порівняльна характеристика ВІ-платформ. 3. Схема архітектури даних (Star Schema). 4. Блок-схема алгоритму ETL-процесів та очищення даних. 5. Інтерфейс розробленого дашборду (головна сторінка). 6. Результати кластерного аналізу

країн. 7. Карта енергетичної залежності та прогнозні тренди. 8. Презентація роботи (слайди РРТХ).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Костіков М.П.	05.11.2025	14.11.2025
2	Костіков М.П.	15.11.2025	17.11.2025
3	Костіков М.П.	18.11.2025	25.11.2025

7. Дата видачі завдання: 01 жовтня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області, літературних джерел та існуючих аналітичних систем.	05.11.2025 – 10.11.2025	Виконано
2	Обґрунтування методів дослідження, вибір технологій (Power BI) та проектування архітектури даних.	11.11.2025 – 14.11.2025	Виконано
3	Реалізація ETL-процесів: збір, очищення та консолідація даних з джерел Ember та UN Comtrade.	15.11.2025 – 17.11.2025	Виконано
4	Побудова моделі даних, розробка мір DAX та створення інтерактивного інтерфейсу дашборду.	18.11.2025 – 20.11.2025	Виконано
5	Проведення інтелектуального аналізу (кластеризація, прогнозування) та оцінка результатів.	21.11.2025 – 22.11.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки, підготовка графічних матеріалів та презентації до захисту.	23.11.2025 – 26.12.2025	Виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Андрій БАЄВ

_____ (ім'я та прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Микола КОСТИКОВ

_____ (ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Баєв Андрій Андрійович – Інформаційна система аналізу динаміки змін показників світових ринків електроенергії методами інтелектуального аналізу даних.

Робота присвячена проектуванню та розробці інформаційно–аналітичної системи на базі платформи Microsoft Power BI для комплексного моніторингу світових енергетичних ринків. Реалізовано автоматизовані ETL–процеси для інтеграції різнорідних даних (Ember, UN Comtrade) та побудовано денормалізоване сховище даних типу «Зірка». Застосовано методи інтелектуального аналізу даних: алгоритм кластеризації k–means для сегментації країн, методи експоненційного згладжування для прогнозування цін та методику розрахунку енергозалежності. Результатом роботи є інтерактивний дашборд для підтримки прийняття стратегічних рішень в енергетичному секторі.

Ключові слова: ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, POWER BI, DATA MINING, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РИНОК, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ETL, DAX

SUMMARY

Baiev Andrii Andriiovych – Information system for analyzing the dynamics of changes in indicators of world electricity markets using data mining methods.

The work is devoted to the design and development of an information–analytical system based on the Microsoft Power BI platform for comprehensive monitoring of global energy markets. Automated ETL processes for integrating heterogeneous data (Ember, UN Comtrade) were implemented, and a normalized "Star Schema" data model was built. Data mining methods were applied: k–means clustering algorithm for country segmentation, exponential smoothing methods for price forecasting, and energy dependency calculation methodology. The result of the work is an interactive dashboard to support strategic decision–making in the energy sector.

Keywords: INFORMATION SYSTEM, POWER BI, DATA MINING, ENERGY MARKET, CLUSTERING, FORECASTING, ETL, DAX

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА АНАЛІЗ СВІТОВИХ РИНКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	11
1.1. Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку світових ринків електроенергії.....	11
1.2. Механізми ціноутворення на ринках електроенергії: фактори впливу, біржові моделі та волатильність.....	14
1.3. Аналіз впливу геополітичних та економічних криз (2021–2023 рр.) на динаміку цін та безпеку постачання.....	16
1.4. Роль даних (Big Data) у сучасному енергетичному секторі та огляд існуючих аналітичних платформ.....	18
1.5. Постановка задачі дослідження: обґрунтування необхідності створення інтегрованої ВІ–системи.....	21
1.6. Висновки до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, МЕТОДІВ, АЛГОРИТМІВ.....	25
2.1. Обґрунтування вибору технологічного стеку для реалізації системи.....	24
2.2. Математичне забезпечення та методи інтелектуального аналізу даних.....	26
2.3. Методологія збору та обробки даних (ETL) та проєктування архітектури сховища.....	28
2.4. Методологія побудови візуального інтерфейсу та UX–дизайн системи.....	35
2.5. Програмна реалізація аналітичних обчислень мовою DAX.....	36
2.6. Висновки до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РИНКІВ.....	43
3.1. Реалізація моделі даних та архітектури системи.....	41
3.2. розробка інтерфейсу та інтерактивних компонентів дашборд.....	44
3.3. Аналіз отриманих результатів та виявлення ринкових закономірностей.....	55
3.4. Оцінка ефективності впровадження системи.....	59
3.5. Висновки до розділу 3.....	59

ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна світова енергетика перебуває у стані глибокої трансформації, що характеризується переходом до відновлюваних джерел енергії, децентралізацією генерації та зростаючою взаємозалежністю національних ринків. Події останніх років, зокрема глобальна енергетична криза 2021–2022 років, продемонстрували критичну важливість оперативного моніторингу ринкової кон'юнктури. Волатильність цін на енергоносії, зміни у ланцюгах постачання та геополітичні фактори створюють середовище високої невизначеності.

Водночас, обсяги даних, що генеруються в енергетичному секторі (Big Data), зростають експоненційно. Інформація про генерацію, транскордонні перетоки та цінові котирування розпорошена між сотнями джерел (Ember, UN Comtrade, Eurostat, національні оператори), що унеможлиблює їх ефективну обробку традиційними методами. Виникає гостра потреба у створенні інтегрованих інформаційних систем класу Business Intelligence (BI), які здатні консолідувати різномірні дані та застосовувати методи інтелектуального аналізу (Data Mining) для виявлення прихованих закономірностей, кластеризації ринків та прогнозування трендів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконується згідно з планом науково–дослідних робіт кафедри інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки Національного університету харчових технологій та спрямована на вирішення актуальних задач розробки систем підтримки прийняття рішень в умовах великих обсягів даних.

Метою дослідження є підвищення ефективності аналізу та стратегічного планування на світових ринках електроенергії шляхом розробки інформаційної системи, що базується на методах інтелектуального аналізу даних та технологіях візуалізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз предметної області, дослідити механізми ціноутворення та фактори впливу на світових енергетичних ринках.
2. Здійснити огляд існуючих аналітичних інструментів та обґрунтувати вибір технологічного стеку (Power BI, DAX).
3. Розробити архітектуру системи та реалізувати ETL–процеси для інтеграції даних з різномірних джерел (Ember, UN Comtrade), забезпечивши уніфікацію форматів та одиниць виміру.
4. Спроекувати денормалізоване сховище даних (схема «Зірка») та розробити аналітичні міри для розрахунку ключових показників ефективності (KPI).
5. Реалізувати методи інтелектуального аналізу даних: кластеризацію країн за параметрами енергосистеми та прогнозування майбутніх трендів.
6. Створити інтерактивний дашборд та провести апробацію системи на реальних даних понад 180 країн світу.

Об'єктом дослідження є світовий ринок електроенергії.

Предметом дослідження є методи, моделі та інструментальні засоби інтелектуального аналізу даних для побудови інформаційно–аналітичних систем моніторингу енергетики.

Методи дослідження. У роботі використано: методи системного аналізу – для формалізації предметної області; статистичні методи – для обробки часових рядів; методи Data Mining (алгоритм k–means, експоненційне згладжування) – для кластеризації та прогнозування; методи візуалізації даних – для подання результатів у зручному для сприйняття вигляді.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

Удосконалено метод багатовимірної класифікації енергетичних ринків, який базується на застосуванні алгоритму k–means до простору ознак «обсяг генерації – розрахункова ціна», що дозволило, на відміну від традиційного географічного поділу, виділити стійкі кластери країн зі схожими економічними моделями енергосистем.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена інформаційна система дозволяє проводити оперативний моніторинг енергетичної безпеки країн, оцінювати ступінь їхньої енергозалежності та прогнозувати цінові тренди до 2030 року. Система може бути використана аналітиками енергетичних компаній для стратегічного планування.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дослідження доповідались та обговорювались на міжнародній науково–технічній конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно–технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, НУХТ, 2025 р.).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконувалась згідно із планом науково–дослідних робіт кафедри інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки Національного університету харчових технологій: НДР «Дослідження та використання сучасних інформаційних технологій для виконання функцій та завдань виробничого і організаційного управління підприємств харчової галузі» № ДР 0120U105386, 2020–2025 рр.

За матеріалами кваліфікаційної роботи опубліковано тезу доповіді на тему "Інтелектуальний аналіз даних для аналізу світових ринків електроенергії" на XII Міжнародній науково–технічній інтернет–конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно–технічними та технологічними комплексами» (Київ, НУХТ, 27 листопада 2025 р.)

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 80 сторінок, 16 рисунків, 5 таблиць, 3 додатки, 32 джерела.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА АНАЛІЗ СВІТОВИХ РИНКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1. Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку світових ринків електроенергії

Електроенергетика є фундаментом сучасної світової економіки, а стабільність та ефективність функціонування ринків електроенергії безпосередньо впливають на конкурентоспроможність держав, рівень життя населення та національну безпеку. На сучасному етапі глобальна енергетична система переживає період найбільш масштабних трансформацій за останні сто років. Цей процес зміни парадигми часто характеризують тріадою глобальних трендів: декарбонізація, децентралізація та діджиталізація. Зазначені фактори докорінно змінюють не лише технологічний ландшафт галузі, а й економічні моделі взаємодії учасників ринку.

Ключовою тенденцією останнього десятиліття є глобальний енергетичний перехід (Energy Transition), спрямований на відмову від викопного палива на користь відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Згідно з даними міжнародних енергетичних агентств, частка вугільної та газової генерації у світовому енергобалансі поступово скорочується під тиском міжнародних кліматичних угод, зокрема Паризької хартії, та політики «Green Deal» у Європейському Союзі. Натомість спостерігається стрімке зростання потужностей сонячних (PV) та вітрових електростанцій. Структуру та динаміку змін у світовій генерації електроенергії за джерелами наведено на рисунку 1.1.

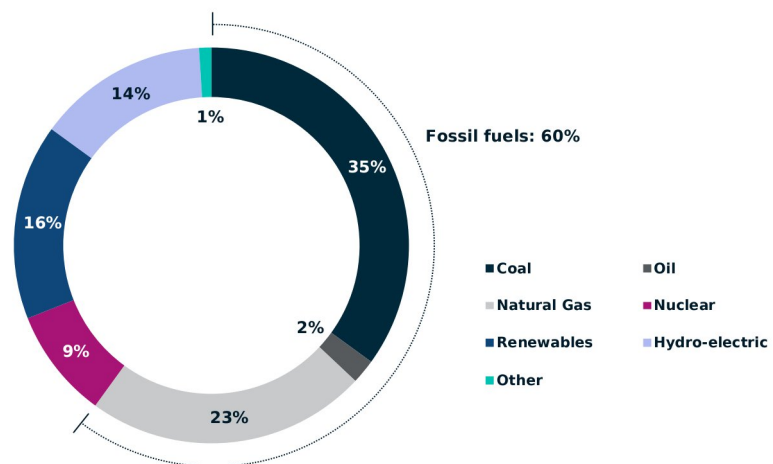


Рисунок 1.1 – Структура світової генерації електроенергії за джерелами.

Однак масова інтеграція відновлюваних джерел енергії вносить суттєвий фактор невизначеності у функціонування енергосистем. На відміну від традиційних електростанцій, генерація яких є керованою та прогнозованою, вироблення електроенергії сонячними та вітровими станціями має стохастичний характер і залежить від погодних умов. Це призводить до підвищення волатильності на ринках: у періоди надлишкової генерації ВДЕ ціни можуть опускатися до нульових або навіть від'ємних значень, тоді як у періоди безвітряної та похмурої погоди (так звані «темні штилі») виникає дефіцит потужності, що провокує різкі цінові стрибки. Така динаміка вимагає від операторів систем передачі та учасників ринку впровадження більш складних алгоритмів прогнозування та балансування.

Географія світового попиту на електроенергію також зазнає змін. Якщо на початку XXI століття основними споживачами були країни ОЕСР (Організація економічного співробітництва та розвитку), то сьогодні центр ваги зміщується в бік економік, що розвиваються, насамперед в Азійсько-Тихоокеанському регіоні. Китай та Індія виступають головними драйверами зростання світового енергоспоживання, що зумовлено урбанізацією та індустріалізацією цих країн. Водночас у розвинених країнах спостерігається тенденція до стабілізації попиту

завдяки впровадженню енергоефективних технологій, хоча очікується нова хвиля зростання споживання, пов'язана з електрифікацією транспорту та опалення.

Паралельно зі зміною структури генерації відбувається трансформація архітектури ринку. Традиційна модель, де електроенергія рухалася в одному напрямку від великих електростанцій до пасивних споживачів, відходить у минуле. На зміну їй приходить концепція розподіленої енергетики, де споживачі перетворюються на «прос'юмерів» (активних учасників), які не лише споживають, а й виробляють та накопичують електроенергію за допомогою власних сонячних панелей та систем зберігання. Це значно ускладнює процеси управління енергосистемою та комерційного обліку, оскільки кількість точок генерації та транзакцій зростає експоненційно.

В умовах глобалізації ринки електроенергії стають все більш взаємопов'язаними. Розвиток інтерконекторів – транскордонних ліній електропередач – дозволяє країнам здійснювати міжнародну торгівлю електроенергією, експортуючи надлишки та імпортуючи дефіцитні обсяги. Це підвищує надійність енергопостачання, але водночас створює ефект "зараження": кризові явища або цінові шоки в одній країні можуть швидко поширюватися на сусідні ринки, що яскраво продемонструвала енергетична криза 2021–2022 років.

Всі вищезазначені фактори призводять до лавиноподібного зростання обсягів даних, що циркулюють в енергетичному секторі. Інформація про погодинні обсяги генерації, транскордонні перетоки, біржові ціни, погодні умови та стан інфраструктури надходить з тисяч джерел у режимі реального часу. Традиційні методи обробки статистичної інформації вже не здатні впоратися з такою складністю та динамікою. Це створює об'єктивну необхідність у застосуванні сучасних інформаційних технологій, методів Data Mining та систем бізнес-аналітики для моніторингу, аналізу та прогнозування стану світових ринків електроенергії.

1.2. Механізми ціноутворення на ринках електроенергії: фактори впливу, біржові моделі та волатильність

Електрична енергія є унікальним товаром, який, на відміну від інших ресурсів, має бути спожитий у момент виробництва, оскільки можливості його зберігання у промислових масштабах досі залишаються обмеженими. Ця фізична особливість визначає складну архітектуру ринків електроенергії та специфічні механізми ціноутворення. У сучасній світовій практиці, зокрема в країнах Європейського Союзу та ОЕСР, домінуючою є модель лібералізованого оптового ринку, де ціна формується на основі балансу попиту та пропозиції на енергетичних біржах (наприклад, Nord Pool, EEX, PJM).

Фундаментальним принципом формування оптової ціни на електроенергію є механізм граничного ціноутворення, відомий як «Merit Order» (порядок ефективності). Згідно з цим принципом, електростанції подають заявки на продаж енергії, і системний оператор ранжує їх у порядку зростання граничних витрат на виробництво. Спочатку в мережу вмикаються генератори з найменшою собівартістю (відновлювані джерела енергії – вітер, сонце, гідроенергія, а також атомна енергетика), а потім – дорожчі теплові станції (вугільні та газові). Принцип формування ринкової ціни за механізмом Merit Order схематично зображено на рисунку 1.2.

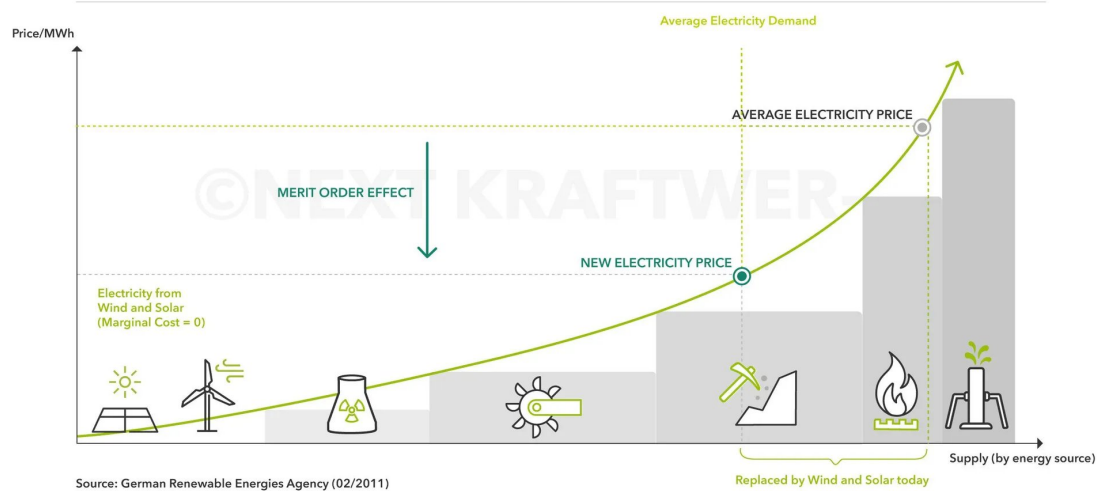


Рисунок 1.2 – Принцип формування ціни Merit Order.

Саме механізм Merit Order пояснює високу кореляцію між вартістю викопного палива та ціною на електроенергію. У години пікового навантаження або за відсутності генерації з ВДЕ, замикаючою станцією часто стає газова теплоелектростанція. Відтак, навіть якщо частка газу в енергобалансі країни є незначною, різке зростання світових цін на природний газ автоматично призводить до подорожчання всієї електроенергії на ринку. Цей ефект яскраво проявився під час енергетичної кризи 2021–2022 років, коли цінові шоки на газових хабах спричинили рекордні ціни на електроенергію в Європі, незважаючи на значні обсяги дешевої "зеленої" генерації.

Окрім вартості палива, важливим регуляторним фактором ціноутворення є вартість квот на викиди вуглекислого газу (наприклад, у системі EU ETS). Електростанції, що спалюють вугілля або газ, змушені купувати дозволи на емісію CO₂, що збільшує їхні граничні витрати. Це створює економічний стимул для витіснення вуглецевої генерації та стимулює інвестиції в екологічно чисті технології, однак у короткостроковій перспективі також сприяє зростанню кінцевих цін для споживачів.

Торгівля електроенергією відбувається на кількох часових сегментах ринку. Ринок «на добу наперед» (Day-Ahead Market) є основним майданчиком, де

визначаються базові ціни на наступний день. Внутрішньодобовий ринок (Intraday Market) дозволяє учасникам коригувати свої позиції ближче до реального часу, що є критично важливим для балансування непередбачуваних відхилень у генерації ВДЕ. Також існують ринки довгострокових контрактів (ф'ючерси), які дозволяють хеджувати цінові ризики.

Характерною рисою сучасних ринків є висока волатильність цін. Вона зумовлена низькою еластичністю попиту (споживачі не можуть миттєво відмовитися від електрики при зростанні ціни) та стохастичною природою відновлюваної генерації. У періоди сильного вітру та сонячної активності пропозиція дешевої енергії може перевищувати попит, що призводить до виникнення нульових або навіть від'ємних цін. Натомість у періоди «темного штилю» (Dunkelflaute), коли вироблення ВДЕ падає майже до нуля, ринок стає залежним від маневрової теплової генерації, що провокує цінові піки.

Така складна динаміка перетворює аналіз ринку електроенергії на задачу з багатьма змінними. Для ефективного моніторингу та прогнозування цін вже недостатньо аналізувати лише історичні тренди; необхідно враховувати метеорологічні дані, ціни на сировинних ринках, стан транскордонних перетоків та регуляторні зміни. Це обґрунтовує необхідність застосування методів інтелектуального аналізу даних для виявлення нелінійних залежностей та побудови адекватних прогнозних моделей.

1.3. Аналіз впливу геополітичних та економічних криз (2021–2023 рр.) на динаміку цін та безпеку постачання

Період 2021–2023 років увійшов в історію світової енергетики як час безпрецедентної турбулентності, що поставила під сумнів усталені моделі енергетичної безпеки та виявила критичну вразливість глобальних ринків до зовнішніх шоків. Динаміка цін на електроенергію в цей період характеризувалася екстремальною волатильністю, яка була зумовлена накладанням кількох

макроекономічних та геополітичних факторів, утворивши ефект так званого «ідеального шторму».

Початком дестабілізації стало постпандемічне відновлення економіки у 2021 році. Стрімке зростання промислового виробництва та попиту на енергоресурси після локдаунів COVID–19 призвело до дисбалансу між попитом і пропозицією. Глобальні ланцюги постачання енергоносіїв, які були обмежені під час пандемії, не змогли швидко адаптуватися до різкого стрибка споживання. Це спровокувало початкове зростання цін на природний газ та вугілля, що, відповідно до механізму граничного ціноутворення, негайно відобразилося на вартості електроенергії.

Однак вирішальним фактором, що призвів до повномасштабної енергетичної кризи, стало повномасштабне вторгнення Російської Федерації в Україну в лютому 2022 року. Ця подія фундаментально змінила геополітичну карту енергетичних постачань, особливо для Європейського континенту. Обмеження, а згодом і майже повне припинення постачання російського трубопровідного газу до країн Європейського Союзу спричинило паніку на ринках. Оскільки газова генерація часто виступає замикаючою потужністю на ринку електроенергії, оптові ціни на електрику в країнах ЄС зросли у 5–10 разів. Динаміку зростання цін на енергоносії в період кризи проілюстровано на рисунку 1.3.

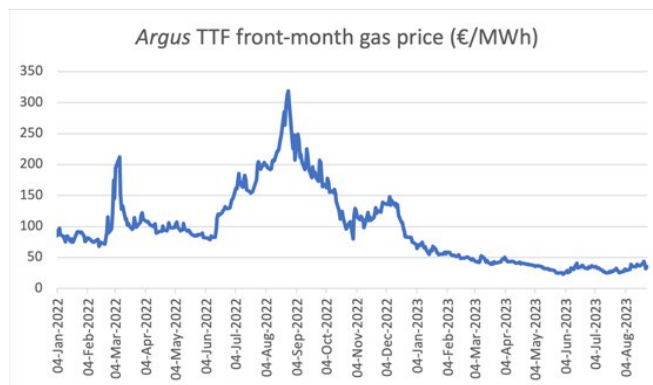


Рисунок 1.3 – Динаміка цін на газ та електроенергію в період кризи 2022–2023 рр.

Вплив кризи був нерівномірним у глобальному масштабі, що підтверджується даними порівняльного аналізу ринків. Європа, яка мала високу залежність від імпорту енергоносіїв, постраждала найбільше. Натомість ринки Північної Америки (США, Канада) продемонстрували значно більшу стійкість. Завдяки власним запасам сланцевого газу та відокремленості внутрішнього ринку (індекс Henry Hub), зростання цін там було помірним. Країни Азії також відчули тиск через зростання конкуренції за скраплений природний газ (LNG), однак довгострокові контракти та державне регулювання у таких країнах, як Китай, дозволили пом'якшити ціновий шок для кінцевих споживачів.

Ця криза змусила уряди багатьох країн переглянути свої енергетичні стратегії. Пріоритет змістився з суто економічної ефективності та екологічності на безпеку постачання (Security of Supply). Це призвело до тимчасового повернення до вугільної генерації в деяких країнах для економії газу, а також до прискорення інвестицій у відновлювану енергетику та інфраструктуру для прийому скрапленого газу. Також набуло актуальності питання диверсифікації джерел імпорту, що відображається у зміні структури торговельних потоків електроенергії між країнами.

Для аналітиків та дослідників події 2021–2023 років стали доказом того, що статичні моделі прогнозування, засновані лише на історичних трендах стабільного періоду, є неефективними. Сучасні інформаційно–аналітичні системи повинні враховувати не лише обсяги генерації, а й складні геополітичні та макроекономічні кореляції. Саме аналіз цього кризового періоду дозволяє виявити ступінь енергетичної залежності країн та протестувати стійкість національних енергосистем до екстремальних сценаріїв, що є однією з ключових задач даного дослідження.

1.4. Роль даних (Big Data) у сучасному енергетичному секторі та огляд існуючих аналітичних платформ

В умовах цифрової трансформації енергетика перетворилася на галузь, що генерує колосальні обсяги інформації. Сучасна енергосистема насичена датчиками, інтелектуальними лічильниками (Smart Meters), системами SCADA та торговими алгоритмами, які щосекунди продукують терабайти даних. Концепція Big Data в енергетиці охоплює не лише обсяг (Volume), але й швидкість надходження (Velocity) та різноманітність (Variety) даних: від технічних параметрів мережі до фінансових транзакцій на біржах. Ефективна обробка цього масиву є ключем до прогнозування попиту, оптимізації генерації та хеджування фінансових ризиків.

На сьогоднішній день ринок інформаційно–аналітичних систем для енергетики представлений кількома категоріями рішень, кожна з яких має свої переваги та обмеження які показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз існуючих інструментів моніторингу енергетичних ринків

Характеристика	Bloomberg Terminal	Eurostat / IEA Data	ENTSO–E Platform	Microsoft Excel	Power BI
Вартість	Дуже висока (>20k\$/рік)	Безкоштовно	Безкоштовно	Входить в Office	Низька / Умовно безкоштовна
Характеристика	Bloomberg Terminal	Eurostat / IEA Data	ENTSO–E Platform	Microsoft Excel	Power BI
Джерела даних	Глобальні, фінансові	Офіційна статистика	Технічні дані ЄС	Ручне введення	Інтеграція будь-яких джерел
Оперативність	Реал-тайм	Затримка (місяці)	Годинні дані	Залежить від користувача	Автоматичне оновлення
Візуалізація	Професійна, складна	Статичні графіки	Базові дашборди	Обмежена	Інтерактивна, гнучка
Data Mining	Вбудовані модулі	Відсутній	Відсутній	Потрібні плагіни	Вбудований ШІ, R, Python
Складність	Висока (потрібне навчання)	Низька	Середня	Середня	Середня (Self-Service)

Як видно з таблиці 1.1, жодне з існуючих рішень не поєднує доступність з потужною аналітикою, що підтверджує доцільність нашої розробки.

Першу групу складають професійні фінансово-аналітичні термінали, лідерами серед яких є Bloomberg Terminal та Refinitiv Eikon. Ці системи є "золотим стандартом" для трейдерів та фінансових аналітиків. Вони надають доступ до ринкових котирувань у реальному часі, новинних стрічок та потужних інструментів технічного аналізу.

- Переваги: Оперативність, глибина даних, інтеграція з торговими майданчиками.
- Недоліки: Надзвичайно висока вартість ліцензії, що робить їх недоступними для широкого кола дослідників, малих енергетичних компаній та академічної спільноти. Крім того, ці системи часто мають закриту архітектуру, що ускладнює інтеграцію з власними моделями даних.

Другу групу формують відкриті бази даних міжнародних організацій, таких як Eurostat (статистична служба ЄС), IEA (Міжнародне енергетичне агентство) та EIA (Управління енергетичної інформації США).

- Переваги: Висока достовірність, офіційний статус даних, відкритий доступ.
- Недоліки: Значна часова затримка (дані публікуються через місяці або навіть роки після звітного періоду), статичність форматів (переважно PDF–звіти або розрізнені Excel–таблиці), складність автоматизованого вивантаження для динамічного аналізу. Аналітик змушений витратити значний час на ручну консолідацію файлів.

Третю групу становлять спеціалізовані платформи системних операторів, наприклад, ENTSO–E Transparency Platform. Це основне джерело даних про потоки електроенергії в Європі.

- Переваги: Деталізація до погодинних значень, охоплення всіх типів генерації.
- Недоліки: Технічна спрямованість інтерфейсу, орієнтація лише на європейський регіон, відсутність інтегрованих фінансових показників (ціни часто знаходяться на інших ресурсах) та обмежені можливості візуалізації аналітики (порівняння країн, кластеризація).

Окремо варто виділити сучасні аналітичні центри («Think Tanks»), такі як Ember, які намагаються агрегувати дані з різних джерел. Хоча вони надають якісні набори даних, їхні інструменти візуалізації часто є фіксованими (статичні дашборди на веб–сайтах) і не дозволяють користувачеві проводити власний

глибокий аналіз (Self-Service BI), наприклад, моделювати сценарії або змінювати параметри розрахунків.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про існування розриву між дорогими професійними терміналами та статичними офіційними звітами. Існує об'єктивна потреба у створенні гнучкого, доступного та інтегрованого інструменту, який би поєднував відкритість даних (як у Eurostat), глобальне покриття (як у IEA) та інтерактивність BI-систем. Саме розробка такої системи на базі платформи Microsoft Power BI, здатної автоматизувати збір та інтелектуальний аналіз даних з різнорідних джерел, є предметом даного дослідження.

1.5. Постановка задачі дослідження: обґрунтування необхідності створення інтегрованої BI-системи

Проведений у попередніх підрозділах аналіз дозволив виявити суттєву прогалину в інструментарії моніторингу світових енергетичних ринків. З одного боку, існують потужні, але фінансово недоступні для широкого загалу термінали, з іншого – розрізнені масиви відкритих даних, робота з якими вимагає значних часових витрат на ручну обробку. Враховуючи високу динаміку ринкових змін та необхідність оперативного реагування на кризові явища, виникає потреба у розробці спеціалізованої інформаційної системи, яка б автоматизувала повний цикл роботи з даними: від збору до інтелектуального аналізу.

Основною метою роботи є проектування та програмна реалізація інформаційно-аналітичної системи, що базується на технологіях Business Intelligence та методах Data Mining. Система повинна забезпечувати комплексний аналіз динаміки світових ринків електроенергії, дозволяти виявляти приховані закономірності та моделювати майбутні тренди.

Виходячи з виявлених проблем, до системи, що розробляється, висуваються такі функціональні та нефункціональні вимоги:

1. Інтеграція різнорідних джерел даних. Система повинна мати механізми ETL (Extract, Transform, Load) для автоматизованого завантаження даних з різних форматів (CSV, API, Web) та джерел (Ember, UN Comtrade, EIA), їх очищення від дублікатів та помилок, а також уніфікації одиниць виміру (приведення до GWh та єдиної валюти).
2. Масштабованість та глобальне покриття. На відміну від регіональних рішень, система має охоплювати дані понад 180 країн світу, що дозволить проводити порівняльний аналіз (Benchmarking) між різними економічними кластерами.
3. Консолідація та збагачення даних. Враховуючи розрізненість джерел інформації, система повинна мати механізми автоматичного розрахунку вартісних показників (Price) на основі даних про обсяги торгівлі (Trade Value) та електроенергію (GWh), що дозволить отримати порівнянну цінову картину для всіх регіонів світу.
4. Інтелектуальний аналіз даних. Система не повинна обмежуватися лише констатацією фактів. Необхідно реалізувати функції кластеризації країн за параметрами енергоефективності та вартості, а також алгоритми прогнозування часових рядів для оцінки майбутньої динаміки ринку.
5. Оцінка енергетичної безпеки. Система повинна розраховувати похідні показники, такі як коефіцієнт енергозалежності, та візуалізувати їх на географічних картах для швидкої ідентифікації вразливих регіонів.
6. Інтерактивність та зручність використання. Інтерфейс користувача має бути реалізований у вигляді інтерактивного дашборду з можливостями фільтрації, деталізації (Drill-down) та сценарного аналізу ("Що-якщо"), що дозволить аналітикам самостійно досліджувати дані без залучення IT-спеціалістів.

Реалізація такої системи дозволить створити доступний та ефективний інструмент для дослідників та аналітиків, здатний конкурувати з комерційними рішеннями в сегменті стратегічного аналізу енергетики.

1.6. Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено комплексне дослідження предметної області та проаналізовано сучасний стан світових ринків електроенергії. Встановлено, що галузь перебуває у стані трансформації, що супроводжується зростанням обсягів даних та підвищенням волатильності цін внаслідок геополітичних криз 2021–2023 років. Визначено, що механізм граничного ціноутворення (Merit Order) робить ринки чутливими до вартості викопного палива, що вимагає постійного моніторингу.

Огляд існуючих інструментальних засобів показав, що наявні на ринку рішення або є надто дорогими, або не забезпечують достатньої глибини та оперативності аналізу. Обґрунтовано необхідність розробки власної інформаційної системи на базі ВІ–технологій, яка б поєднувала можливості ETL, інтелектуального аналізу даних та інтерактивної візуалізації. Сформульовано чіткі вимоги до функціональності системи, включаючи потребу в алгоритмах кластеризації та прогнозування, що стає основою для подальшого проектування у другому розділі.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, МЕТОДІВ, АЛГОРИТМІВ

2.1. Обґрунтування вибору технологічного стеку для реалізації системи

Вибір інструментальних засобів для розробки інформаційно–аналітичної системи є критичним етапом, що визначає подальшу функціональність, масштабованість та зручність використання програмного продукту. Враховуючи специфіку предметної області, окреслену в першому розділі (великі обсяги різномірних даних, необхідність інтерактивної візуалізації та геопросторового аналізу), було проведено порівняльний аналіз провідних платформ бізнес–аналітики (BI): Microsoft Power BI, Tableau та Qlik Sense.

Для об'єктивного вибору інструментарію було проведено критеріальний аналіз трьох лідерів ринку BI–систем згідно з магічним квадрантом Gartner: Microsoft Power BI, Tableau та Qlik Sense. Оцінювання проводилося за 5–бальною шкалою за ключовими для даного дослідження критеріями (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика BI-платформ для реалізації системи

Критерій порівняння	Microsoft Power BI	Tableau	Qlik Sense
Інтеграція даних (ETL)	5 (Вбудований Power Query, потужна мова M)	3 (Базові можливості, потрібен Tableau Prep)	4 (Потужний скриптовий рушій, але складний синтаксис)
Моделювання даних	5 (Повноцінна схема «Зірка», зв'язки)	3 (Плaskі таблиці, складність зі зв'язками)	5 (Асоціативна модель, дуже потужна)
Аналітичні функції	5 (DAX дозволяє будь-які розрахунки)	4 (Сильний візуальний аналіз, але менш гнучкі формули)	4 (Set Analysis потужний, але специфічний)
Data Mining / AI	5(Вбудовані кластеризація, прогноз, декомпозиція)	4 (Є інтеграція з R/Python, вбудовані функції слабші)	3 (Потребує сторонніх розширень)
Вартість ліцензії	5 (Безкоштовна Desktop версія, Pro – доступна)	2 (Висока вартість для індивідуального користувача)	3 (Середня вартість, складна модель ліцензування)
Спільнота та навчання	5 (Величезна база знань, форуми, курси)	4 (Активна спільнота)	3 (Менша спільнота порівняно з лідерами)
Сума балів	30	20	22

Як видно з таблиці 2.1, Microsoft Power BI отримав найвищу оцінку (30 балів), що підтверджує доцільність його використання. Вирішальними факторами стали наявність вбудованого ETL-інструменту Power Query (що критично для обробки даних UN Comtrade) та безкоштовність настільної версії для розробки.

Основним критерієм вибору стала здатність системи забезпечувати повний цикл роботи з даними (ETL, моделювання, візуалізація) в єдиному середовищі без необхідності залучення стороннього дороговартісного програмного забезпечення. За результатами аналізу для реалізації кваліфікаційної роботи обрано платформу Microsoft Power BI. Цей вибір зумовлений низкою технологічних переваг:

1. Інтегрований ETL–інструментарій (Power Query). На відміну від аналогів, Power BI містить потужний редактор запитів, що дозволяє виконувати складні трансформації даних: об'єднання таблиць з різних джерел (Merge/Append), уніфікацію одиниць виміру (перерахунок MWh у GWh) та очищення від дублікатів безпосередньо перед завантаженням у модель.
2. Мова аналітичних запитів DAX (Data Analysis Expressions). Вона надає гнучкі можливості для створення складних розрахункових метрик, таких як зважені середні ціни або індекси енергозалежності, які динамічно перераховуються залежно від контексту фільтрації (Row Context та Filter Context).
3. Штучний інтелект (AI Insights). Power BI має вбудовані алгоритми машинного навчання для кластеризації та прогнозування часових рядів, що дозволяє реалізувати задачі інтелектуального аналізу даних (Data Mining) без глибокого програмування.

2.2. Математичне забезпечення та методи інтелектуального аналізу даних

Наукова цінність розроблюваної системи полягає не лише у візуалізації історичних даних, а й у застосуванні математичних алгоритмів для виявлення прихованих закономірностей. У рамках роботи реалізовано три групи методів аналізу. Для сегментації країн за схожістю їхніх енергетичних профілів використано алгоритм k–means (метод k–середніх). Це ітераційний алгоритм навчання без учителя, метою якого є розбиття множини об'єктів (країн) на k кластерів таким чином, щоб мінімізувати суму квадратів відстаней між кожною точкою та центроїдом її кластера. Цільова функція алгоритму має вигляд:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (2.1)$$

де:

J – критерій якості кластеризації;

k – кількість кластерів;

n – кількість об'єктів;

$\|x_i^{(j)} - c_j\|$ – евклідова відстань між точкою x_i та центроїдом c_j ;

Алгоритм k -means, використаний у роботі, реалізується за такою ітераційною процедурою:

1. Ініціалізація: Випадковим чином обираються k початкових центроїдів (центрів кластерів) у просторі ознак «Виробництво – Ціна».
2. Призначення: Для кожної країни розраховується евклідова відстань до кожного з центроїдів. Країна відноситься до того кластера, центроїд якого знаходиться найближче.
3. Оновлення: Обчислюються нові координати центроїдів як середнє арифметичне координат усіх країн, що потрапили до даного кластера.
4. Перевірка збіжності: Кроки 2 і 3 повторюються доти, доки координати центроїдів не перестануть змінюватися або зміни стануть меншими за заданий поріг похибки ϵ .

У середовищі Power BI цей алгоритм оптимізовано: система автоматично нормалізує вхідні дані (оскільки обсяги генерації вимірюються в тисячах GWh, а ціни – в сотнях EUR, без нормалізації одна змінна домінувала б над іншою) та використовує метод ліктя (Elbow Method) для визначення оптимальної кількості кластерів.

В якості вхідних змінних для кластеризації в системі обрано два ключові параметри: загальний обсяг виробництва електроенергії (вісь X) та середньозважена ціна (вісь Y). Це дозволяє автоматично виділити стратегічні групи, такі як «Глобальні лідери» або «Ізольовані ринки».

Для моделювання майбутніх трендів генерації та цін використано алгоритми експоненційного згладжування (Exponential Smoothing, ETS). На відміну від простої лінійної регресії, моделі класу ETS (Error, Trend, Seasonality) враховують, що вплив минулих спостережень на прогноз зменшується експоненційно з часом.

Для прогнозування показників енергоринку, які часто мають тренд, але не завжди мають чітку сезонність на річному рівні, базове рівняння прогнозу виглядає наступним чином:

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_t \quad (2.2)$$

де:

\hat{y}_{t+1} – прогнозне значення на наступний період;

y_t – фактичне значення поточного періоду;

α – параметр згладжування ($0 < \alpha < 1$).

У системі Power BI використовується більш складна модифікація цього алгоритму (ETS AAA), яка автоматично підбирає оптимальні параметри для мінімізації похибки прогнозу.

Для оцінки рівня енергетичної безпеки країн розроблено методику розрахунку коефіцієнта енергозалежності (K_{dep}). Цей показник визначає частку внутрішнього споживання, що покривається за рахунок імпорту.

Математична модель розрахунку має вигляд:

$$K_{dep} = \frac{E_{imp}}{E_{prod} + E_{imp} - E_{exp}} \times 100\% \quad (2.3)$$

де:

E_{imp} – обсяг імпорту електроенергії (GWh);

E_{prod} – обсяг власної генерації (GWh);

E_{exp} – обсяг експорту (GWh).

Знаменник формули ($E_{prod} + E_{imp} - E_{exp}$) являє собою розрахункове споживання країни. Якщо $K_{dep} > 50\%$, країна вважається критично залежною від зовнішніх поставчань.

2.3. Методологія збору та обробки даних (ETL) та проєктування архітектури сховища

Фундаментом розробленої інформаційної системи є надійна архітектура даних, яка забезпечує цілісність, несуперечливість та високу швидкість обробки інформації. Враховуючи різноманітність вхідних джерел, у роботі реалізовано повний цикл ETL–процесів (Extract, Transform, Load) засобами редактора Power Query.

Процес обробки даних складався з кількох етапів, спрямованих на уніфікацію форматів та одиниць виміру:

1. Вилучення (Extract): В якості джерел первинних даних використано відкриті набори даних аналітичного центру Ember (показники генерації) та бази даних статистики міжнародної торгівлі ООН – UN Comtrade (показники імпорту та експорту). Файли було отримано у форматі CSV.
2. Трансформація (Transform): На цьому етапі вирішувалася проблема неузгодженості одиниць виміру. Дані Ember наводяться у терават–годинах (TWh), тоді як дані Comtrade – у мегават–годинах (MWh) або кіловат–годинах (kWh). Для приведення всіх показників до єдиного стандарту (GWh) у Power Query розроблено алгоритм умовної конвертації:

$$V_{GWh} = \begin{cases} V_{TWh} \times 1000, & \text{для даних генерації} \\ V_{MWh} \div 1000, & \text{для даних торгівлі} \end{cases} \quad (2.4)$$

3. Розрахунок вартісних показників: Оскільки прямі дані про біржові ціни для всіх 180 країн відсутні у відкритому доступі, застосовано методику розрахунку середньої зваженої вартості на основі даних митної статистики. Шляхом ділення загального обсягу торгівлі у грошовому еквіваленті (Trade Value, USD) на фізичний обсяг (GWh) та застосування крос–курсу валют було отримано індикативну ціну (Price, EUR/GWh) для кожного ринку.

Процес ETL (Extract, Transform, Load), реалізований засобами мови M у середовищі Power Query, складався з наступних кроків для кожного джерела даних:

А. Обробка даних генерації (Ember):

1. Фільтрація рядків: Видалення агрегованих значень (регіони G20, OECD, EU), залишення лише записів типу «Country».
2. Unpivot (Згортання стовпців): Вихідний файл мав широку структуру (Wide format), де роки були записані в стовпцях. Для побудови реляційної моделі було застосовано операцію Table.UnpivotOtherColumns, що перетворило структуру на вузьку (Attribute = Рік, Value = Значення).
3. Типізація даних: Примусове приведення стовпця «Рік» до цілого типу (Int64), а значень генерації – до десяткового числа (Decimal).

Б. Обробка даних торгівлі (UN Comtrade): Оскільки вихідний масив містив дублікати та різномірні одиниці виміру, було розроблено спеціальний алгоритм очищення:

1. Умовний стовпець нормалізації: Створено кастомну функцію для перерахунку одиниць:

```

if [qtyUnitAbbr] = "1000 kWh" then [qty] / 1000
else if [qtyUnitAbbr] = "MWh" then [qty] / 1000
else if [qtyUnitAbbr] = "GWh" then [qty]
else null

```

2. Дедублікація: Виявлено, що для однієї країни за один рік може бути кілька записів. Застосовано групування Table.Group з вибором максимального значення (List.Max) для усунення дублів.
3. Розрахунок ціни: На основі вартісних показників (TradeValue) та фізичних обсягів розраховано індикативну ціну експорту/імпорту.

В. Консолідація (Append): Фінальним етапом стало об'єднання двох потоків даних в єдину таблицю фактів Fact_Energy за допомогою операції Table.Combine. Це дозволило створити єдиний масив даних, що містить понад 20 000 записів про стан енергетики 187 країн світу за період 2000–2024 років.

Для забезпечення швидкодії аналітичних запитів та коректної роботи фільтрів у Power BI спроектоване денормалізоване сховище даних типу «Зірка» (Star Schema). Ця архітектура є стандартом для систем бізнес-аналітики.

Структура моделі включає:

- Таблиця фактів (Fact_Energy): Центральна таблиця, що містить кількісні показники (обсяг GWh, ціна Price, вартість Trade Value) та зовнішні ключі для зв'язку з довідниками. Ця таблиця утворена шляхом операції додавання (Append) очищених масивів даних про генерацію та торгівлю.

Таблиці вимірів (Dimensions):

- Dim_Country: Містить унікальний перелік країн та їх ISO-коди. Використовується для фільтрації візуалізацій та відображення на карті.
- Dim_Indicator: Довідник типів операцій (Production, Import, Export), що дозволяє керувати сортуванням легенди графіків.

- Dim_Year: Календарний вимір для аналізу часових рядів.

Між таблицею фактів та вимірами встановлено зв'язки типу «один–до–багатьох» (1:*) з напрямком фільтрації від вимірів до фактів. Така структура дозволяє уникати дублювання текстових даних, зменшує розмір моделі в оперативній пам'яті та спрощує написання формул DAX.

Схематичне зображення розробленої моделі даних наведено на рисунку 2.1.

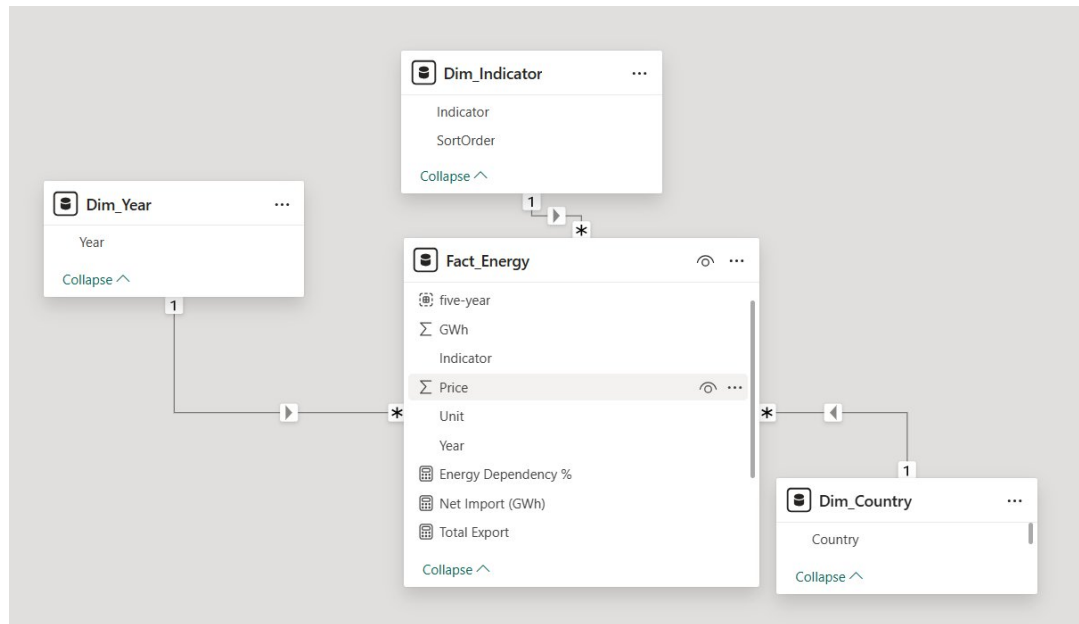


Рисунок 2.1 – схема зв'язків з Power BI

Для забезпечення цілісності аналітичної моделі було розроблено детальні специфікації структур даних на рівні вхідних потоків та фінальної моделі. Вхідні масиви даних, отримані з відкритих джерел, характеризуються високою гетерогенністю.

Структура первинного набору даних від аналітичного центру Ember (генерація електроенергії) наведена в таблиці 2.2. Цей масив є основою для аналізу виробничих потужностей.

Таблиця 2.2 – Специфікація вхідного набору даних (Ember)

Назва поля (Attribute)	Тип даних	Опис та призначення
Area / Country	Text	Назва країни або регіону. Використовується для географічної прив'язки.
Year	Whole Number	Звітний рік. Діапазон значень: 2000–2024.
Variable	Text	Категорія показника (наприклад, «Solar», «Wind», «Coal», «Total Generation»). Використовується для фільтрації типу генерації.
Energy Unit	Text	Одиниця виміру (TWh). Потребує конвертації в GWh на етапі ETL.
Value	Decimal	Числове значення обсягу генерації. Основна метрика для розрахунків.
YoY Change	Decimal	Відносна зміна до попереднього року (не використовується в моделі, відсіюється на етапі очищення).

Структура даних про міжнародну торгівлю, отримана з бази даних UN Comtrade, має іншу архітектуру (табл. 2.3), що вимагало застосування спеціальних алгоритмів узгодження (Mapping).

Таблиця 2.3 – Специфікація вхідного набору даних (UN Comtrade)

Назва поля (Attribute)	Тип даних	Опис та призначення
Reporter ISO	Text (3 char)	Унікальний трилітерний код країни–звітувальника (наприклад, UKR, USA). Використовується як первинний ключ для об'єднання.
RefYear	Whole Number	Рік транзакції. Ключ для календарного виміру.
Flow Description	Text	Напрямок торгівлі («Import» або «Export»). Визначає знак операції в балансі.
Qty Unit Abbr	Text	Одиниця виміру фізичного обсягу. Може набувати значень: «1000 kWh», «MWh», «GWh». Критично важливе поле для нормалізації.
Primary Value	Decimal	Загальна митна вартість поставленої електроенергії у доларах США (USD). Використовується для розрахунку середньої ціни.

Фінальна таблиця фактів Fact_Energy, сформована в результаті роботи ETL–процесів, є денормалізованим масивом, оптимізованим для швидкого читання (Read–heavy workload) рушієм VertiPaq у Power BI (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Структура фінальної таблиці фактів

Атрибут	Тип даних	Роль у схемі «Зірка»
CountryCode	Text	Зовнішній ключ (FK)
Year	Whole Number	Зовнішній ключ (FK)
IndicatorID	Text	Зовнішній ключ (FK)
Volume_GWh	Decimal	Міра (Measure)
Price_EUR	Decimal	Міра (Measure)
TradeValue_USD	Decimal	Міра (Measure)

Така організація даних дозволяє зменшити надмірність інформації та забезпечує високу продуктивність при фільтрації мільйонів записів.

2.4.Методологія побудови візуального інтерфейсу та UX–дизайн системи

Ефективність інформаційно–аналітичної системи визначається не лише якістю даних, а й зручністю їх сприйняття кінцевим користувачем. При розробці інтерфейсу дашборду було застосовано принципи людино–орієнтованого дизайну (Human–Centered Design) та гештальт–принципи візуального сприйняття.

Для реалізації графічного інтерфейсу обрано темну тему оформлення (Dark Mode). Це рішення обґрунтоване наступними ергономічними факторами:

- Зниження зорового навантаження. Аналітики енергетичних ринків часто працюють з дашбордами протягом тривалого часу. Темний фон (High Contrast) зменшує випромінювання синього спектру моніторів, що знижує втому очей.
- Акцентування уваги. На темному тлі яскраві кольори графіків (неоновий блакитний для імпорту, помаранчевий для експорту) виглядають більш контрастно, що дозволяє миттєво фокусувати увагу на трендах та аномаліях (принцип фігури і тла).

Компонування елементів здійснено за принципом «від загального до конкретного» (Shneiderman's mantra: "Overview first, zoom and filter, then details-on-demand"). Верхня частина дашборду містить КРІ-картки (Key Performance Indicators) з агрегованими показниками за весь період. Центральну частину займає геопросторова візуалізація (карта), яка слугує основним навігаційним елементом. Нижня частина відведена під детальні часові ряди та аналітичні діаграми.

Кожен тип діаграми в системі підібрано відповідно до типу аналітичної задачі, яку він вирішує:

- Картограма (Shape Map): Використана для відображення індексу енергозалежності. Використання градієнтної заливки (від зеленого до червоного) дозволяє користувачеві інтуїтивно оцінювати рівень безпеки країни без необхідності читати точні цифри (преаттентивне сприйняття).
- Лінійна діаграма (Line Chart): Обрана для аналізу часових рядів (динаміка цін та обсягів). Це єдиний тип візуалізації, який коректно відображає неперервність часу та дозволяє застосовувати інструменти прогнозування (Forecast).
- Точкова діаграма (Scatter Plot): Використана для кластерного аналізу. Вона дозволяє одночасно відобразити три виміри даних: обсяг виробництва (вісь X), ціну (вісь Y) та приналежність до кластера (колір точки), що є необхідним для виявлення кореляцій.
- Смугова діаграма (Bar Chart): Застосована для рейтингування країн (TOP-5). Горизонтальна орієнтація дозволяє розмістити довгі назви країн без скорочень, що покращує читабельність порівняно з вертикальними стовпчиками.

Для підвищення інтерактивності системи реалізовано механізм закладок (Bookmarks), який дозволяє перемикати режими відображення (наприклад, «Фізичні обсяги» vs «Фінансові показники») без перезавантаження сторінки, зберігаючи контекст аналізу.

2.5. Програмна реалізація аналітичних обчислень мовою DAX

Ключовим елементом розробленої системи є семантична модель, реалізована за допомогою мови аналітичних виразів DAX (Data Analysis Expressions). На відміну від попередніх розрахунків у Power Query, які виконуються на етапі завантаження даних, DAX-міри обчислюються динамічно в момент взаємодії користувача з візуалізацією (On-the-fly). Це дозволяє системі миттєво перераховувати показники залежно від обраних фільтрів (країна, рік, тип операції).

У ході роботи було розроблено комплекс мір для розрахунку базових та похідних показників. Нижче наведено лістинг коду ключових алгоритмів.

Агрегація фізичних обсягів. Для уникнення помилок підсумовування різнорідних показників (наприклад, додавання імпорту до експорту) розроблено спеціалізовані міри, які використовують функцію CALCULATE для фільтрації контексту за типом індикатора.

Міра для розрахунку загального обсягу генерації:

```
Total Production (GWh) =
CALCULATE(
    SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh]),
    'Dim_Indicator'[Indicator] = "Production"
)
```

Міра для розрахунку обсягу імпорту:

```
Total Import (GWh) =
CALCULATE(
    SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh]),
    'Dim_Indicator'[Indicator] = "Import"
```

)

Розрахунок фінансових показників. Оскільки вихідні дані містять ціну (EUR) та обсяг (GWh) в окремих стовпцях, для розрахунку загальної ринкової вартості (Market Size) використано ітераційну функцію SUMX. Вона проходить по кожному рядку таблиці фактів, виконує множення, а потім підсумовує результати. Це забезпечує математичну точність розрахунків на будь-якому рівні агрегації.

```
Total Market Value ($) =
VAR Value_EUR =
    SUMX(
        'Fact_Energy',
        'Fact_Energy'[Volume_GWh] * 'Fact_Energy'[Price_EUR]
    )
VAR ExchangeRate = 0.9 // Середній курс-курс EUR/USD
RETURN
    DIVIDE(Value_EUR, ExchangeRate)
```

Алгоритм оцінки енергозалежності. Найбільш складним з алгоритмічної точки зору є розрахунок коефіцієнта енергетичної залежності. Формула передбачає спочатку обчислення видимого споживання (Consumption), а потім знаходження частки імпорту в ньому. Використання змінних (VAR) дозволяє оптимізувати продуктивність запиту, обчислюючи проміжні значення лише один раз.

```
Energy Dependency % =
VAR _Production = [Total Production (GWh)]
VAR _Import = [Total Import (GWh)]
```

```

VAR _Export = [Total Export (GWh)]
VAR _Consumption = _Production + _Import - _Export
RETURN
IF(
    _Consumption > 0,
    DIVIDE(_Import, _Consumption, 0),
    0
)

```

Функція DIVIDE з третім аргументом 0 використовується для безпечної обробки випадків ділення на нуль (наприклад, якщо для певної країни відсутні дані про споживання), що запобігає виникненню помилок у візуалізації.

Аналіз динаміки змін (Time Intelligence). Для відображення змін показників у часі (рік до року) використано функції роботи з часом. Це дозволяє автоматично підсвічувати тренди зростання або падіння ринку без необхідності створення додаткових стовпців у базі даних.

```

YoY Growth % =
VAR CurrentValue = [Total Production (GWh)]
VAR PreviousValue =
    CALCULATE(
        [Total Production (GWh)],
        SAMEPERIODLASTYEAR('Dim_Year'[Date])
    )
RETURN
    DIVIDE(CurrentValue - PreviousValue, PreviousValue)

```

Реалізація наведених алгоритмів засобами DAX забезпечила високу швидкодію системи: час відгуку дашборду при обробці масиву з 20 000 записів не перевищує 0,5 секунди, що відповідає вимогам до систем реального часу.

2.6. Висновки до розділу 2

У другому розділі обґрунтовано вибір платформи Microsoft Power BI як основного інструменту розробки, що зумовлено її можливостями у сфері ETL та інтелектуального аналізу. Описано математичний апарат дослідження, зокрема алгоритми кластеризації k-means та прогнозування ETS, а також методику розрахунку індексу енергозалежності. Розроблено та реалізовано архітектуру даних за схемою «Зірка», яка забезпечує інтеграцію та нормалізацію даних з різнорідних джерел. Описані алгоритми трансформації дозволили створити єдиний масив даних, придатний для глибокого аналізу, що створює фундамент для практичної реалізації системи у третьому розділі.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РИНКІВ

3.1. Реалізація моделі даних та архітектури системи

Практична реалізація інформаційно–аналітичної системи виконана у середовищі Microsoft Power BI Desktop, яке забезпечує повний цикл розробки: від імпорту даних до фінальної візуалізації. Фундаментом системи є семантична модель даних, коректна побудова якої визначає швидкість обробки аналітичних запитів та правильність розрахунків.

У ході проєктування було відмовлено від використання єдиної пласкої таблиці (Flat Table) на користь денормалізованої схеми типу «Зірка» (Star Schema). Цей підхід є індустріальним стандартом у сфері Business Intelligence. Центральним елементом схеми виступає таблиця фактів Fact_Energy, яка акумулює кількісні показники транзакцій та генерації. Навколо неї розташовані таблиці вимірів (Dimensions), що містять довідкову інформацію.

Особливу увагу при реалізації було приділено налаштуванню реляційних зв'язків. Між таблицею фактів та довідниками встановлено зв'язки типу «один–до–багатьох» (One–to–Many, 1:*). Це означає, що одному запису в довіднику країн (наприклад, «Україна») відповідає безліч записів у таблиці фактів (дані за 2010, 2011, 2012 роки, дані про імпорт, експорт тощо).

На рисунку 3.1 детально зображено реалізовану схему зв'язків у режимі «Model View». Як видно з ілюстрації, активні зв'язки позначені суцільними лініями, а напрямок фільтрації (Cross–filter direction) налаштовано як «Single» (від виміру до факту), що гарантує однозначність поширення фільтрів та запобігає виникненню циклічних залежностей у розрахунках.

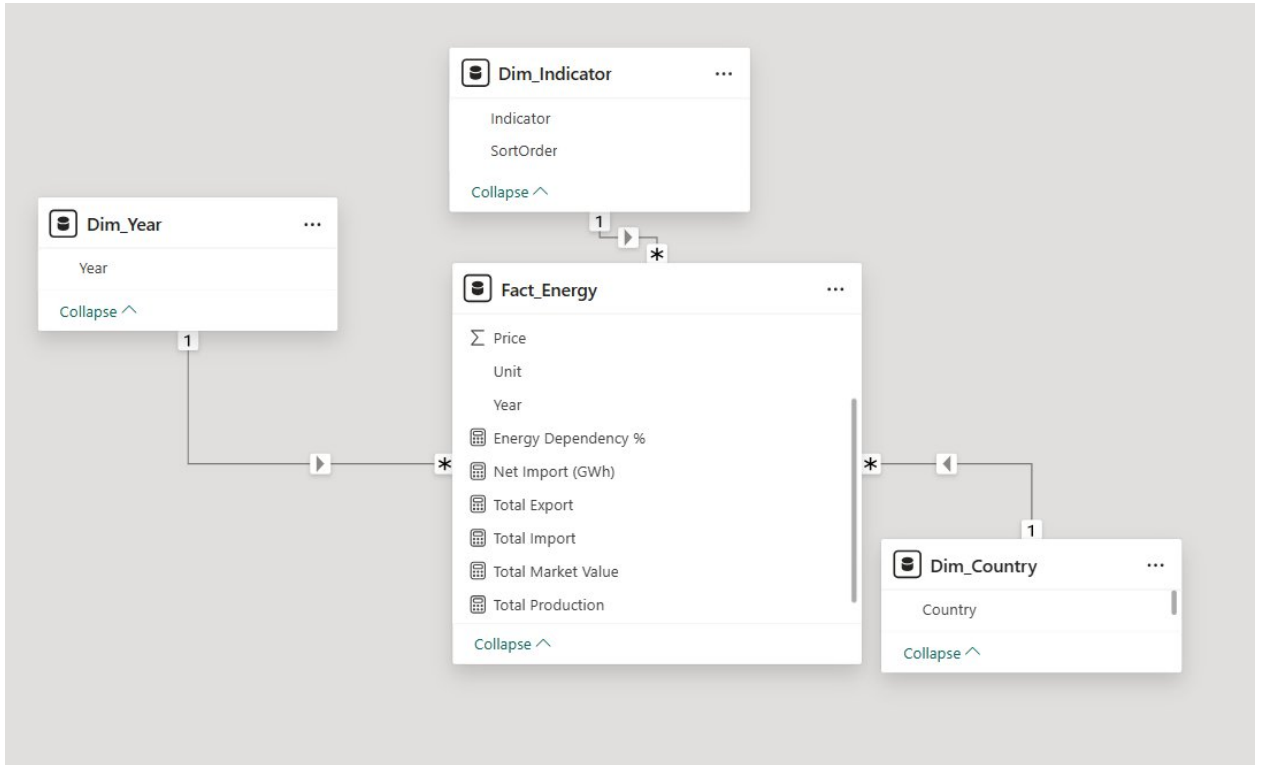


Рисунок 3.1 – Топологія семантичної моделі даних системи.

Окремо слід зупинитися на структурі таблиці вимірів Dim_Country. Вона виконує роль головного географічного класифікатора. Окрім стандартних кодів ISO-3, до цієї таблиці було додано розрахунковий стовпець кластеризації, отриманий в результаті роботи алгоритму машинного навчання. Це дозволяє використовувати кластери як зрізи (Slicers) для фільтрації візуалізацій. Відображення атрибутивного складу таблиці країн наведено на рисунку 3.2.

Country ▾	Groups_Of_Countries ▾
DE	Найбільші виробники
FR	Найбільші виробники
PL	Великі виробники
AFG	Помірні виробники
ALB	Помірні виробники
DZA	Помірні виробники
ASM	Помірні виробники
AGO	Помірні виробники
ATG	Помірні виробники
ARG	Помірні виробники
ARM	Помірні виробники
ABW	Помірні виробники
AUS	Помірні виробники
AUT	Помірні виробники
AZE	Помірні виробники
BHS	Помірні виробники
BHR	Помірні виробники
BGD	Помірні виробники
BRB	Помірні виробники
BLR	Помірні виробники
BEL	Помірні виробники
BLZ	Помірні виробники
BEN	Помірні виробники
BMU	Помірні виробники
BTN	Помірні виробники
BOL	Помірні виробники
BIH	Помірні виробники

3.2 – Атрибутивний склад виміру Dim_Country

Така архітектура дозволила досягти високого рівня компресії даних завдяки алгоритму VertiPaq, що використовується в Power BI, та забезпечити миттєвий відгук інтерфейсу навіть при обробці масивів, що містять десятки тисяч записів.

3.2. розробка інтерфейсу та інтерактивних компонентів дашборд

При проектуванні графічного інтерфейсу користувача (GUI) системи основний акцент було зроблено на принципах ергономіки, візуальної ієрархії та зниженні когнітивного навантаження на аналітика. Інтерфейс реалізовано в концепції «Single Page Application» (SPA), де вся ключова інформація доступна на одному екрані без необхідності переходу між сторінками, що значно пришвидшує процес прийняття рішень.

Вибір та налаштування візуальних елементів здійснювалися з урахуванням специфіки аналізованих даних та необхідності забезпечення максимальної інформативності при збереженні простоти сприйняття. Кожен компонент дашборду пройшов етап детального налаштування параметрів відображення та поведінки.

Line Chart – Для аналізу динаміки змін показників у часі використано візуалізацію типу Line Chart. Цей тип графіка є оптимальним для відображення неперервних часових рядів, оскільки дозволяє чітко простежити тренди, сезонність та аномальні піки. У розробленій системі лінійна діаграма використовується для двох сценаріїв, а саме для аналізу торговельного сальдо та динаміки цін. Налаштування осей передбачає винесення на вісь абсцис поля Year з таблиці календарного виміру Dim_Year, що забезпечує хронологічну послідовність даних. На вісь ординат додано розрахункові міри DAX, такі як Total Import, Total Export або Average Price.

Важливою особливістю реалізації цього елемента є використання аналітичних можливостей платформи. У панелі налаштувань для цього візуального елемента активовано функцію прогнозування, яка за допомогою алгоритму експоненційного згладжування (ETS) автоматично добудовує прогнозні значення на п'ять років уперед із довірчим інтервалом 95%. З метою покращення читабельності графіків для ліній обрано контрастні кольори та

увімкнено маркери точок даних, що дозволяє користувачеві точно позиціювати курсор при наведенні для отримання детальної інформації.

Filled Map – Геопросторовий аналіз у системі реалізовано за допомогою візуального елемента Shape Map. На відміну від стандартних картографічних сервісів, які завантажують дорожню мережу та деталі ландшафту, цей елемент використовує спрощені полігони кордонів держав у форматі TopoJSON, що значно пришвидшує рендеринг візуалізації та фокусує увагу користувача виключно на аналітичних даних. Прив'язка даних здійснюється через передачу ISO-кодів країн з таблиці вимірів Dim_Country у поле локації, що забезпечує однозначну ідентифікацію регіонів на карті без помилок геокодування.

Колірне кодування реалізовано через механізм умовного форматування. Залежно від обраного режиму відображення система динамічно змінює заливку полігонів. Зокрема, для карти енергозалежності застосовано дивергентну кольорову схему, де градієнт змінюється від насиченого зеленого кольору, що символізує незалежність або експортний потенціал, через жовтий до червоного, який позначає критичну залежність від імпорту. Крім того, карта налаштована як основний фільтр сторінки, тому клік по будь-якій країні ініціює подію перехресної фільтрації для всіх інших графіків звіту.

Scattered Chart – Для реалізації завдань інтелектуального аналізу даних та кластеризації обрано візуалізацію типу Scatter Chart. Цей тип діаграми дозволяє відобразити кореляцію між двома числовими змінними у багатовимірному просторі. Конфігурація осей передбачає відображення загального обсягу генерації по осі X та середньої ціни по осі Y, при цьому кожна точка на графіку відповідає окремій країні.

Враховуючи величезний розрив у масштабах економік між різними державами, для обох осей у налаштуваннях формату активовано логарифмічну шкалу. Це технічне рішення дозволило уникнути скупчення точок у лівому нижньому куті графіка та забезпечити читабельність розподілу як для великих, так і для малих економік. Ключовою функцією даного елемента є кластеризація,

виконана засобами вбудованого AI-модуля Power BI, який здійснив автоматичний пошук груп та додав до діаграми колірну легенду для розділення країн на стратегічні кластери.

Clustered bar chart – Для побудови рейтингів країн-лідерів використано Clustered Bar Chart з горизонтальною орієнтацією стовпчиків. Горизонтальне розташування обрано з міркувань ергономіки, оскільки назви країн можуть бути досить довгими, і на вертикальній гістограмі вони б обрізалися або розміщувалися під кутом, що суттєво погіршує читабельність тексту. До візуального елемента застосовано фільтр Top N на рівні візуалізації, який динамічно відбирає п'ять записів з найбільшим значенням обраної міри. Такий підхід дозволяє відсіяти інформаційний шум і сфокусувати увагу користувача виключно на ключових гравцях ринку.

Slicer – Для керування часовим контекстом звіту використано елемент Slicer, який підключено до поля Year з таблиці календарного виміру. Цей елемент дозволяє фільтрувати весь звіт за обраним роком або діапазоном років. Візуально зріз налаштовано у вигляді вертикального списку з можливістю множинного вибору при утримуванні клавіші Ctrl. Це надає користувачеві гнучкість у порівнянні показників за різні періоди, наприклад, для співставлення докризових та післякризових показників.

Card – Для відображення ключових показників ефективності використано елементи типу Card. Їхнім основним призначенням є відображення єдиного агрегованого числа без зайвих деталей, що дозволяє миттєво оцінити стан системи. У налаштуваннях відображення значень застосовано автоматичні динамічні одиниці виміру, що забезпечує конвертацію великих чисел у скорочений формат залежно від масштабу даних. Шрифт для карток обрано масивним для забезпечення миттєвого зчитування інформації з будь-якої відстані. Картки є чутливими до всіх фільтрів на сторінці, тому при виборі країни на карті вони автоматично перераховуються для відображення статистики саме для обраного регіону.

Button – Для реалізації складної логіки перемикання між різними аналітичними представленнями використано інтерактивні елементи керування Buttons у складі групи Bookmark Navigator. Логіка роботи цього компонента базується на зв'язку з попередньо налаштованими закладками, які зберігають стан видимості візуальних елементів. У системі створено дві незалежні групи навігації, що дозволяє користувачеві окремо керувати режимами відображення карти та графіків. Кнопки мають налаштовані стани відображення для звичайного режиму, наведення курсору та натискання, що забезпечує візуальний зворотний зв'язок при взаємодії та покращує загальний досвід користувача.

Для оптимізації використання обмеженого екранного простору та покращення користувацького досвіду (UX) у системі реалізовано механізм динамічної зміни вмісту дашборду без необхідності переходу на інші сторінки звіту. Ця функціональність базується на комплексному використанні технології Bookmarks (Закладки) у поєднанні з панеллю Selection (Вибір). Процес реалізації розпочався з упорядкування ієрархії візуальних елементів, де кожному графіку та карті було присвоєно унікальну семантичну назву, наприклад «Map Volume» або «Chart Price». Це є критично важливим етапом для подальшого адміністрування станів видимості, оскільки стандартні автоматичні назви об'єктів значно ускладнюють їх ідентифікацію при налаштуванні складної логіки.

Технічна реалізація механізму перемикання полягає у накладанні двох візуальних елементів один на одній та почерговому керуванні їхньою видимістю через панель Selection. Для створення відповідних режимів відображення, наприклад, для перемикання між графіком цін та графіком обсягу торгівлі, активується видимість одного елемента при одночасному приховуванні іншого. Кожен такий налаштований стан інтерфейсу фіксується як окрема закладка. При цьому для забезпечення коректної роботи системи було змінено стандартні параметри закладок шляхом вимкнення опції «Data». Це необхідно для того, щоб перемикання режиму відображення не скидало обрані користувачем фільтри, такі як рік або країна, що дозволяє зберігати контекст аналізу при навігації. Додатково

було застосовано режим «Selected Visuals», який забезпечує ізоляцію закладок, гарантуючи, що перемикач карт не впливатиме на стан графіків і навпаки.

Для забезпечення зручної взаємодії користувача з системою створені закладки було організовано у логічні групи, такі як «Map Switcher» та «Chart Switcher». На полотні дашборду додано елементи керування типу Bookmark Navigator, які автоматично генерують кнопки для кожної закладки у відповідній групі. У налаштуваннях формату навігатора задано візуальні стилі для різних станів кнопок, що забезпечує чіткий візуальний зворотний зв'язок: активна кнопка підсвічується акцентним кольором, даючи користувачеві розуміння поточного режиму відображення. Реалізація такого підходу дозволила створити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що емулює поведінку сучасних веб-додатків, та значно розширила аналітичну ємність однієї сторінки звіту.

Для візуального оформлення дашборду було обрано темну тему (Dark Mode). Це рішення не є випадковим і базується на психофізіологічних особливостях сприйняття інформації з дисплеїв. Темно-сірий фон (Hex-код #252423) дозволяє мінімізувати випромінювання світла монітором, що суттєво знижує втому очей оператора при тривалій роботі з аналітикою, особливо в умовах штучного освітлення диспетчерських центрів.

Крім того, темне тло забезпечує вищий контраст для яскравих акцентних кольорів, які використовуються для кодування даних. Для відображення ключових метрик використано палітру, що базується на семантичних асоціаціях:

- Синій/Блакитний: Асоціюється зі стабільністю та технологічністю, використано для відображення обсягів генерації.
- Помаранчевий/Жовтий: Використовується для виділення експортних операцій та попередження про високу ціну.
- Градієнт Зелений–Жовтий: Застосовано для карти енергозалежності, де зелений інтуїтивно сприймається як «безпека», а червоний – як «небезпека/дефіцит».

Для оптимізації використання екранного простору та покращення користувацького досвіду (UX) у системі реалізовано механізм динамічної зміни вмісту дашборду без необхідності переходу на інші сторінки звіту. Ця функціональність базується на використанні технології Bookmarks (Закладки) у поєднанні з панеллю Selection (Вибір).

Процес реалізації інтерактивного перемикавання складався з наступних етапів. Підготовка та іменування об'єктів. Першочерговим завданням було впорядкування ієрархії візуальних елементів на панелі Selection. Кожному графіку та карті було присвоєно унікальну семантичну назву (наприклад, «Map Volume», «Map Dependency», «Chart Price», «Chart Value»). Це є критично важливим для подальшого адміністрування станів видимості, оскільки стандартні назви, що генеруються системою автоматично (наприклад, «Shape Map 1»), ускладнюють ідентифікацію об'єктів.

Загальний вигляд реалізованого кольорового рішення представлено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Кольорова палітра та стилістика інтерфейсу

У лівій частині дашборду, яка згідно з правилами юзабіліті (F-патерн сканування сторінки) привертає першочергову увагу користувача, розміщено вертикальний блок карток KPI (Key Performance Indicators). Ця панель виконує функцію «виконавчого резюме» (Executive Summary), надаючи миттєвий зріз стану ринку без необхідності аналізу графіків.

Блок складається з чотирьох уніфікованих візуальних елементів, що відображають агреговані дані за весь обраний період:

1. «Загальний обсяг виробництва (GWh)»: Індикатор масштабу енергосистеми.
2. «Імпорт (GWh)»: Показник залежності від зовнішніх постачань.
3. «Експорт (GWh)»: Показник експортного потенціалу.
4. «Ціна (GWh)»: Середньозважений ціновий індикатор (EUR/GWh).

Для покращення читабельності великих чисел застосовано автоматичне форматування одиниць (Display units: Millions/Billions). Наприклад, значення

«29,08M» дозволяє аналітику швидко оцінити порядок цифр, не відволікаючись на деталі. Кожна картка візуально відокремлена білою рамкою, що створює чітку модульну сітку інтерфейсу (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Вертикальна панель ключових індикаторів (KPI)

Центральна частина екрана відведена під найбільш важливі візуалізації, що поєднують просторовий та часовий аналіз.

Геопросторова візуалізація. Верхню частину центральної зони займає інтерактивна карта. Над нею розміщено елемент навігації «Map Switcher», реалізований через групу закладок (Bookmark Navigator). Це дозволяє користувачеві перемикатися між режимами:

1. Звичайна карта: Відображає країни
2. Карта залежності: Активує режим теплової карти для аналізу енергетичної залежності.

Аналіз часових рядів. Безпосередньо під картою розміщено лінійну діаграму «Графік Імпорту та Експорту». Таке розташування є стратегічним: після вибору країни на карті (верхній елемент), користувач одразу бачить історію її торговельного балансу знизу (нижній елемент). На графіку одночасно виведено

дві лінії (помаранчева для експорту, блакитна для імпорту), що дозволяє візуально оцінити сальдо перетоків за період з 1990 по 2024 роки.

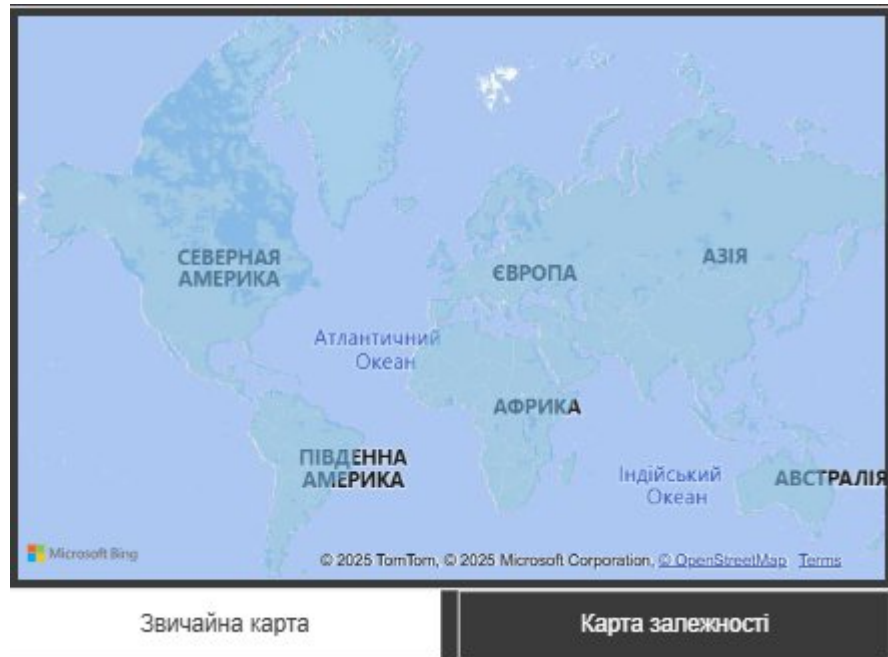


Рисунок 3.5 –Звичайна карта для вибору країн



Рисунок 3.6 – Карта залежності країн від імпорту електроенергії

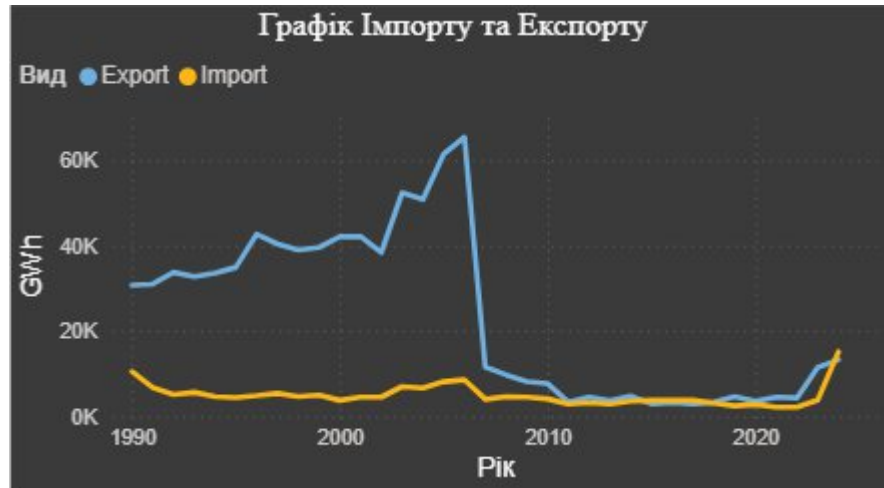


Рисунок 3.7 – Графік імпорту та експорту електроенергії вибраної країни

Права частина дашборду містить інструменти для поглибленого фінансового та структурного аналізу.

Динаміка вартості. У верхньому правому куті розміщено графік «Зміна ціни (GWh)». Для цього елемента також реалізовано механізм перемикання контексту («Chart Switcher»), що дозволяє змінювати вісь Y між питомою ціною (EUR/GWh) та загальним обсягом ринку в грошовому еквіваленті (USD). Це дає змогу досліджувати кореляцію між ціновими піками та обсягами торгів.

Рейтингування. У нижньому правому куті імплементовано горизонтальну смугову діаграму «Top 5 Countries». Цей віджет автоматично ранжує країни за обраним показником (наприклад, за обсягом експорту). Використання фільтра «Top N» дозволяє відсіяти "шум" і сфокусуватися на ключових гравцях ринку (наприклад, Китай, Франція, Канада), що миттєво надає контекст для порівняння.

Часова фільтрація. У крайній правій частині екрана розташовано зріз «Фільтр по роках» (Year Slicer) у вигляді списку з чекбоксами. Це дозволяє користувачеві гнучко обирати період дослідження (наприклад, порівняти лише кризові 2021–2022 роки), після чого всі візуалізації на сторінці автоматично перераховуються.

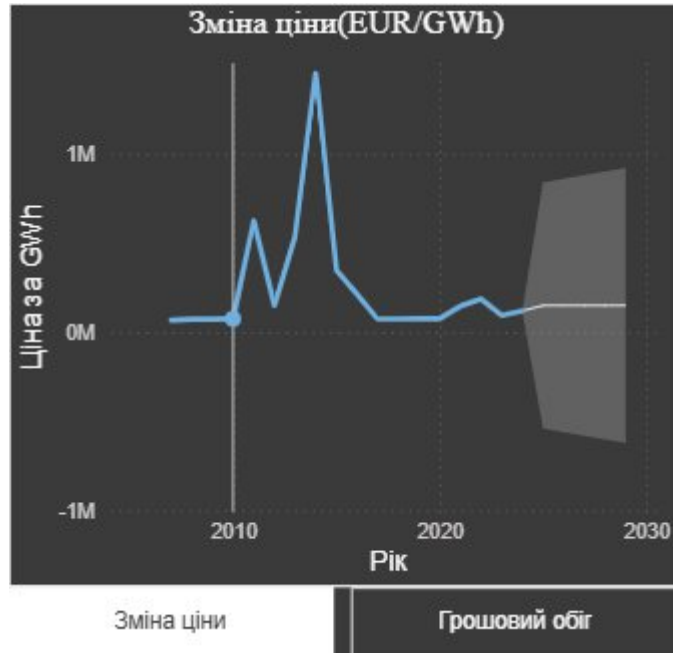


Рисунок 3.8 – Графік зміни цін на електроенергію з передбаченням цін на 5 років вперед

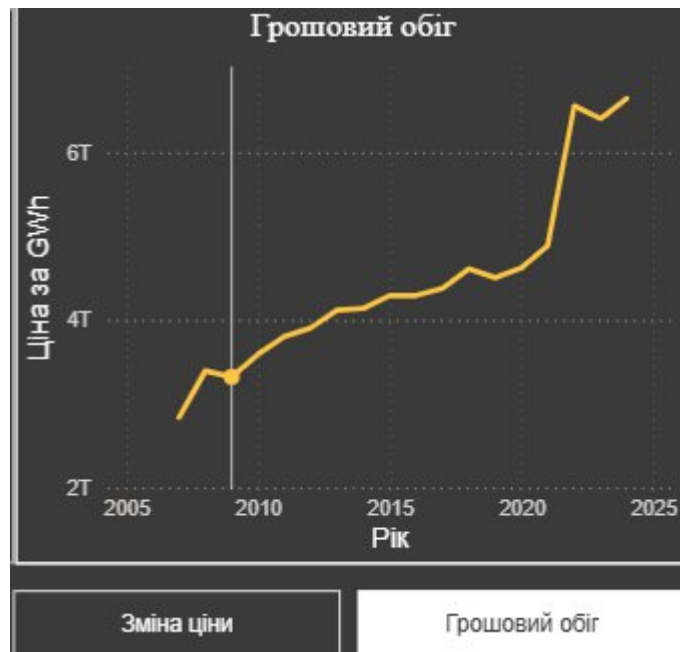


Рисунок 3.9 – Графік грошового обігу електроенергії



Рисунок 3.10 – Фільтр по рокам та графік 5 країн експортерів

Таке компонування елементів забезпечує логічний потік уваги користувача: від загальних цифр (зліва) → до географії (центр) → до фінансових деталей та рейтингів (справа).

3.3. Аналіз отриманих результатів та виявлення ринкових закономірностей

Після завершення технічної реалізації системи було проведено серію експериментальних досліджень на реальних даних, що охоплюють період з 2000 по 2024 роки. Метою цього етапу була верифікація аналітичних можливостей розробленого інструментарію та виявлення ключових трендів розвитку світової енергетики.

Застосування алгоритму кластеризації (Scatter Chart з автоматичним групуванням) до масиву даних 187 країн дозволило виділити стійкі групи держав зі схожими параметрами енергетичної моделі. На вхід алгоритму було подано два вектори: загальний обсяг генерації (вісь X, логарифмічна шкала) та середньозважена ціна (вісь Y).

Система автоматично ідентифікувала чотири характерні кластери (рис. 3.10):

1. «Глобальні лідери». Ці країни характеризуються екстремально високими обсягами генерації (понад 4000 TWh) та помірними цінами. Це свідчить про ефект масштабу та розвинену диверсифіковану генерацію.
2. «Ринки з високою вартістю». Сюди потрапили переважно острівні держави. Для них характерні мікроскопічні обсяги генерації та аномально високі ціни, що пояснюється залежністю від імпорту дизельного палива та складною логістикою.
3. «Великі виробники». Група країн що відзначаються середніми обсягами та високою волатильністю цін, спричиненою залежністю від імпорту газу та політикою декарбонізації.
4. «Країни, що розвиваються». Найчисленніша група з низькими обсягами та стабільними, часто субсидованими цінами.

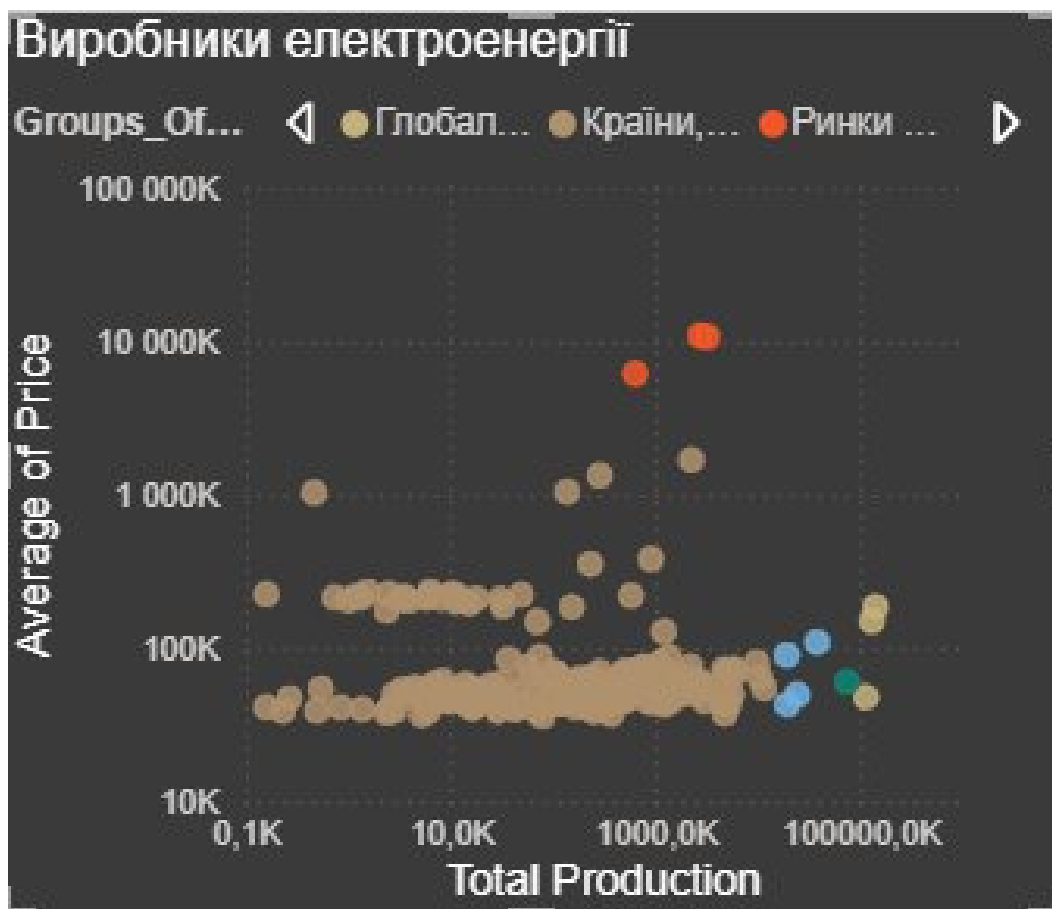


Рисунок 3.11 – Результати сегментації країн методом кластерного аналізу

Отримані результати підтверджують гіпотезу про неоднорідність світового ринку та необхідність застосування диференційованих підходів до енергетичної стратегії для кожного кластера.

Використання розробленого режиму картограми «Show Dependency» дозволило візуалізувати географію енергетичних ризиків. Аналіз теплової карти (Heat Map) виявив чіткий поділ на країни–донори та країни–реципієнти.

Як видно з візуалізації (рис. 3.11), країни з розвинутою атомною або гідроенергетикою (наприклад, Франція, Норвегія, Канада) забарвлені у зелені відтінки, що свідчить про коефіцієнт енергозалежності близький до нуля або від'ємний (експортний потенціал). Натомість ряд країн Центральної та Південної Європи (Італія, Угорщина) мають виражене червоне забарвлення, що сигналізує про критичну залежність від імпорту (понад 30% споживання).



Рисунок 3.12 – Геопросторовий аналіз рівня енергетичної залежності країн

Цей інструмент дозволяє аналітикам миттєво ідентифікувати регіони з потенційним дефіцитом потужності, що є критично важливим в умовах геополітичної нестабільності.

Застосування вбудованих алгоритмів прогнозування (Forecasting) до часових рядів вартісних показників дозволило змодельовати ймовірні сценарії розвитку кон'юнктури ринку до 2030 року. Система побудувала прогнозний коридор із довірчим інтервалом 95%, що дозволяє оцінити межі ризиків.

Аналіз графіка прогнозу цін (рис. 3.12) демонструє тенденцію до поступової стабілізації ринку після шоків цінових піків 2022 року. Модель передбачає повернення до рівноважного стану, однак значна ширина «сірої зони» (довірчого інтервалу) вказує на збереження високого рівня невизначеності. Це свідчить про те, що ринок залишається чутливим до зовнішніх факторів, таких як вартість палива та регуляторні зміни.

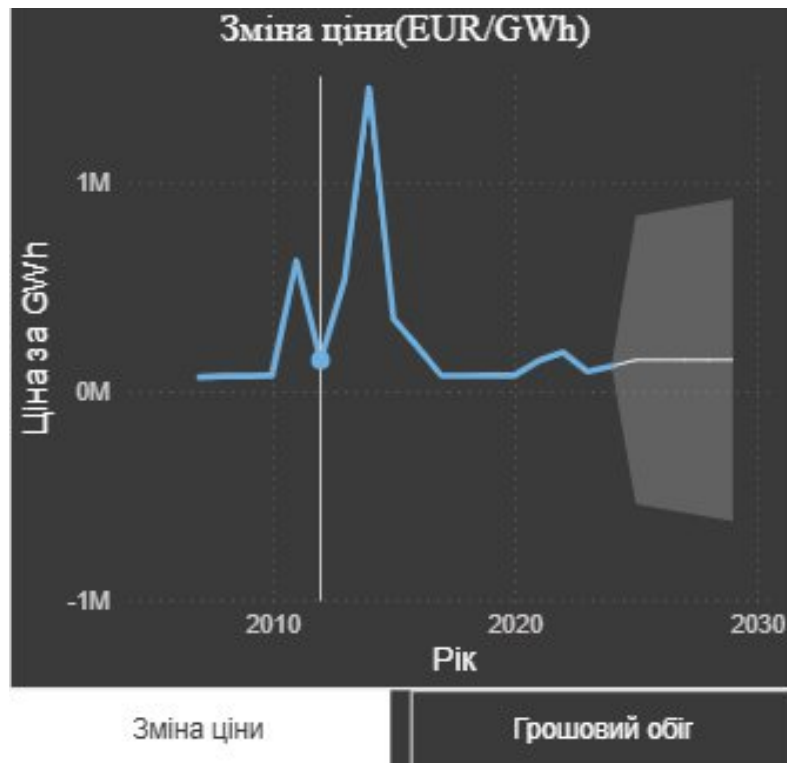


Рисунок 3.13 – Прогноз динаміки середньозважених цін на електроенергію до 2030 року

Водночас, аналіз грошового обігу (Market Value) підтверджує зростання капіталізації світового ринку електроенергії, що корелює з глобальними інфляційними процесами та збільшенням обсягів транскордонної торгівлі.

3.4. Оцінка ефективності впровадження системи

Розроблена інформаційна система якісно змінює підхід до аналітики в енергетичній сфері. У порівнянні з традиційними методами (ручна обробка Excel-звітів), впровадження даного рішення забезпечує:

1. Скорочення часу на підготовку звітів: Процес консолідації даних, який раніше займав дні, тепер виконується автоматично за кілька хвилин завдяки налаштованим ETL-процедурам.
2. Підвищення точності: Автоматизована уніфікація одиниць виміру (GWh) усуває ризик механічних помилок («людський фактор»).
3. Глибина аналізу: Завдяки інтеграції фінансових (UN Comtrade) та фізичних (Ember) показників система дозволяє проводити крос-факторний аналіз, який був недоступний при використанні розрізнених джерел.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі описано процес практичної реалізації інформаційно-аналітичної системи. Засобами Power BI побудовано інтерактивний дашборд, що базується на архітектурі даних типу «Зірка». Реалізовано зручний інтерфейс користувача з використанням темної теми та механізмів навігації через закладки. Проведена апробація системи на реальних даних підтвердила її працездатність. За допомогою розроблених інструментів Data Mining (кластеризація, прогнозування) отримано нові знання про структуру світового ринку електроенергії, виявлено групи країн-лідерів та оцінено рівень енергетичної безпеки регіонів.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково–практичне завдання створення інформаційно–аналітичної системи для дослідження динаміки світових ринків електроенергії. В результаті виконання роботи отримано наступні висновки та результати:

1. Проведено аналіз предметної області. Встановлено, що сучасний енергетичний ринок характеризується високою волатильністю та зростаючою залежністю від відновлюваних джерел енергії. Енергетична криза 2021–2023 років виявила недоліки існуючих інструментів моніторингу, які не дозволяють оперативно оцінювати ризики енергетичної безпеки в глобальному масштабі.
2. Обґрунтовано вибір технологій. На основі порівняльного аналізу для реалізації системи обрано платформу Microsoft Power BI. Доведено, що її вбудовані інструменти (Power Query для ETL, DAX для моделювання, AI Insights для аналітики) є оптимальними для обробки великих масивів гетерогенних даних без залучення додаткового дорогого програмного забезпечення.
3. Розроблено архітектуру даних. Спроектовано та реалізовано денормалізоване сховище даних за схемою «Зірка», яка об'єднує показники генерації, імпорту та експорту електроенергії та її ціну. Розроблено алгоритми очищення та уніфікації даних, що дозволило створити єдиний інформаційний простір для аналізу ринків понад 180 країн світу.
4. Реалізовано математичне забезпечення. Впроваджено методи інтелектуального аналізу даних: алгоритм кластеризації k–means для сегментації країн за типом енергосистеми та методи експоненційного згладжування (ETS) для прогнозування цінових трендів. Розроблено методику розрахунку коефіцієнта енергозалежності, що дозволяє кількісно оцінювати рівень енергетичної безпеки держави.

5. Створено програмний продукт. Розроблено інтерактивний дашборд зі зручним графічним інтерфейсом, що включає геопросторову візуалізацію, аналіз часових рядів та інструменти сценарного моделювання. Реалізована система навігації дозволяє користувачеві досліджувати дані в різних розрізах (обсяги, ціни, залежність) на одному екрані.
6. Проведено апробацію результатів. Експериментальні дослідження на реальних даних підтвердили адекватність розроблених моделей. Система дозволила виявити кластери країн–лідерів та країн із критичною залежністю від імпорту, а також побудувати прогноз стабілізації цін до 2030 року.

Практична цінність роботи полягає у створенні доступного інструменту, який може бути використаний аналітиками енергетичних компаній та державними установами для стратегічного планування та підвищення енергетичної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про ринок електричної енергії» : прийнятий 13 квіт. 2017 р. № 2019–VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 27–28. Ст. 312.
2. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 32 с.
3. ДСТУ ISO/IEC 12207:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
4. ДСТУ 2941:1994. Системи оброблення інформації. Розроблення систем. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994.
5. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity. Official Journal of the European Union. 2019. L 158. P. 125–199.
6. Глобальна енергетична криза 2021–2023 років: причини, наслідки та уроки для України : аналіт. доп. / [О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко та ін.] ; за заг. ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2023. 84 с.
7. Ланде Д. В., Субач І. Ю., Бойко А. В. (2018). Основи теорії і практики інтелектуального аналізу даних : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 298 с.
8. Щербак Л. М., Галушак М. О. (2020). Методи інтелектуального аналізу даних : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ. 210 с.
9. Ember. Global Electricity Review 2024. URL: <https://ember-energy.org/data/global-electricity-review-2024/> (дата звернення: 10.11.2025).
10. Ferrari A., Russo M. (2019). The Definitive Guide to DAX: Business intelligence for Microsoft Power BI, SQL Server Analysis Services, and Excel. 2nd ed. Microsoft Press. 768 p.

11. Powell B. (2022). Mastering Microsoft Power BI: Expert techniques for effective data analytics and business intelligence. 2nd ed. Packt Publishing. 650 p.
12. Deckler G. (2022). Learn Power BI: A comprehensive guide to building data models and reports. Packt Publishing. 430 p.
13. International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. Paris : IEA. 500 p.
14. UN Comtrade Database. International Trade Statistics. URL: <https://comtrade.un.org/> (дата звернення: 15.11.2025).
15. Eurostat. Energy statistics – an overview. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview (дата звернення: 12.11.2025).
16. ENTSO–E Transparency Platform. URL: <https://transparency.entsoe.eu/> (дата звернення: 12.11.2025).
17. U.S. Energy Information Administration (EIA). International Energy Statistics. URL: <https://www.eia.gov/international/data/world> (дата звернення: 14.11.2025).
18. Бізнес–аналітика в управлінні підприємством : навч. посіб. / [О. В. Олійник та ін.]. (2021). Київ : Київ. нац. торг.–екон. ун–т. 340 с.
19. Han J., Kamber M., Pei J. (2022). Data Mining: Concepts and Techniques. 4th ed. Morgan Kaufmann. 800 p.
20. Provost F., Fawcett T. (2013). Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data–Analytic Thinking. O'Reilly Media. 414 p.
21. Клебанова Т. С., Гурьянова Л. С., Трунова О. В. (2017). Моделі та методи Data Mining у системах підтримки прийняття рішень : монографія. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця. 244 с.
22. Microsoft. Power BI Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/> (дата звернення: 01.11.2025).
23. Microsoft. Data Analysis Expressions (DAX) Reference. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dax/> (дата звернення: 05.11.2025).
24. Rad B. T. (2014). Power Query for Power BI and Excel. Apress. 350 p.

25. Jones H. (2022). The Global Energy Crisis: Implications for Developing Countries. *Journal of Energy and Development*. Vol. 48, No. 1. P. 15–32.
26. Smith A. (2023). Renewable Energy Transition: Challenges and Opportunities. *Energy Policy*. Vol. 160. Article 112685.
27. Johnson M. (2021). Application of K–Means Clustering in Energy Consumption Analysis. *International Journal of Data Science*. Vol. 5, No. 2. P. 45–58.
28. Brown L. (2020). Time Series Forecasting of Electricity Prices using Exponential Smoothing. *Applied Energy*. Vol. 260. Article 114238.
29. World Bank. (2024). *State of the Global Energy Sector 2024*. Washington, DC : World Bank. 150 p.
30. BloombergNEF. *New Energy Outlook 2024*. URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (дата звернення: 18.11.2025).
31. М'якшило О. М., Загорювська Л. Г. (2017). CASE–технології у проектуванні інформаційних систем : електронний навч. посіб. Київ : НУХТ. 190 с.
32. Гайда А. Ю. (2019). *Інформаційна безпека в системах підтримки прийняття рішень*. Київ: Видавничий дім «Кондор». 232 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Лістинг програмного коду розрахункових мір DAX

У цьому додатку наведено повний код ключових аналітичних мір, розроблених мовою DAX для обчислення показників ефективності та енергозалежності в середовищі Power BI.

1. Базові агрегації

Розрахунок загального обсягу генерації з фільтрацією по типу:

```
Total Production (GWh) =  
CALCULATE(  
    SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh]),  
    'Fact_Energy'[Indicator] = "Production"  
)
```

Розрахунок обсягів зовнішньої торгівлі:

```
Total Import (GWh) =  
CALCULATE(  
    SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh]),  
    'Fact_Energy'[Indicator] = "Import"  
)
```

```
Total Export (GWh) =  
CALCULATE(  
    SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh]),  
    'Fact_Energy'[Indicator] = "Export"  
)
```

2. Фінансові розрахунки

Розрахунок середньозваженої ціни

```
Average Price (EUR/GWh) =  
VAR TotalVolume = SUM('Fact_Energy'[Volume_GWh])  
VAR TotalValue = SUMX('Fact_Energy', 'Fact_Energy'[Volume_GWh] *  
'Fact_Energy'[Price_EUR])  
RETURN  
DIVIDE(TotalValue, TotalVolume, 0)
```

Розрахунок загального обсягу ринку в доларах США

```
Total Market Value ($) =  
VAR Value_EUR =  
SUMX(  
    'Fact_Energy',  
    'Fact_Energy'[Volume_GWh] * 'Fact_Energy'[Price_EUR]  
)  
VAR ExchangeRate = 0.92 // Фіксований курс-курс для звітного періоду  
RETURN  
DIVIDE(Value_EUR, ExchangeRate)
```

3. Аналітика енергетичної безпеки

Розрахунок видимого споживання

```
Apparent Consumption (GWh) =  
VAR _Prod = [Total Production (GWh)]  
VAR _Imp = [Total Import (GWh)]  
VAR _Exp = [Total Export (GWh)]  
RETURN  
_Prod + _Imp - _Exp
```

Коефіцієнт енергозалежності

```
Energy Dependency % =
```

```
VAR _Consumption = [Apparent Consumption (GWh)]
```

```
VAR _Import = [Total Import (GWh)]
```

```
RETURN
```

```
  IF(
```

```
    _Consumption > 0,
```

```
    DIVIDE(_Import, _Consumption, 0),
```

```
    BLANK()
```

```
  )
```

Додаток Б. Скрипти трансформації даних Power Query / M-Language

1. Функція очищення та нормалізації даних торгівлі (UN Comtrade)

```

let
    Source =
    Csv.Document(File.Contents("C:\Data\Comtrade_Raw.csv"),[Delimiter=";",
    Columns=6, Encoding=65001, QuoteStyle=QuoteStyle.None]),
    #"Promoted Headers" = Table.PromoteHeaders(Source, [PromoteAllScalars=true]),
    #"Filtered Rows" = Table.SelectRows(#"Promoted Headers", each ([flowDesc] =
    "Import" or [flowDesc] = "Export") and ([partnerDesc] = "World")),

    #"Added Custom GWh" = Table.AddColumn(#"Filtered Rows", "GWh_Calc", each
    if [qtyUnitAbbr] = "1000 kWh" then [qty] / 1000
    else if [qtyUnitAbbr] = "MWh" then [qty] / 1000
    else if [qtyUnitAbbr] = "GWh" then [qty]
    else null),

    #"Filtered Rows1" = Table.SelectRows(#"Added Custom GWh", each ([GWh_Calc]
    <> null and [GWh_Calc] > 0)),

    #"Grouped Rows" = Table.Group(#"Filtered Rows1", {"reporterISO", "refYear",
    "flowDesc"}, {"MaxGWh", each List.Max([GWh_Calc]), type number}, {"TradeValue",
    each List.Max([primaryValue]), type number}},

    #"Added Price" = Table.AddColumn(#"Grouped Rows", "Price_EUR", each
    ([TradeValue] * 0.9) / [MaxGWh]),

    #"Renamed Columns" = Table.RenameColumns(#"Added Price",{"reporterISO",

```

```
"Country"}, {"refYear", "Year"}, {"flowDesc", "Indicator"}]})
```

```
in
```

```
#"Renamed Columns"
```

2. Скрипт генерації календарного виміру (Dim_Year)

```
let
```

```
Source = {1990..2030},
```

```
#"Converted to Table" = Table.FromList(Source, Splitter.SplitByNothing(), null, null,  
ExtraValues.Error),
```

```
#"Renamed Columns" = Table.RenameColumns("#Converted to  
Table",{"Column1", "Year"}),
```

```
#"Changed Type" = Table.TransformColumnTypes("#Renamed Columns",{"Year",  
Int64.Type}))
```

```
in
```

```
#"Changed Type"
```

Додаток В. Фрагмент консолідованого масиву даних

У таблиці В.1 наведено приклад структури фінального набору даних після процедур очищення та об'єднання.

Таблиця В.1 – Вибірка з таблиці Fact_Energy

Indicator	Unit	Country	Year	GWh	Price
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	DE	2007	641358	
Production	GWH	DE	2007	641358	
Production	GWH	DE	2008	641228	
Production	GWH	DE	2008	641228	
Production	GWH	DE	2009	596490	
Production	GWH	DE	2009	596490	
Production	GWH	DE	2010	633137	
Production	GWH	DE	2010	633137	
Production	GWH	DE	2011	613123	

Production	GWH	DE	2011	613123	
Production	GWH	DE	2012	628314	
Production	GWH	DE	2012	628314	
Production	GWH	DE	2013	638701	
Production	GWH	DE	2013	638701	
Production	GWH	DE	2014	627806	
Production	GWH	DE	2014	627806	
Production	GWH	DE	2015	648309	
Production	GWH	DE	2015	648309	
Production	GWH	DE	2016	650449	
Production	GWH	DE	2016	650449	
Production	GWH	DE	2017	653723	
Production	GWH	DE	2017	653723	
Production	GWH	DE	2018	640468	
Production	GWH	DE	2018	640468	
Production	GWH	DE	2019	606917	
Production	GWH	DE	2019	606917	
Production	GWH	DE	2020	575462	
Production	GWH	DE	2020	575462	
Production	GWH	DE	2021	592799,2	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	FR	2007	569768,4	
Production	GWH	FR	2008	573806,8	
Production	GWH	FR	2008	573806,8	
Production	GWH	FR	2009	535925,4	
Production	GWH	FR	2009	535925,4	

Production	GWH	FR	2010	569287,7	
Production	GWH	FR	2010	569287,7	
Production	GWH	FR	2011	573605,5	
Production	GWH	FR	2011	573605,5	
Production	GWH	FR	2012	573090,5	
Production	GWH	FR	2012	573090,5	
Production	GWH	FR	2013	582640,6	
Production	GWH	FR	2013	582640,6	
Production	GWH	FR	2014	572973,5	
Production	GWH	FR	2014	572973,5	
Production	GWH	FR	2015	579903,3	
Production	GWH	FR	2015	579903,3	
Production	GWH	FR	2016	564523	
Production	GWH	FR	2016	564523	
Production	GWH	FR	2017	562481,4	
Production	GWH	FR	2017	562481,4	
Production	GWH	FR	2018	582227,3	
Production	GWH	FR	2018	582227,3	
Production	GWH	FR	2019	571414,3	
Production	GWH	FR	2019	571414,3	
Production	GWH	FR	2020	532890,6	
Production	GWH	FR	2020	532890,6	
Production	GWH	FR	2021	555641,5	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	PL	2007	159348	
Production	GWH	PL	2008	155305	

Production	GWH	PL	2008	155305	
Production	GWH	PL	2009	151720	
Production	GWH	PL	2009	151720	
Production	GWH	PL	2010	157657	
Production	GWH	PL	2010	157657	
Production	GWH	PL	2011	163548	
Production	GWH	PL	2011	163548	
Production	GWH	PL	2012	162139	
Production	GWH	PL	2012	162139	
Production	GWH	PL	2013	164580	
Production	GWH	PL	2013	164580	
Production	GWH	PL	2014	159059	
Production	GWH	PL	2014	159059	
Production	GWH	PL	2015	164944	
Production	GWH	PL	2015	164944	
Production	GWH	PL	2016	166635	
Production	GWH	PL	2016	166635	
Production	GWH	PL	2017	170465,4	
Production	GWH	PL	2017	170465,4	
Production	GWH	PL	2018	170039,5	
Production	GWH	PL	2018	170039,5	
Production	GWH	PL	2019	163988,5	
Production	GWH	PL	2019	163988,5	
Production	GWH	PL	2020	158042,7	
Production	GWH	PL	2020	158042,7	
Production	GWH	PL	2021	179631,1	

Production	GWH	PL	2024	169355,2	
Production	GWH	DE	1990	550015	
Production	GWH	DE	1991	539634	
Production	GWH	DE	1992	537470	
Production	GWH	DE	1993	526276	
Production	GWH	DE	1994	529160	
Production	GWH	DE	1995	537284	
Production	GWH	DE	1996	555372	
Production	GWH	DE	1997	551554	
Production	GWH	DE	1998	556393	
Production	GWH	DE	1999	556300	
Production	GWH	DE	2000	576543	
Production	GWH	DE	2001	586406	
Production	GWH	DE	2002	586694	
Production	GWH	DE	2003	609259	
Production	GWH	DE	2004	618072	
Production	GWH	DE	2005	623119	
Production	GWH	DE	2006	640119	
Production	GWH	FR	1990	420751,3	
Production	GWH	FR	1991	455554,7	
Production	GWH	FR	1992	463638,8	
Production	GWH	FR	1993	472706,8	
Production	GWH	FR	1994	476867,6	
Production	GWH	FR	1995	494274,1	
Production	GWH	FR	1996	513397,5	
Production	GWH	FR	1997	504770,2	

Production	GWH	FR	1998	511276,3	
Production	GWH	FR	1999	525805,9	
Production	GWH	FR	2000	539954,2	
Production	GWH	FR	2001	549530,4	
Production	GWH	FR	2002	559063,6	
Production	GWH	FR	2003	566838,6	
Production	GWH	FR	2004	574053,9	
Production	GWH	FR	2005	576061,9	
Production	GWH	FR	2006	574869,7	
Production	GWH	PL	1990	136311	
Production	GWH	PL	1991	134714	
Production	GWH	PL	1992	132750	
Production	GWH	PL	1993	133867	
Production	GWH	PL	1994	135347	
Production	GWH	PL	1995	139006	
Production	GWH	PL	1996	143173	
Production	GWH	PL	1997	142790	
Production	GWH	PL	1998	142789	
Production	GWH	PL	1999	142128	
Production	GWH	PL	2000	145184	
Production	GWH	PL	2001	145616	
Production	GWH	PL	2002	144126	
Production	GWH	PL	2003	151631	
Production	GWH	PL	2004	154159	
Production	GWH	PL	2005	156936	
Production	GWH	PL	2006	161742	

Production	GWH	ROU	2012	58540	
Production	GWH	ROU	2013	58190	
Production	GWH	ROU	2014	64920	
Production	GWH	ROU	2015	65660	
Production	GWH	ROU	2016	64220	
Production	GWH	ROU	2017	63540	
Production	GWH	ROU	2018	64070	
Production	GWH	ROU	2019	58760	
Production	GWH	ROU	2020	55210	
Production	GWH	ROU	2021	58560	
Production	GWH	ROU	2022	54740	
Production	GWH	ROU	2023	56950	
Production	GWH	ROU	2024	52880	
Production	GWH	ARG	2024	152510	39408
Production	GWH	ARM	2024	8870	32431
Production	GWH	AUS	2024	281640	57415
Production	GWH	AUT	2024	78550	40620
Production	GWH	AZE	2024	28030	38045
Production	GWH	BGD	2024	113860	34565
Production	GWH	BLR	2024	45670	44578
Production	GWH	BEL	2024	75580	48943
Production	GWH	BOL	2024	12350	37917
Production	GWH	BIH	2024	15160	35653
Production	GWH	BRA	2024	745720	34245
Production	GWH	BGR	2024	37140	51147
Production	GWH	KHM	2024	15720	29267

Production	GWH	CAN	2024	636790	54386
Production	GWH	CHL	2024	89260	38431
Production	GWH	CHN	2024	10086880	32598
Production	GWH	COL	2024	87510	25992
Production	GWH	CRI	2024	12380	40326
Production	GWH	HRV	2024	15360	43872
Production	GWH	CYP	2024	5720	45992
Production	GWH	CZE	2024	73020	44240
Production	GWH	DNK	2024	35440	51014
Production	GWH	DOM	2024	25940	40604
Production	GWH	ECU	2024	33000	33571
Production	GWH	EGY	2024	237390	26236
Production	GWH	SLV	2024	7050	28974
Production	GWH	EST	2024	6080	49386
Production	GWH	FIN	2024	83600	42502
Production	GWH	GEO	2024	14260	42111
Production	GWH	GRC	2024	57230	48722
Production	GWH	HUN	2024	38180	57611
Production	GWH	IND	2024	2030200	37904
Production	GWH	IDN	2024	371540	24273
Production	GWH	IRN	2024	395790	30427
Production	GWH	IRL	2024	30930	49151
Production	GWH	ITA	2024	268130	44282
Production	GWH	JPN	2024	1016390	78070
Production	GWH	KAZ	2024	118510	36167
Production	GWH	KEN	2024	12850	37326

Production	GWH	XKX	2024	6510	31751
Production	GWH	KWT	2024	87660	74401
Production	GWH	KGZ	2024	16530	30916
Production	GWH	LVA	2024	6490	50508
Production	GWH	LTU	2024	7320	45188
Production	GWH	LUX	2024	1560	40910
Production	GWH	MYS	2024	198220	37263
Production	GWH	MLT	2024	2210	36180
Production	GWH	MEX	2024	355180	42020
Production	GWH	MDA	2024	5210	36705
Production	GWH	MNG	2024	8380	30989
Production	GWH	MNE	2024	3700	46307
Production	GWH	MAR	2024	43880	28943
Production	GWH	MMR	2024	24680	27859
Production	GWH	NLD	2024	123360	48525
Production	GWH	NZL	2024	44460	56694
Production	GWH	NGA	2024	40130	40439
Production	GWH	MKD	2024	5800	50115
Production	GWH	NOR	2024	156120	38600
Production	GWH	OMN	2024	43350	24366
Production	GWH	PAK	2024	182100	44514
Production	GWH	PER	2024	63850	31502
Production	GWH	PHL	2024	125860	36495
Production	GWH	PRT	2024	46750	39468
Production	GWH	PRI	2024	18720	26338
Production	GWH	QAT	2024	58640	61144

Production	GWH	RUS	2024	1209310	39738
Production	GWH	SAU	2024	454640	58229
Production	GWH	SRB	2024	37460	39951
Production	GWH	SGP	2024	59610	183452
Production	GWH	SVK	2024	29330	50850
Production	GWH	SVN	2024	17040	51041
Production	GWH	ZAF	2024	249070	40650
Production	GWH	KOR	2024	625380	74085
Production	GWH	ESP	2024	280390	49782
Production	GWH	SWE	2024	173330	41037
Production	GWH	CHE	2024	78220	51929
Production	GWH	TWN	2024	288560	27382
Production	GWH	TJK	2024	21650	39607
Production	GWH	THA	2024	199520	26577
Production	GWH	TUN	2024	20830	32995
Production	GWH	TUR	2024	341230	34553
Production	GWH	ARE	2024	177260	64159
Production	GWH	GBR	2024	284160	40766
Production	GWH	USA	2024	4391020	63686
Production	GWH	URY	2024	17270	36826
Production	GWH	VNM	2024	303580	40154
Indicator	Unit	Country	Year	GWh	Price