

Olena Chygryn, Yurii Bilan, Inna Balahurovska

**Energy security of the national
economy: market, environmental and
marketing aspects**

Textbook

Developed within the framework of the research project
“Economic and Mathematical Modelling and Management
Technologies for Cross-Border Energy Security under
Wartime Conditions and Post-War Recovery” (No.
0123U101920).

2025

Олена Чигрин, Юрій Білан, Інна Балагуровська

**Енергетична безпека національної
економіки: ринкові, екологічні та
маркетингові аспекти**

Навчальний посібник

Розроблено в рамках науково-дослідного проєкту
«Економіко-математичне моделювання та технології
управління транскордонною енергобезпекою в умовах
воєнних дій та післявоєнного відновлення»,
(№ д/р 0123U101920)

2025

UDC 620.9:330.131.7:338.242:502.131.1

Reviewers:

Iryna Hubarijeva - Doctor of Economics, Professor, Deputy Director of the Research Centre of Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine;

Jelena Titko - Doctor of Economics, Professor, EKA University of Applied Science (Riga, Latvia);

Inna Tiutiunyk - Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Financial Technologies and Entrepreneurship, Sumy State University (Sumy, Ukraine).

Chygryn O., Bilan Y., Balahurovska I. EU Energy security of the national economy: market, environmental and marketing aspects: textbook. (2025). Szczecin: Centre of Sociological Research. 85 p.

ISBN 978-83-979051-0-8

DOI: 10.14254/ 978-83-979051-0-8/2025

The textbook is dedicated to analyzing modern approaches to ensuring the stable functioning of the energy sector under conditions of global transformation. The publication reveals the theoretical foundations of energy security and the competitiveness of the national economy, the specific features of forming energy resilience, and the impact of the green transition on national economic development. Particular attention is given to infrastructural and technological factors of energy security, including the modernization of energy networks, digital innovations, and the cybersecurity of critical systems. An important component of the textbook is the analysis of the market environment and marketing approaches in the energy sector. The authors examine consumer behavior in the energy services market, key demand drivers, and the tools of green marketing and environmentally oriented communications that support sustainable energy development. The textbook will be useful for students, instructors, researchers, energy sector professionals, and managers working in the fields of energy policy, sustainable development, and innovative energy system management. The publication was developed within the research project “Economic and Mathematical Modelling and Management Technologies for Cross-Border Energy Security under Wartime Conditions and Post-War Recovery” (State Registration No. 0123U101920).

ISBN 978-83-979051-0-8



UDC 620.9:330.131.7:338.242:502.131.1
O. Chygryn, Y. Bilan, I. Balahurovska 2025
Centre of Sociological Research, 2025

УДК 620.9:330.131.7:338.242:502.131.1

Рецензенти:

Ірина Губарєва – доктор економічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України;

Олена Тітко – доктор економічних наук, професор, Університет прикладних наук ЕКА. (м. Рига, Латвія);

Інна Тютюник - доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри фінансових технологій і підприємництва, Сумський державний університет (м. Суми, Україна).

Чигрин О., Білан Ю., Балагуровська І. Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти: навчальний посібник.— Щецин. Центр соціологічних досліджень, 2025. 85 с.

ISBN 978-83-979051-0-8

DOI: 10.14254/ 978-83-979051-0-8/2025

Навчальний посібник присвячений аналізу сучасних підходів до забезпечення стійкого функціонування енергетичного сектору в умовах глобальних трансформацій. Видання розкриває теоретичні основи енергетичної безпеки та конкурентоспроможності національної економіки, особливості формування енергетичної стійкості та вплив зеленої трансформації на розвиток національної економіки. Особливу увагу приділено інфраструктурним та технологічним чинникам енергетичної безпеки, зокрема модернізації енергетичних мереж, цифровим інноваціям та кіберзахисту критичних систем. Важливою складовою підручника є аналіз ринкового середовища та маркетингових підходів в енергетичній галузі. Розглянуто поведінку споживачів енергетичних послуг, чинники формування попиту, а також інструменти зеленого маркетингу та екологічно орієнтовані комунікації, що сприяють підтримці сталого енергетичного розвитку. Навчальний посібник стане корисним для студентів, викладачів, науковців, фахівців енергетичної сфери та управлінців, які працюють над питаннями енергетичної політики, сталого розвитку й інноваційного управління енергетичними системами. Видання розроблено в рамках науково-дослідного проекту «Економіко-математичне моделювання та технології управління транскордонною енергобезпекою в умовах воєнних дій та післявоєнного відновлення» (№ д/р 0123U101920).

ISBN 978-83-979051-0-8



9 788397 905108

UDC 620.9:330.131.7:338.242:502.131.1
О. Чигрин, Ю. Білан, І. Балагуровська 2025
Центр соціологічних досліджень, 2025

Content

Introduction	9
Chapter 1. Theoretical Foundations of Energy Security and Competitiveness of the National Economy	13
1.1. The essence, structure, and key principles of energy security	13
1.2. Concepts and models of ensuring energy resilience in a competitive environment	18
1.3. The interrelation between energy security, sustainable development, and the competitiveness of the economy	23
1.4. Green transformation as a factor of long-term economic competitiveness	27
Discussion questions	29
Situational tasks	30
Glossary	31
Test questions	32
Reference and useful literature	33
Chapter 2. Infrastructure and Technologies of Energy Security of the National Economy	34
2.1. The Role of Infrastructure in Ensuring Stable Energy Supply	34
2.2. Development of Energy Networks through Technological Innovations	37
2.3. Cybersecurity of Energy Systems	43
Discussion questions	44
Situational tasks	45
Glossary	46
Test questions	47
Reference and useful literature	48
Chapter 3. Renewable Energy and Energy Security of the National Economy	50
3.1. Impact of Renewable Energy Development on Energy Security	50
3.2. Integration of Renewable Energy Sources into National and International Energy Grids	53
3.3. Economic Efficiency and Investments in Renewable Energy Sources	56
Discussion questions	59
Situational tasks	59
Glossary	61
Test questions	62
Reference and useful literature	63
Chapter 4. Marketing in the Energy Sector and the Formation of Competitive Advantages of Energy Companies	64
4.1. Specific Features of the Energy Market and the Role of Marketing in the Sector	64
4.2. Consumer Behavior in Energy Services and Key Demand Factors	70
4.3. Green Marketing and Environmentally Oriented Communications	76
Discussion questions	80
Situational tasks	81
Glossary	82
Test questions	82
Reference and useful literature	83

Зміст

Вступ	11
Розділ 1. Теоретичні основи енергетичної безпеки та конкурентоспроможності національної економіки	13
1.1 Сутність, структура та ключові принципи енергетичної безпеки	13
1.2 Концепції та моделі забезпечення енергетичної стійкості в конкурентному середовищі	18
1.3. Взаємозв'язок енергетичної безпеки, сталого розвитку та конкурентоспроможності економіки	23
1.4 Зелена трансформація як фактор довгострокової конкурентоспроможності економіки	27
Питання для обговорення	29
Ситуаційні завдання	30
Глосарій	31
Тестові завдання	32
Довідкова та корисна література	33
Розділ 2. Інфраструктура та технології енергетичної безпеки національної економіки	34
2.1. Роль інфраструктури в забезпеченні стабільного енергопостачання	34
2.2 Розвиток енергетичних мереж через технологічні інновації	37
2.3. Кібербезпека енергетичних систем	43
Питання для обговорення	44
Ситуаційні завдання	45
Глосарій	46
Тестові завдання	47
Довідкова та корисна література	48
Розділ 3. Відновлювана енергетика та енергетична безпека	50
3.1. Вплив розвитку відновлюваних джерел енергії на енергетичну безпеку	50
3.2. Інтеграція відновлюваних джерел енергії у національні та міжнародні енергомережі	53
3.3. Економічна ефективність та інвестиції у відновлювані джерела енергії	56
Питання для обговорення	59
Ситуаційні завдання	59
Глосарій	61
Тестові завдання	62
Довідкова та корисна література	63
Розділ 4. Маркетинг у сфері енергетики та формування конкурентних переваг підприємств галузі	64
4.1. Особливості енергетичного ринку та роль маркетингу в галузі	64
4.2. Поведінка споживачів енергетичних послуг і ключові чинники попиту	70
4.3. Зелений маркетинг та екологічно орієнтовані комунікації	76
Питання для обговорення	80
Ситуаційні завдання	81
Глосарій	82
Тестові завдання	82
Довідкова та корисна література	83

Introduction

In the contemporary context of global energy instability, climate challenges, and accelerated digital transformation, strengthening energy security is becoming a top priority for national economies. The growing risks associated with geopolitical tensions, energy resource volatility, and shifts in the structure of global energy markets necessitate the development of new approaches to managing energy systems, diversifying energy sources, and enhancing the resilience of the energy sector.

Environmental considerations are acquiring particular significance within modern energy policy. Countries of the European Union, as well as other regions of the world, are actively implementing “green transition” strategies aimed at reducing greenhouse gas emissions, increasing energy efficiency, and scaling up renewable energy sources. These processes are shaping a new paradigm of energy market development in which environmental priorities are integrated into public governance, corporate strategies, and consumer behaviour.

The experience of European countries demonstrates that contemporary energy security is ensured not only through technological and infrastructural solutions, but also through market mechanisms, transparent regulatory policy, competitive development, and a high level of consumer engagement. Successful models implemented in Germany, Denmark, the Netherlands, and Sweden combine the advancement of decentralized generation, innovative market instruments, digital energy-management tools, and the active promotion of environmentally responsible behaviour.

Studying these practices is crucial for strengthening Ukraine’s energy resilience, especially given the extraordinary challenges the country faces, including military aggression, infrastructure destruction, increased risks of supply disruptions, and the urgent need for rapid sectoral modernization. The adaptation of successful international approaches offers an opportunity to enhance the competitiveness of the national energy sector, expand the deployment of “green” technologies, develop modern market instruments, and increase the country’s level of energy independence. At the same time, marketing plays a pivotal role in contemporary energy policy as a tool for shaping demand, encouraging energy-efficient behaviour, and communicating the environmental benefits of “green” solutions. The development of competitive markets, the transformation of pricing models, and the emergence of new business concepts (such as prosumers, energy cooperatives, and distributed generation) underscore the need for a comprehensive approach to managing interactions among the state, businesses, and consumers. Therefore, the study of market, environmental, and marketing dimensions of energy security is strategically important for developing an effective energy policy in Ukraine and ensuring its sustainable development amid global transformations.

The textbook is an interdisciplinary work that integrates economic, managerial, environmental, and marketing approaches to the formation and strengthening of the national economy’s energy security. The publication presents the theoretical foundations of modern energy systems, models for ensuring energy resilience in the face of global transformations, as well as the practical aspects of infrastructure development, technological innovation, and the “green” transformation of the energy sector.

Particular attention is focused on:

- the role of market mechanisms in shaping energy security and the competitiveness of the national economy;
- the implementation of innovative technologies, the modernization of energy networks, digitalization, and the cyber protection of critical infrastructure;
- the development of renewable energy sources and their integration into national and international energy systems;
- the analysis of consumer behavior in energy services, demand-side factors, and the role of marketing in promoting environmentally oriented solutions;

- the application of green marketing tools and environmentally responsible communications to support energy resilience and strengthen public trust in energy companies.

The textbook aims to provide a comprehensive understanding of energy security as a multidimensional phenomenon that encompasses economic, ecological, technological, and social dimensions, and it demonstrates contemporary approaches to managing energy processes within the context of the transition toward sustainable development.

The materials of the textbook were developed within the framework of the research project “Economic and Mathematical Modeling and Management Technologies for Cross-Border Energy Security under Conditions of Military Operations and Post-War Recovery” (State Reg. No. 0123U101920).

The textbook has the following structure:

- Introduction (Chygryn O. Yu.);
- Chapter 1: Theoretical Foundations of Energy Security and Competitiveness of the National Economy (Chygryn O., Bilan Yu.);
- Chapter 2: Infrastructure and Technologies of Energy Security of the National Economy (Balahurovska I.);
- Chapter 3: Renewable Energy and Energy Security of the National Economy (Balahurovska I., Bilan Yu.);
- Chapter 4: Marketing in the Energy Sector and the Formation of Competitive Advantages of Energy Companies (Chygryn O.).

Вступ

У сучасних умовах глобальної енергетичної нестабільності, кліматичних викликів і прискореної цифрової трансформації питання зміцнення енергетичної безпеки набувають пріоритетного значення для національних економік. Зростання ризиків, пов'язаних із геополітичними напруженнями, волатильністю енергоресурсів та змінами структури світових енергетичних ринків, потребує формування нових підходів до управління енергетичними системами, їх диверсифікації та підвищення стійкості енергетичної галузі.

Особливе значення набуває екологічна складова енергетичної політики. Країни Європейського Союзу та інших регіонів світу активно впроваджують стратегії «зеленого переходу», спрямовані на скорочення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності та масштабування відновлюваних джерел енергії. Ці процеси формують нову парадигму розвитку енергетичних ринків, у якій екологічні пріоритети інтегруються у державне управління, корпоративні стратегії та споживчу поведінку. Досвід європейських країн демонструє, що сучасна енергетична безпека формується не лише технологічними й інфраструктурними рішеннями, але й ринковими механізмами, прозорою регуляторною політикою, розвитком конкуренції та високим рівнем залучення споживачів. Успішні моделі, реалізовані у Німеччині, Данії, Нідерландах чи Швеції, поєднують розвиток децентралізованої генерації, інноваційні механізми ринку, цифрові інструменти енергоменеджменту та активне просування екологічно відповідальної поведінки. Вивчення цих практик є надзвичайно важливим для підвищення стійкості української енергетики, яка функціонує в умовах надзвичайних викликів, зокрема, воєнної агресії, руйнування інфраструктури, зростання ризиків перебоїв у постачанні та потреби у швидкій модернізації галузі. Адаптація успішних міжнародних підходів дає можливість посилити конкурентоспроможність енергетичного сектору національної економіки, забезпечити розвиток «зелених» технологій, сформувати сучасні ринкові інструменти та підвищити рівень енергетичної незалежності країни.

Водночас ключову роль у сучасній енергетичній політиці відіграє маркетинг, як інструмент формування попиту, стимулювання енергоощадної поведінки та комунікації екологічних переваг «зелених» рішень. Розвиток конкурентних ринків, зміна цінових моделей, поява нових бізнес-концепцій (просьюмери, енергетичні кооперативи, розподілена генерація) актуалізують потребу в комплексному підході до управління взаємодією між державою, бізнесом і споживачами.

Тому дослідження ринкових, екологічних та маркетингових аспектів енергетичної безпеки є стратегічно важливим для формування ефективної енергетичної політики України та забезпечення її сталого розвитку в умовах глобальних трансформацій.

Навчальний посібник є міждисциплінарною працею, що поєднує економічні, управлінські, екологічні та маркетингові підходи до формування та зміцнення енергетичної безпеки національної економіки. У виданні представлено теоретичні засади функціонування сучасних енергетичних систем, моделі забезпечення енергетичної стійкості в умовах глобальних трансформацій, а також практичні аспекти розвитку інфраструктури, технологічних інновацій і «зеленої» трансформації енергетичного сектору.

Особливу увагу зосереджено на:

- ролі ринкових механізмів у формуванні енергетичної безпеки та конкурентоспроможності економіки;
- впровадженні інноваційних технологій, модернізації енергетичних мереж, цифровізації та кіберзахисті критичної інфраструктури;
- розвитку відновлюваних джерел енергії, їх інтеграції у національні та міжнародні енергосистеми;

- аналізі поведінки споживачів енергетичних послуг, чинників попиту та ролі маркетингу у просуванні екологічно орієнтованих рішень;

- застосуванні інструментів зеленого маркетингу та екологічно відповідальних комунікацій для підтримки енергетичної стійкості та підвищення довіри суспільства до енергетичних компаній.

Начальний посібник орієнтований на формування комплексного бачення енергетичної безпеки як багатовимірного явища, що охоплює економічні, екологічні, технологічні та соціальні аспекти, та демонструє сучасні підходи до управління енергетичними процесами в умовах переходу до сталого розвитку.

Матеріали навчального посібника розроблено в рамках реалізації науково-дослідного проєкту «Економіко-математичне моделювання та технології управління транскордонною енергобезпекою в умовах воєнних дій та післявоєнного відновлення» (№ д/р 0123U101920).

Навчальний посібник має таку структуру:

- вступ (Чигрин О. Ю.);
- розділ 1: Теоретичні основи енергетичної безпеки та конкурентоспроможності національної економіки (Чигрин О. Ю., Білан Ю.В.);
- розділ 2: Інфраструктура та технології енергетичної безпеки національної економіки (Балагуровська І.О.);
- розділ 3: Відновлювана енергетика та енергетична безпека національної економіки (Балагуровська І.О., Білан Ю. В.);
- розділ 4: Маркетинг у сфері енергетики та формування конкурентних переваг підприємств галузі (Чигрин О. Ю.).

Розділ 1. Теоретичні основи енергетичної безпеки та конкурентоспроможності національної економіки

1.1 Сутність, структура та ключові принципи енергетичної безпеки

1.2 Концепції та моделі забезпечення енергетичної стійкості в конкурентному середовищі

1.3. Взаємозв'язок енергетичної безпеки, сталого розвитку та конкурентоспроможності економіки

1.4 Зелена трансформація як фактор довгострокової конкурентоспроможності економіки

1.1. Сутність, структура та ключові принципи енергетичної безпеки

Поняття енергетичної безпеки виникло як відповідь на кризу постачання нафти під час Суецької кризи 1956 р. Це історичний момент, коли енергія й безпека почали розглядатись разом.

Формування системного уявлення про енергетичну безпеку як багаторівневу категорію є принципово важливим, оскільки сучасна енергетика представляє собою складну, взаємопов'язану систему, у якій технічні, економічні, екологічні та політичні чинники тісно переплітаються і взаємно впливають один на одного. Такий підхід дозволяє не лише оцінювати поточний стан енергетичної сфери, але й прогнозувати ризики, планувати довгострокову стійкість і конкурентоспроможність економіки. Незважаючи на його широку вживаність категорії «енергетична безпека», єдиного універсального визначення енергетичної безпеки не існує. Його зміст диференціюється залежно від історичного періоду, рівня аналізу (національного, регіонального, глобального) та економічного, технічного, екологічного чи геополітичного підходів.

Упродовж останніх десятиліть науковці, міжнародні організації та державні інституції намагалися окреслити сутність енергетичної безпеки, розкриваючи її як багатовимірне поняття, що охоплює надійність постачання, доступність, стійкість, екологічну збалансованість та економічну ефективність енергетичних систем. Еволюція визначень відображає трансформацію світової енергетики від акценту на фізичній безпеці постачання нафти у 1970-х роках до інтеграції питань кліматичної політики, цифровізації та енергетичного переходу у XXI столітті.

З метою формування системного розуміння енергетичної безпеки доцільно розглянути найвпливовіші визначення, запропоновані міжнародними організаціями та провідними дослідниками. Вони відображають різні підходи до трактування цього поняття та дозволяють окреслити його ключові виміри: технічний, економічний, екологічний і політичний.

Технічний аспект енергетичної безпеки зосереджується на надійності, безперервності та стійкості функціонування енергетичної системи. Він охоплює захищеність виробничих, транспортних і розподільчих потужностей, диверсифікацію джерел енергопостачання, розвиток резервних потужностей, а також кібер- та фізичну безпеку енергетичної інфраструктури. У цьому контексті енергетична безпека трактується як здатність системи підтримувати баланс між попитом і пропозицією, мінімізуючи ризики збоїв чи руйнувань. Відповідно, основним критерієм виступає технологічна надійність і адаптивність енергомереж.

Економічна складова визначає енергетичну безпеку як спроможність національної економіки забезпечувати стабільне енергопостачання за прийнятною ціною, що сприяє зростанню конкурентоспроможності та макроекономічній стабільності. Цей підхід охоплює питання енергетичної ефективності, диверсифікації імпортованих джерел, формування ринкових стимулів для інвестицій та розвитку інноваційних технологій. Отже, економічна енергетична безпека є фундаментом для сталого розвитку, оскільки енергоресурси розглядаються як стратегічний фактор виробництва та добробуту.

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

У рамках екологічного підходу енергетична безпека визначається як здатність задовольняти потреби суспільства в енергії без шкоди для довкілля та майбутніх поколінь. Вона передбачає скорочення викидів парникових газів, інтеграцію відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), підвищення енергоефективності та розвиток циркулярних енергетичних моделей (IRENA, 2021). Цей підхід відображає перехід до декарбонізованої, децентралізованої та стійкої енергетичної системи, що узгоджується з Цілями сталого розвитку ООН.

Політичний вимір енергетичної безпеки охоплює здатність держави захищати свої енергетичні інтереси, забезпечувати стратегічну автономію та зменшувати залежність від зовнішніх постачальників. У центрі уваги перебувають енергетичний суверенітет, безпека критичної інфраструктури, транскордонне співробітництво, диверсифікація транспортних маршрутів і міжнародна координація політики. Таким чином, енергетична безпека у політичному контексті є не лише складовою національної безпеки, але й індикатором міжнародного впливу держави в енергетичній системі світу.

Одним із ключових індикаторів енергетичної безпеки є диверсифікація структури виробництва електроенергії, що відображає залежність країни від певних видів палива та здатність системи адаптуватися до змін ринку, кліматичних умов чи політичних ризиків. Аналіз країн-лідерів демонструє, як протягом останніх двох десятиліть відбувся перехід від домінування викопних джерел до більш збалансованої системи, в якій зростає роль відновлюваних, ядерних і біоенергетичних технологій (рисунк 1.1).

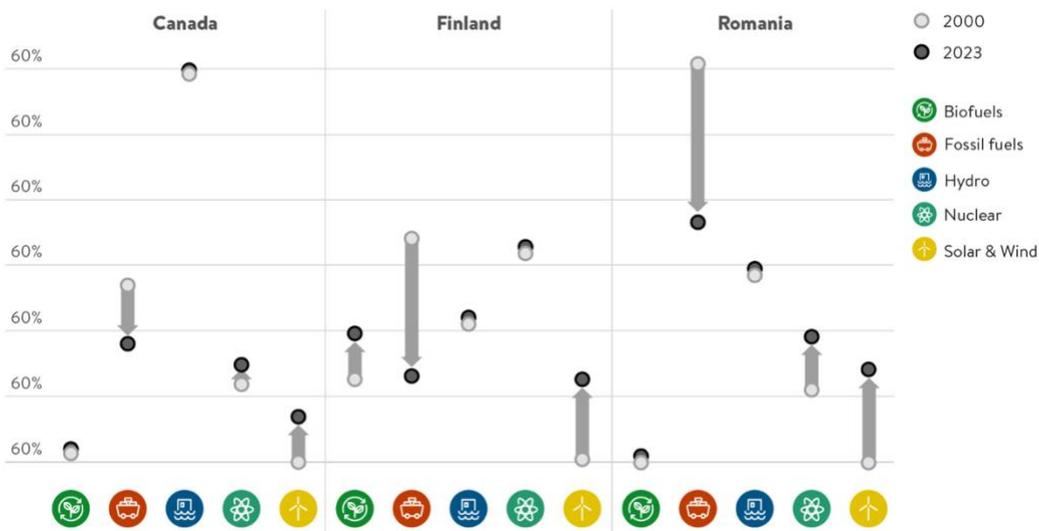


Рисунок 1.1. Зміни між 2000 і 2021 роками у структурі генерації електроенергії країн із найвищими показниками енергетичної безпеки.
Джерело: World Energy Council, IEA.

На рисунку 1.1 представлено динаміку частки основних джерел енергії (біопаливо, викопне паливо, гідроенергія, ядерна, сонячна та вітрова) у загальному виробництві електроенергії в трьох країнах із високими показниками енергетичної безпеки.

Сучасне трактування енергетичної безпеки поєднує ці чотири підходи в єдину системну модель, де технічна надійність забезпечує основу, економічна стабільність формує конкурентні переваги, екологічна відповідальність гарантує сталість, а політична незалежність визначає стратегічну свободу дій. Такий міждисциплінарний підхід дає змогу розглядати енергетичну безпеку як індикатор сталого розвитку, інноваційної спроможності та соціальної стабільності суспільства.

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

В таблиці 1.1 систематизовано міжнародний досвід визначення категорії «енергетична безпека».

Таблиця 1.1. Визначення енергетичної безпеки в міжнародних джерелах

№	Автор / Організація	Рік	Визначення енергетичної безпеки	Суть підходу	Джерело
1	Міжнародне енергетичне агентство (IEA)	2022	Безперебійна доступність енергоресурсів за прийнятною ціною.	Акцент на доступності та надійності постачання енергії за стабільною ціною.	IEA, World Energy Outlook 2022.
2	Організація з безпеки і співробітництва в Європі (OSCE)	2019	Стабільний доступ до джерел енергії своєчасно, стало та за доступною ціною.	Орієнтація на сталість і своєчасність доступу до енергоресурсів.	OSCE (2019).
3	Європейська Комісія	2014	Забезпечення постійної доступності енергії у різних формах, у достатній кількості та за розумною ціною.	Баланс між фізичною надійністю, економічністю та екологічністю постачання.	EU Energy Security Strategy (2014).
4	Черп і Джуелл	2014	Безперервність постачання енергії відповідно до попиту, що відображає стійкість енергосистем до збоїв.	Підхід, орієнтований на стійкість (resilience) енергетичних систем.	Cherp A., Jewell J. (2014), Energy Policy, 75, 415-426.
5	Аццуні та Браєр	2018	Безперервна доступність енергії за прийнятною ціною з мінімізацією ризиків перебоїв і цінових коливань.	Інтегрований підхід, що поєднує управління ризиками та диверсифікацію джерел.	WIREs Energy and Environment, 7(1), e268.
6	Меткалф, Г. (Національне бюро економічних досліджень, NBER)	2013	Здатність економіки гарантувати доступність енергоресурсів за стабільними цінами у сталий спосіб.	Економічно орієнтований підхід, що поєднує стабільність і сталий розвиток.	NBER Working Paper No. 19729.
7	Світовий банк	2020	Охоплює надійний доступ до енергії для домогосподарств, промисловості та сфери послуг із підтримкою цілей сталого розвитку.	Підхід сталого розвитку з акцентом на соціальну справедливість і доступність.	World Bank, SDG Energy Platform.
8	Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (IRENA)	2021	Диверсифікація постачання через ВДЕ та підвищення гнучкості системи.	Акцент на декарбонізації, децентралізації та інноваційності енергосистеми.	IRENA (2021), World Energy Transitions Outlook.

Структура енергетичної безпеки охоплює взаємопов'язані елементи, які забезпечують стабільне функціонування енергетичної системи та її стійкість до зовнішніх і внутрішніх викликів.

До ключових складових належать:

- енергопостачання;
- енергоспоживання;
- енергетична інфраструктура;
- екологічна та соціальна безпека.

Сукупно ці компоненти формують багаторівневу систему, у межах якої забезпечується безперервність енергетичних потоків, ефективність використання ресурсів та збалансованість інтересів держави, бізнесу й суспільства.

Енергопостачання (supply security) визначає здатність енергетичної системи гарантувати надійне та безперервне постачання енергії в усі сектори економіки. Основними критеріями цієї складової є диверсифікація джерел енергії, географічна розгалуженість постачань, а також мінімізація залежності від монопольних або геополітично ризикованих партнерів. У контексті Європейського Союзу цей вимір включає розвиток внутрішнього енергетичного ринку, інтерконекторів, резервних потужностей і стратегічних запасів. Надійність енергопостачання виступає базовою передумовою енергетичного суверенітету держави (European Commission, 2022).

Енергоспоживання (demand security) пов'язане з ефективністю, стабільністю та доступністю енергетичних ресурсів для споживачів. Ця складова передбачає раціональне використання енергії, зменшення енергоємності ВВП, упровадження енергоощадних технологій та оптимізацію попиту через механізми гнучкого управління споживанням. Безпека з боку попиту забезпечує економічну стійкість споживачів і зменшує вразливість до коливань світових цін на енергоносії. Вона також пов'язана з питаннями соціальної доступності енергії, так званої energy affordability, що є визначальним для енергетичної справедливості.

Енергетична інфраструктура є матеріальною основою енергетичної безпеки. Вона охоплює фізичні, цифрові та управлінські компоненти, які забезпечують виробництво, транспортування, розподіл і зберігання енергії. Фізична безпека передбачає захист об'єктів генерації, мереж і сховищ, тоді як цифрова - захист від кібератак та маніпуляцій у цифрових системах керування енергомережами. Управлінська складова полягає у створенні надійної системи моніторингу, прогнозування та кризового реагування. Стійкість інфраструктури стає дедалі актуальнішою в умовах гібридних загроз, військових конфліктів і зростання кіберризиків (IEA, 2023).

Енергетична безпека неможлива без врахування *екологічних та соціальних аспектів*. *Екологічний вимір* стосується мінімізації негативного впливу енергетики на довкілля, скорочення викидів парникових газів, збереження біорізноманіття та переходу до чистої енергетики. *Соціальний аспект* охоплює енергетичну справедливість, захист вразливих споживачів, створення робочих місць у зеленому секторі та підвищення соціальної стійкості громад у процесі енергетичних трансформацій. Ця складова забезпечує легітимність і прийнятність енергетичної політики серед населення.

Система енергетичної безпеки ґрунтується на сукупності принципів, які визначають її стабільність, адаптивність і ефективність у довгостроковій перспективі. Ці принципи відображають взаємозв'язок між технічними, економічними, екологічними та соціальними аспектами енергетичної політики. До базових належать надійність, доступність, стійкість, диверсифікація, гнучкість та технологічна інноваційність. Ці принципи виступають своєрідними орієнтирами для державної політики, бізнес-рішень і міжнародного співробітництва в енергетичній сфері. Вони забезпечують узгодженість дій на різних рівнях управління, від глобального до локального, а також сприяють досягненню балансу між економічною ефективністю, технологічною інноваційністю, екологічною сталістю та соціальною справедливістю.

Принцип надійності означає спроможність енергетичної системи забезпечувати безперервне постачання енергії споживачам у будь-яких умовах, включаючи кризові ситуації чи зовнішні загрози. Надійність передбачає стабільність виробництва, транспортування та розподілу енергії, а також наявність резервних потужностей і механізмів аварійного реагування. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA, 2022), надійність постачання є першою складовою енергетичної безпеки, оскільки забезпечує основу для стійкого економічного розвитку та суспільного добробуту. Надійність є це першою лінією захисту енергетичної безпеки, що забезпечує технічну стабільність системи.

Доступність означає, що енергетичні ресурси мають бути економічно досяжними для всіх груп населення та секторів економіки. Цей принцип поєднує економічну ефективність і соціальну справедливість, формуючи основу для запобігання енергетичній бідності. Європейська комісія (2014) визначає доступність як ключову умову енергетичного ринку, де ціна на енергію повинна залишатися стабільною, прогнозованою та прийнятною для кінцевого споживача.

Стійкість у контексті енергетичної безпеки представляє собою здатність енергосистеми витримувати зовнішні шоки (економічні, природні, військові) та швидко відновлюватися після криз. Вона також охоплює екологічну складову, яка характеризує здатність задовольняти поточні енергетичні потреби без загрози для можливостей майбутніх поколінь. Стійка енергетична система характеризується високим рівнем гнучкості, ефективністю споживання, низьким рівнем викидів і розвитком чистих технологій.

Диверсифікація передбачає розширення спектра джерел, маршрутів і постачальників енергії, що дозволяє мінімізувати ризики залежності від окремих країн чи монопольних структур. Цей принцип включає як технологічну диверсифікацію (використання різних типів енергії), так і географічну (розвиток альтернативних транспортних коридорів). Згідно з *EU Energy Security Strategy* (European Commission, 2014), диверсифікація є основою енергетичної незалежності держави та гнучкості ринку.

Гнучкість відображає здатність енергетичної системи адаптуватися до коливань попиту, змін у структурі енергоспоживання та розвитку нових технологій. Вона реалізується через балансування енергомереж, розвиток систем зберігання енергії, використання цифрових технологій управління та інтеграцію децентралізованих джерел енергії (smart grids, prosumers). Як підкреслює IRENA (2021), саме гнучкість є ключовим фактором успішного енергетичного переходу до відновлюваних джерел.

Інноваційність передбачає використання нових технологій для підвищення ефективності, безпеки та екологічності енергосистеми. Вона охоплює розвиток «розумних» мереж, цифрових платформ керування енергопотоками, водневих технологій, систем акумулювання енергії та штучного інтелекту в прогнозуванні споживання. Інноваційність формує основу довгострокової енергетичної стійкості, сприяє зниженню витрат і забезпечує конкурентоспроможність енергетичних ринків.

У сучасних умовах ці принципи є фундаментом формування стратегій енергетичного переходу, енергетичного суверенітету та конкурентоспроможності держави.

Енергетична безпека України в останні роки зазнала суттєвих трансформацій, обумовлених як внутрішніми реформами, так і зовнішніми викликами. Вона стала ключовим елементом національної безпеки, особливо після початку повномасштабної агресії російської федерації у 2022 році. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), у 2023–2024 опалювальному сезоні Україна досягла історичного рівня енергетичної самодостатності, вона не імпортувала природний газ, повністю забезпечивши внутрішні потреби за рахунок власного видобутку та використання підземних сховищ. Це стало результатом цілеспрямованої політики диверсифікації джерел постачання та підвищення ефективності енергоспоживання. Разом з тим, Україна залишається одним із найбільших власників запасів вуглеводнів у Європі. Це, за оцінками *U.S. Department of Commerce, trade.gov*, приблизно 900 млрд м³ підтверджених запасів природного газу. Це створює стратегічні передумови для енергетичної незалежності в середньостроковій перспективі, особливо за умови розвитку технологій видобутку з малодоступних родовищ.

Історичні дані свідчать про високу енергетичну залежність: ще у 2018 році Україна імпортувала 83 % потреби у нафті, 33 % у природному газі та 50 % у вугіллі (IEA). Така структура імпорту формувала енергетичну вразливість держави, зокрема до геополітичних ризиків та цінових коливань на світових ринках енергоресурсів. Ситуація

докорінно змінилася після початку повномасштабного вторгнення Росії, коли значна частина енергетичної інфраструктури України була пошкоджена або зруйнована, що поставило під загрозу стабільність енергопостачання. Це стало каталізатором реформ у напрямі децентралізації енергетичних систем, збільшення частки відновлюваних джерел енергії та розвитку локальних енергетичних рішень.

Перспективним напрямом для підвищення енергетичної безпеки є використання відновлюваних ресурсів, насамперед сонячної енергії. За оцінками останніх досліджень, потенціал дахових фотоелектричних систем в Україні становить близько 238,8 ГВт встановленої потужності з можливим річним виробленням понад 290 ТВт·год за сприятливих кліматичних умов. Реалізація цього потенціалу здатна не лише зменшити імпорт енергоносіїв, але й зміцнити конкурентоспроможність української енергетики в європейському просторі.

1.2. Концепції та моделі забезпечення енергетичної стійкості в конкурентному середовищі

Сучасні наукові підходи до стійкості енергетичних систем пройшли помітну трансформацію. Акцент на *технічній стабільності* забезпечував здатність енергосистеми забезпечувати безперебійне постачання, підтримувати резервні потужності, мінімізувати збої. У такому підході головними були питання надійності інфраструктури і захисту від аварій. Проте, посилення глобальних викликів, таких як кліматичні зміни, геополітичні кризи, кібератаки, енергетичний перехід, обумовили появу більш широкого підходу до стійкості систем. Згодом з'являється, так звана, *резильєнтність* (від англ. resilience - пружність, еластичність), тобто здатність системи не лише витримати шок, але й адаптуватися до нових умов. Це означає, що енергетична стійкість включає не просто резерви й аварійні плани, а активне управління ризиками, гнучкість, децентралізацію, цифрові технології.

Сучасні моделі забезпечення енергетичної стійкості виходять за межі інфраструктурної стійкості і включають *соціо-економічну адаптивність*: здатність енергосистеми та суспільства трансформуватися у відповідь на структурні зміни (зростання частки відновлюваних джерел, зміна споживчої поведінки, цифровізація), забезпечувати соціальну справедливість, доступність, залучення громад. Відповідне розширення уявлень від “система має працювати без збоїв” (технічна) до “система має адаптуватися, витримувати кризи та підтримувати розвиток у конкурентному середовищі” (соціо-економічна) відображає нову парадигму енергетичної безпеки та стійкості. Наприклад, World Energy Council у звіті 2023 року вводить концепцію *динамічної стійкості* як ключового принципу сучасної системної безпеки енергії (рисунок 1.1).

Рамкова модель динамічної стійкості (Dynamic Resilience Framework, DRF) представляє собою сучасну концепція управління енергетичною системою, яка поєднує технічну, економічну, соціальну та екологічну складові стійкості в умовах постійної зміни середовища. На відміну від традиційного підходу до енергетичної безпеки, DRF орієнтована на здатність системи адаптуватися, відновлюватися й розвиватися після кризових подій.

Модель складається з чотирьох взаємопов'язаних рівнів:

1. *Технічний рівень* (Technical Resilience) характеризує здатність енергетичної інфраструктури витримувати фізичні та кіберзагрози, аварії, перебої постачання. Прикладами виступають резервні лінії, smart-grid, мікромережі, системи аварійного балансування.

2. *Інституційно-управлінський рівень* (Institutional Resilience) описує готовність політичних і регуляторних інститутів реагувати на кризи, координувати дії та коригувати

політику. Приклади: адаптивне регулювання тарифів, кризові плани енергетичних агентств, інтеграція ENTSO-E.

3. *Економічний рівень* (Economic Resilience) характеризує гнучкість ринку, здатність підтримувати енергопостачання в умовах зростання цін, дефіциту або логістичних збоїв. Приклади: диверсифікація імпорту, розвиток локальних енергоринків, підтримка інновацій.

4. *Соціо-екологічний рівень* (Socio-Environmental Resilience) описує адаптацію споживачів, громад і довкілля до змін у енергетичній системі. Приклади: енергоефективна поведінка населення, участь громад у розподіленій генерації, скорочення викидів.

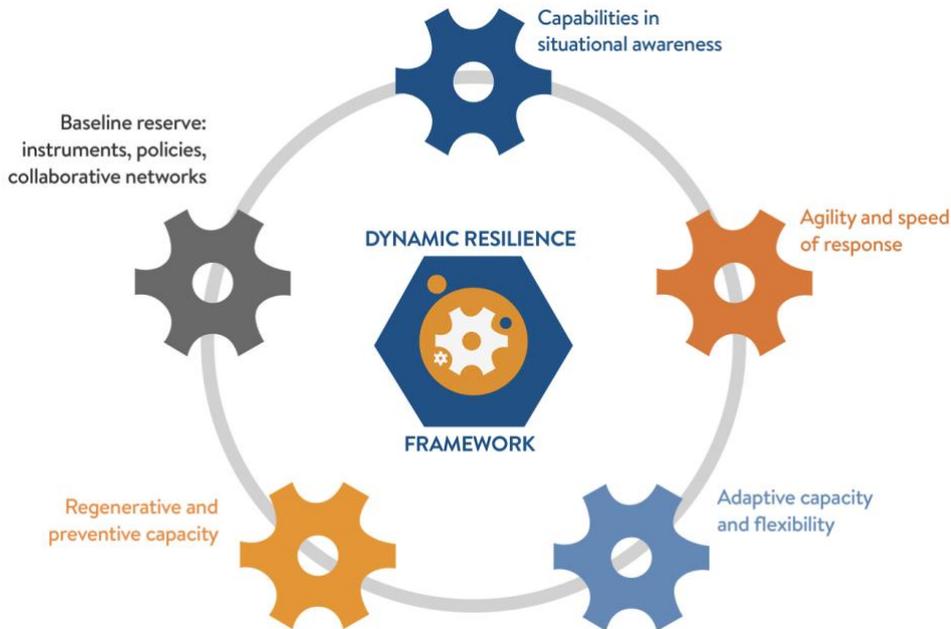


Рисунок 1.2. Рамкова модель динамічної стійкості енергетичних систем
Джерело: trilemma.worldenergy.org

Ключові компоненти рамкової моделі динамічної стійкості представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Ключові компоненти рамкової моделі динамічної стійкості

Компонент	Опис
Передбачення	Ідентифікація потенційних загроз і вразливостей (енергетичні, кліматичні, геополітичні ризики)
Поглинання	Здатність системи витримати шок без критичних втрат
Відновлення	Швидкість і ефективність повернення до стабільного стану
Адаптація	Зміна структури або політики системи на основі досвіду
Трансформація	Довгострокова переорієнтація системи на більш стійкі технології (ВДЕ, воднева економіка, цифрові рішення)

Джерело: trilemma.worldenergy.org

Модель DRF передбачає, що енергетична стійкість є динамічною властивістю, яка формується на перетині технологічних інновацій, інституційного управління, економічної конкурентоспроможності та соціальної готовності. Таким чином, динамічна стійкість - це не лише збереження системи в існуючому стані, а її здатність еволюціонувати під тиском змін.

Прикладами застосування моделі DRF є її використання у політиці енергетичної інтеграції для зниження залежності від імпорту енергоносіїв в ЕС, оцінка динамічної стійкості енергоринків під час воєнних дій та цінових шоків, розвиток децентралізованої відновлюваної енергетики як елементу поствоєнної енергетичної стійкості в Україні.

У сучасному енергетичному секторі ключову роль відіграють інновації, цифровізація та декарбонізація як взаємопов'язані фактори, що суттєво підвищують стійкість системи. Інновації дозволяють створювати нові технології відновлювальної генерації, ощадливого споживання й адаптивного управління енергоресурсами, що знижує вразливість системи до зовнішніх шоків.

За даними Європейської комісії, *цифровізація* виступає каталізатором змін у енергетиці, вона дозволяє розв'язувати питання диверсифікації джерел, підвищення ефективності та безпеки енергопостачання, а також пришвидшити перехід до «зеленого» енергетичного майбутнього. Наприклад, в енергетиці ЄС впроваджуються проекти зі створення цифрової інфраструктури обміну даними, платформи для розумних лічильників, інструменти для керування побутовим і промисловим попитом, що сприяє підвищенню стійкості системи перед кризами та збуреннями. *Декарбонізація*, в свою чергу, виступає не лише екологічною необхідністю, а й елементом системного підходу до стійкості, зокрема, зниження залежності від викопного палива, інтеграції відновлюваних джерел та розвитку технологій накопичення енергії, які роблять систему менш уразливою перед геополітичними, ринковими чи кліматичними ризиками.

Підходи до оцінювання енергетичної стійкості дозволяють комплексно аналізувати здатність енергетичних систем протидіяти зовнішнім викликам і забезпечувати стабільність у довгостроковій перспективі. Вони поєднують кількісні індикатори, сценарне прогнозування, динамічний аналіз взаємозв'язків між технічними, економічними й політичними чинниками, а також концепцію «енергетичного трикутника», що відображає баланс між безпекою, доступністю та сталим розвитком. Ці моделі формують методологічну основу для розроблення політик енергетичної безпеки та стратегій трансформації енергетичного сектору.

Індикаторна модель оцінювання енергетичної стійкості (Energy Resilience Index)

Модель передбачає формування композитного індексу, що охоплює такі параметри, як енергетичний баланс, частка відновлюваних джерел енергії, резервні потужності, імпортна залежність, рівень цифровізації енергомережі. Побудова такого індексу дозволяє порівняти країни або регіони за здатністю витримувати збурення й відновлюватися після них. Таблиця 1.3 демонструє рівень енергетичної стійкості окремих країн. До уваги взято частку альтернативної та ядерної енергії у загальному енергоспоживанні, виробництво електроенергії з гідроресурсів, споживання енергії з викопного палива та загальний інтегральний індекс енергетичної стійкості.

Таблиця 1.3. Порівняльний індекс енергетичної стійкості країн

Країна	Альтернативна та ядерна енергія (% від загального споживання)	Виробництво електроенергії з гідроресурсів (% від загального)	Споживання енергії з викопного палива (%)	Індекс енергетичної стійкості
Ісландія	89.3	70.2	10.3	82.93
Норвегія	50.6	89.1	46.3	67.12
Швейцарія	45.0	55.9	44.5	63.47
Швеція	49.2	40.0	24.9	61.07
Нова Зеландія	38.7	59.5	55.4	58.70
Бразилія	17.3	60.2	49.4	51.05
Австрія	16.2	60.0	62.1	49.73
Латвія	8.3	59.4	47.8	48.99
Франція	46.7	11.5	46.5	48.01
Еквадор	13.2	74.6	84.0	47.71

Джерело: Waterpower Magazine (2024), Global Energy Resilience Index, IEA.

Модель сценарного прогнозування енергетичної стійкості (Scenario-based Energy Resilience Modelling)

Модель використовує побудову трьох сценаріїв (базового, стресового, інноваційного) для оцінювання, як енергетична система може реагувати на різні типи зовнішніх впливів (наприклад, геополітичні шоки, великі перебої, технологічні зміни). На основі сценаріїв аналізуються показники стійкості, вразливості та часу відновлення. Наприклад, дослідження вказують, що для оцінювання розподільної мережі можна застосувати ризик-базований симуляційний підхід. Так, симуляційна модель оцінює, як розподільна система витримує надзвичайні події і які заходи слід прийняти для підвищення її стійкості.

Модель динамічної стійкості енергетичних систем

Модель інтегрує технічні, економічні та політичні фактори протягом часу, підкреслюючи, що стійкість, це не лише момент захисту, а й здатність системи трансформуватися, адаптуватися і зберігати функціонування у мінливому середовищі. Наприклад, енергосистема країни враховує не тільки резервні потужності, але й можливості цифрового управління, законодавчої підтримки, фінансових інструментів та інтеграції ВДЕ. Таким чином система «навчається» і стає адаптивною.

Модель «енергетичного трикутника» (Energy Trilemma)

Модель пропонує розглядати три взаємопов'язані цілі енергетичної політики: енергетична безпека, доступність та справедливість, екологічна сталість (Рисунок 1.3). Баланс між цими трьома вісями створює основу для конкурентоспроможної та стійкої енергетичної системи.



Рисунок 1.3. Модель «енергетичного трикутника»

Джерело: <https://www.marshmclellan.com/insights/publications/2022/november/world-energy-trilemma-index-2022.html>

Згідно з World Energy Council, індекс Energy Trilemma використовується для оцінювання країн за трьома показниками: забезпечення безперебійного постачання, доступність енергії та зменшення впливу на довкілля. В таблиці 1.4 наведено рейтинг країн, які у 2022 році продемонстрували найвищі показники енергетичної безпеки. Індекс енергетичної безпеки (Energy Security Score) відображає рівень надійності енергопостачання, стійкість енергетичної системи та здатність економіки адаптуватися до зовнішніх енергетичних викликів.

Таблиця 1.4. ТОП-10 країн за рівнем енергетичної безпеки (2022 рік)

Рейтинг	Країна	Індекс енергетичної безпеки
1	Канада	76.9
2	США	74.1
3	Фінляндія	73.8
4	Швеція	73.1
5	Чеська Республіка	72.9
6	Німеччина	72.5
7	Латвія	72.4
8	Угорщина	72.1
9	Австрія	71.6
10	Велика Британія	70.8

Джерело: World Energy Council (2023), Energy Trilemma Index.

У таблиці 1.4 наведено країни, які у 2022 році досягли найвищих показників енергетичної безпеки згідно з рейтингом *World Energy Council (Energy Trilemma Index)*. Лідером рейтингу є Канада, що демонструє високу диверсифікацію джерел енергії та потужну інфраструктуру. До першої п'ятірки також увійшли США, Фінляндія, Швеція та Чеська Республіка, які відзначаються ефективним управлінням енергетичними системами, розвитком відновлюваних джерел енергії та високим рівнем технологічної стійкості.

Рейтинг, представлений в таблиці 1.5, демонструє країни, які у 2022 році досягли найвищих показників енергетичної рівності (Energy Equity Score), тобто забезпечили справедливий і доступний розподіл енергетичних ресурсів серед населення.

Таблиця 1.5. ТОП-10 країн за рівнем енергетичної рівності (2022 рік)

Рейтинг	Країна	Індекс енергетичної рівності
1	Люксембург	100
2	Катар	99.9
3	Кувейт	99.8
3	ОАЕ	99.8
4	Оман	99.6
4	Ісландія	99.6
5	Бахрейн	99.5
6	Ірландія	98.6
7	Тринідад і Тобаго	98.4
7	Швейцарія	98.4
8	Ізраїль	98.3
9	США	97.3
10	Саудівська Аравія	97.2
10	Норвегія	97.2

Джерело: World Energy Council (2023), Energy Trilemma Index.

У таблиці 1.5 подано рейтинг країн за рівнем енергетичної рівності (Energy Equity) за даними *World Energy Council (Energy Trilemma Index, 2023)*. Цей показник характеризує здатність держав забезпечувати доступність, справедливість і фінансову прийнятність енергопостачання для всіх груп населення. Лідерами рейтингу стали Люксембург, Катар, Кувейт та ОАЕ, які мають високі доходи, розвинену енергетичну інфраструктуру та державну підтримку енергетичного сектора. У цих країнах енергія є не лише доступною, але й надається споживачам за стабільними тарифами. Високі позиції Ісландії, Ірландії, Швейцарії та Норвегії свідчать про ефективну інтеграцію відновлюваних джерел енергії, що дозволяє поєднувати соціальну рівність з екологічною стійкістю.

Різні моделі оцінювання та управління енергетичною стійкістю дозволяють системно підходити до аналізу енергетичних систем як із точки зору індикаторів, так і через сценарії, а також у динамічному розвитку та балансі ключових політичних і економічних цілей. Використання цих моделей сприяє підвищенню конкурентоспроможності енергетичних систем, здатності реагувати на зовнішні шоки та інтегрувати інновації й цифрові рішення.

Оцінювання сталого розвитку енергетичних систем дає змогу визначити країни, які досягли найвищого рівня балансу між економічною ефективністю, енергетичною безпекою та екологічною відповідальністю. У межах *Energy Trilemma Index* Світової енергетичної ради сталий розвиток розглядається як здатність держави забезпечувати доступну, надійну та екологічно чисту енергію для всіх споживачів. У таблиці 1.6 представлено десятку країн-лідерів за рівнем сталості енергетики (Environmental Sustainability) у 2022 році.

Лідерами рейтингу стали Швеція, Швейцарія та Норвегія, які забезпечили збалансований розвиток своїх енергетичних систем завдяки високому рівню впровадження відновлюваних джерел енергії, ефективному енергоменеджменту та активній політиці декарбонізації.

Таблиця 1.6. ТОП-10 країн за рівнем сталого розвитку (2022 рік)

Рейтинг	Країна	Індекс сталого розвитку
1	Швеція	87,5
2	Швейцарія	87,1
3	Норвегія	85,8
4	Данія	84,7
5	Уругвай	84,0
6	Франція	83,4
7	Велика Британія	83,2
8	Бразилія	82,8
9	Албанія	82,7
10	Люксембург	82,1

Джерело: World Energy Council (2023), Energy Trilemma Index.

Високі позиції європейських країн та Латинської Америки (зокрема Уругваю та Бразилії) свідчать про глобальну тенденцію до переходу на «зелену» енергетику та підвищення енергоефективності економік.

1.3. Взаємозв'язок енергетичної безпеки, сталого розвитку та конкурентоспроможності економіки

Енергетична безпека виступає критичним елементом у досягненні Ціль 7: Доступна та чиста енергія (SDG 7) та Ціль 13: Боротьба зі зміною клімату (SDG 13). За SDG 7, забезпечення «доступної, надійної, стійкої та сучасної енергії для всіх» до 2030 року є фундаментальним завданням. Водночас SDG 13 закликає до невідкладних дій із протидії зміні клімату та її наслідкам. Використання «чистої» енергії (не обов'язково відновлюваної) може зменшити кількість смертей від забруднення повітря — оцінюється, що перехід на чисті технології опалення/готування може врятувати 4-7 млн життів щороку.

Системний зв'язок між енергетичною безпекою та цими цілями проявляється в тому, що стабільне енергопостачання дозволяє забезпечити функціонування життєво важливих процесів (освіта, охорона здоров'я, промисловість), створює умови для зростання та розвитку заощадження ресурсів. Наприклад, як відзначає Організація з

безпеки та співробітництва в Європі (OSCE): «Energy security means having stable access to energy sources on a timely, sustainable and affordable basis ... it is a pre-condition to economic growth, political stability and prosperity».

Для SDG 13, енергетична безпека має значення через трансформацію енергетичних систем: зниження залежності від викопного палива, підвищення ролі ВДЕ, підвищення енергоефективності, які ведуть до скорочення викидів і посилення адаптивності до кліматичних ризиків.

Міжнародні організації, такі як Міжнародне енергетичне агентство (IEA), Світовий банк, ООН та IRENA, наголошують, що перехід до «чистої» енергетики є ключем до стійкого майбутнього, економічної стабільності та кліматичної безпеки. Так, у 2021 році кількість людей без доступу до електрики зменшилась з 1,14 млрд у 2010 році до близько 675 млн.

Перехід до відновлюваних джерел енергії і підвищення енергоефективності створюють нові геополітичні ситуації: країни, які покладаються на імпорту викопного палива, можуть зміцнити свою енергетичну безпеку через розвиток внутрішніх ВДЕ.

Стабільність енергопостачання та диверсифікація джерел значною мірою впливають на конкурентоспроможність економіки країни через зменшення собівартості виробництва, збільшення інвестиційної привабливості та зміцнення позицій на міжнародних ринках. З одного боку, надійне енергопостачання це запорука безперервної роботи підприємств, що мінімізує ризики простоїв, аварій або раптових стрибків цін на енергоресурси. З іншого це диверсифікація джерел (наприклад, розвиток внутрішнього видобутку, імпорту із кількох напрямків, переходи на відновлювані джерела) знижує вразливість до зовнішніх шоків, таких як геополітичні ризики чи перебої з постачанням.

Згідно International Energy Agency, підвищення енергоефективності та диверсифікація джерел постачання дозволили країнам-членам уникнути потреби в додатковому імпорту викопного палива, що створює економічний резерв і підвищує стійкість енергосистеми.

Політика енергоефективності в різних секторах є ефективною при скороченні імпорту викопного палива (Рисунок 1.4).

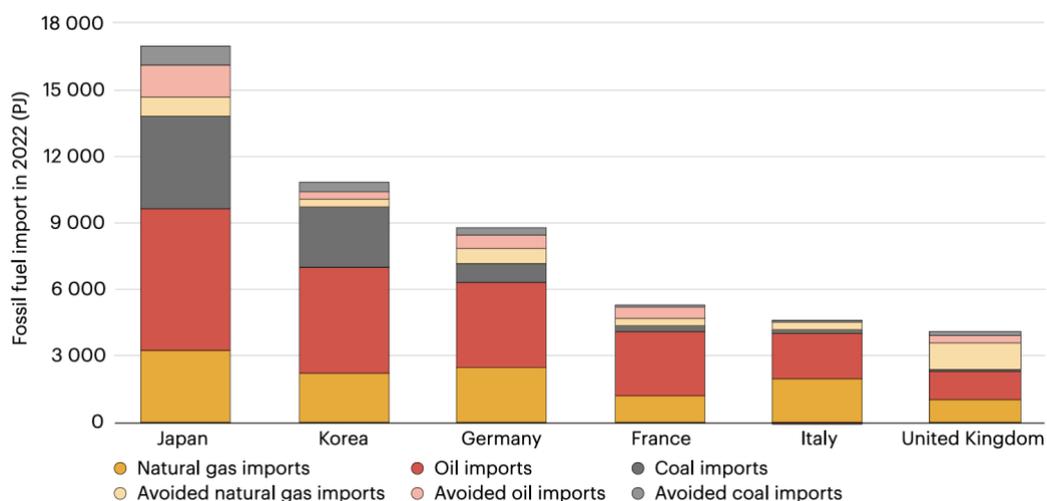


Рисунок 1.4. Вплив енергетичного переходу на імпорту викопного палива: порівняльні дані для країн G7 у 2022 році

Джерело: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/693c6d77-b3fa-4458-82a7-3abae9aff818/MultipleBenefitsofEnergyEfficiency-EnergySecurity.pdf>

Розвиток відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності дозволили низці країн, насамперед Японії, Кореї, Німеччині, Франції, Італії та Великій

Британії, скоротити залежність від імпорту природного газу, нафти й вугілля. Світові лідери змогли уникнути імпорту значних обсягів викопного палива завдяки інвестиціям у чисті технології, що, за оцінками IEA Energy Security Report 2023, сприяло підвищенню енергетичної безпеки та зменшенню впливу цінових шоків на економіку.

Так, наприклад, одним із ключових кроків Польщі до посилення енергетичної незалежності стало будівництво терміналу скрапленого природного газу (LNG) у місті Свінуйсьце (Świnoujście), введеного в комерційну експлуатацію у 2016 році (Рисунок 1.4). Проєкт реалізовано під керівництвом державного оператора GAZ-SYSTEM S.A. за підтримки Європейського Союзу. Початкова пропускна спроможність становила 5 млрд мгазу на рік, а після розширення у 2023–2025 рр. вона зросла до 8,3 млрд м³/рік, що дозволяє задовольняти понад 50 % внутрішнього попиту Польщі на природний газ. Термінал забезпечує можливість імпорту скрапленого газу з різних країн, Катару, США, Норвегії та інших постачальників, що дало змогу знизити залежність від одного джерела постачання та підвищити стабільність енергопостачання.

Данія є одним із глобальних лідерів у сфері енергетичного переходу. Країна першою у світі відмовилась від планів розвідки нових родовищ викопного палива в Північному морі та визначила стратегічну мету про повний перехід на відновлювані джерела енергії до 2050 року. Центральну роль у досягненні цієї мети відіграють енергетичні кластери (наприклад, *Energy Cluster Denmark*), які об'єднують бізнес, університети, інноваційні стартапи та державні структури навколо проєктів у галузі вітрової, водневої та біоенергетики.



Рисунок 1.5. LNG-термінал у місті Свінуйсьце (Польща) як ключовий елемент енергетичної безпеки країни

Джерело: <https://www.gaz-system.pl/en/terminal-lng/information-about-lng-terminal.html>

Термінал забезпечує можливість імпорту скрапленого газу з різних країн, Катару, США, Норвегії та інших постачальників, що дало змогу знизити залежність від одного джерела постачання та підвищити стабільність енергопостачання.

Данія є одним із глобальних лідерів у сфері енергетичного переходу. Країна першою у світі відмовилась від планів розвідки нових родовищ викопного палива в Північному морі та визначила стратегічну мету про повний перехід на відновлювані джерела енергії до 2050 року. Центральну роль у досягненні цієї мети відіграють

енергетичні кластери (наприклад, *Energy Cluster Denmark*), які об'єднують бізнес, університети, інноваційні стартапи та державні структури навколо проєктів у галузі вітрової, водневої та біоенергетики.

Досвід Данії вважається зразковим для формування конкурентоспроможної економіки з високим рівнем енергетичної безпеки. У таблиці 5.3 узагальнено ключові показники енергетичної трансформації Данії, що відображають стратегічні цілі країни, структуру енергобалансу, роль провідних компаній та інноваційних кластерів, а також масштаби експорту «зелених» технологій. Ці дані ілюструють, як системна декарбонізаційна політика сприяє зміцненню економічної стійкості та глобальної конкурентоспроможності держави.

Вітрова енергетика стала флагманом данської «зеленої» трансформації: у 2023 році понад 55 % електроенергії було вироблено з вітру, а сама країна є експортером технологій для морських вітрових електростанцій. Згідно з даними IEA (2023), Данія посідає перше місце у світі за часткою вітрової енергії в енергобалансі та має понад 7 ГВт встановлених потужностей ВДЕ, більшість з яких зосереджено в прибережних районах. До 2030 року країна планує збільшити сумарну потужність офшорних вітропарків до 12 ГВт, що перевищить її власні потреби в електроенергії та дозволить експортувати надлишки в інші держави ЄС через систему міждержавних енергомостів, зокрема, North Sea Energy Hub.

Крім того, зелені технології стали важливим чинником економічного зростання: експорт «зелених» енергетичних рішень у 2022 році перевищив €15 млрд, забезпечивши близько 80 000 робочих місць у секторі відновлюваної енергетики (*Energy Cluster Denmark, 2024*).

Таблиця 1.7. Ключові показники енергетичної трансформації Данії

Показник	Характеристика
Основна стратегічна мета	Досягнення 100 % відновлюваної енергетики до 2050 року
Частка ВДЕ в енергобалансі (2023)	55 % (вітрова енергетика), 13 % (біоенергетика)
Провідні енергетичні компанії	Ørsted, Vestas, Energinet
Ключові кластери	Energy Cluster Denmark, GreenLab Skive, North Sea Energy Hub
Обсяг експорту «зелених» технологій (2022)	понад 15 млрд євро
Скорочення викидів CO ₂ з 1990 р.	58 %
Фінансування інновацій	Програма Mission Innovation Denmark, EU Horizon Europe

Джерело: IEA, Denmark Energy Policy Review 2023; Energy Cluster Denmark, 2024

У поєднанні з програмою Mission Innovation Denmark та фінансуванням у межах Horizon Europe, Данія інвестує понад 2 % ВВП у наукові дослідження й інновації, спрямовані на розвиток біоенергетики, водневих технологій і енергозбереження, створюючи модель енергетичної трансформації, що поєднує економічну ефективність, кліматичну нейтральність і конкурентоспроможність.

Зміцнення енергетичної безпеки через диверсифікацію джерел, розвиток внутрішніх технологій і зниження залежності від імпорту є важливим інструментом підвищення конкурентоспроможності економіки, а приклади Польщі й Данії демонструють, як такі дії можуть бути реалізовані на практиці.

Після 2014 року, а особливо з початком повномасштабної війни 2022 року, підвищення енергоефективності стало ключовим елементом енергетичної безпеки та

економічної стійкості України. Значну роль у цьому процесі відіграють міжнародні програми технічної допомоги, спрямовані на розвиток місцевої енергетичної політики, модернізацію інфраструктури та зменшення споживання енергоресурсів.

Програма USAID ESP (Energy Security Project), започаткована у 2019 році, має на меті посилення енергетичної незалежності України через реформування ринку електроенергії, розвиток розподіленої генерації, підвищення стійкості до кібератак і сприяння децентралізованим джерелам енергії. У 2023 р. проєкт профінансував створення понад 200 систем резервного енергопостачання для лікарень і критичних об'єктів, а також підтримав 14 міст, які впровадили «енергетичні паспорти» для будівель (USAID ESP Annual Report, 2023). Крім того, програма сприяє розвитку біоенергетичних проєктів, зокрема установці біокотелень у громадах Полтавщини, що зменшують споживання газу на 70–80 %.

Північна екологічна фінансова корпорація (NEFCO) підтримує муніципальні проєкти з термомодернізації, переходу на ВДЕ та енергоефективного вуличного освітлення.

З 2015 р. профінансовано понад 200 проєктів у 90 містах України, зокрема модернізацію систем опалення у Львові, Сумах, Чернігові та Кременчуці. Наприклад, реалізація проєкту в м. Олександрія дозволила скоротити споживання теплової енергії на 35 % і викиди CO₂ на понад 1200 тонн на рік (NEFCO, *Annual Impact Report 2023*).

Створений у 2018 році у партнерстві з Європейським Союзом та Урядом Німеччини, *Фонд енергоефективності України* є центральною інституцією з підтримки модернізації житлового сектору. Програма «Енергодім» надає гранти ОСББ на утеплення будівель, модернізацію систем опалення, встановлення ІТП та теплових лічильників.

Станом на 2024 рік Фонд підтримав понад 4000 ОСББ, залучивши понад 7 млрд грн інвестицій, що забезпечило скорочення енергоспоживання в середньому на 40 % (Фонд енергоефективності України, *Annual Report 2024*). Окрім фінансової підтримки, Фонд сприяє формуванню енергетичної культури громадян, розробляючи методичні посібники та програми підготовки енергоаудиторів.

1.4 Зелена трансформація як фактор довгострокової конкурентоспроможності економіки

Сучасна зелена трансформація є ключовим вектором зміцнення економічної конкурентоспроможності та енергетичної безпеки держав. Вона передбачає перехід від ресурсоємних і вуглецево-залежних моделей зростання до інноваційної, низьковуглецевої економіки, заснованої на розвитку відновлюваної енергетики, циркулярного виробництва та енергоефективних технологій.

За даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA, 2023), глобальний ринок відновлюваної енергетики забезпечує понад 12,7 млн робочих місць у світі (зокрема понад 5 млн у сонячній енергетиці, 2,4 млн у вітровій, 2,5 млн у біоенергетиці).

Обсяги інвестицій у сектор «зелених» технологій зростають на 6–8 % щороку, формуючи нові інноваційні ринки, включно з зеленим воднем, біометаном, електромобільністю та енергонакопиченням (IRENA, *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2023*). Розвиток цих напрямів знижує енергетичні ризики, посилює енергетичний суверенітет країн, а також стимулює експорт високотехнологічної продукції, що базується на принципах ESG та декарбонізації.

Зелена трансформація формує нові галузі економічного лідерства:

- зелена металургія - виробництво сталі із використанням водню та ВДЕ (пілотні проєкти у Швеції - *HYBRIT*, Німеччині - *H2 Green Steel*);

- біоенергетика та агробіогаз - створення систем замкненого циклу в аграрному секторі;

- воднева енергетика - формування «водневої економіки» як майбутнього європейського ринку палива.

Згідно з оцінками World Economic Forum (2024), перехід до зеленої економіки може забезпечити до \$10 трлн глобального економічного ефекту до 2050 року, що робить її не лише кліматично, а й фінансово обґрунтованою моделлю розвитку.

Для України зелена трансформація є не лише екологічною, а й стратегічною передумовою інтеграції до Європейського енергетичного союзу (EU Energy Union). Серед основних переваг такої інтеграції:

- доступ до єдиного енергетичного ринку ЄС і міжсистемного обміну електроенергією через ENTSO-E;

- можливість участі у схемах торгівлі викидами (EU ETS), що дозволяє українським підприємствам поступово адаптуватися до європейських стандартів вуглецевого регулювання;

- зменшення ризиків для експортерів у зв'язку із запровадженням Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), який з 2026 року передбачатиме оплату «вуглецевих сертифікатів» для продукції з високим вмістом CO₂.

За оцінками Європейського інвестиційного банку (EIB, 2024), адаптація України до CBAM може відкрити можливості для залучення до €20 млрд інвестицій у модернізацію промисловості, розвиток відновлюваної енергетики та цифровізацію енергосистем.

Розвиток зеленого фінансування (через програми *EU4Energy Transition*, *Horizon Europe*, *Green Deal Facility for Ukraine*) створює умови для довгострокового зростання, водночас зменшуючи залежність від імпорту енергоресурсів і посилюючи стійкість економіки до зовнішніх шоків.

Глобальна зелена трансформація не лише змінює енергетичні та технологічні системи, а й суттєво перебудовує уклад світової економіки. Прискорений перехід до низьковуглецевих технологій формує нові напрямки спеціалізації країн, де основна додана вартість зосереджується у виробництві батарей, електромобілів, водневих рішень, відновлюваної енергетики та «зеленої» металургії. У цьому контексті «зелені» глобальні ланцюги доданої вартості (GVCs) стають визначальним фактором довгострокової конкурентоспроможності. Держави й компанії, які раніше за інших інвестують у декарбонізацію та чисті технології, отримують доступ до швидкозростаючих ринків, перевагу у міжнародній торгівлі та посилення стратегічної автономії. Саме тому аналіз трансформації GVCs, що відбувається під впливом кліматичної політики та технологічних інновацій, є ключовим для розуміння сучасних глобальних економічних тенденцій.

Формування нових «зелених» глобальних ланцюгів доданої вартості (GVCs) відбувається не просто як екологічний тренд, а як глибока структурна перебудова світового виробництва. Декарбонізація стає новим «якорем» спеціалізації країн: хто першим освоєє низьковуглецеві технології, той вбудовується у вигідні сегменти GVCs та отримує більшу частку доданої вартості.

Згідно OECD, глобальні ланцюги не зникають, а переформатовуються навколо “cleantech”-галузей – батарей, електромобілі, відновлювана енергетика, водень, «зелена» металургія тощо.

Ключові особливості цих процесів:

- зростання ролі галузей, пов'язаних із декарбонізацією транспорту, енергетики та промисловості (batteries, EVs, green hydrogen, green steel);

- ланцюги виробництва технологій ВДЕ, батарей, водню та комплектуючих стають новими ядрами глобальної спеціалізації;

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

- країни, які швидко нарощують компетенції у цих сферах, переходять від ролі «складального цеху» до центрів інновацій, R&D, інженерного дизайну, де концентрується основна додана вартість.

За оцінками OECD та IEA, саме виробництво батарей, сонячних панелей, вітрових турбін та низьковуглецевого водню стане одним із найбільш динамічних сегментів світових GVCs до 2030–2040 рр.

У звіті IEA «Securing clean energy technology supply chains» показано, що встановлення сонячних PV має зрости до ~630 ГВт на рік у 2030 році (зі ~151 ГВт у 2021 році) у сценарії «Net Zero Emissions by 2050» (Рисунок 1.6).

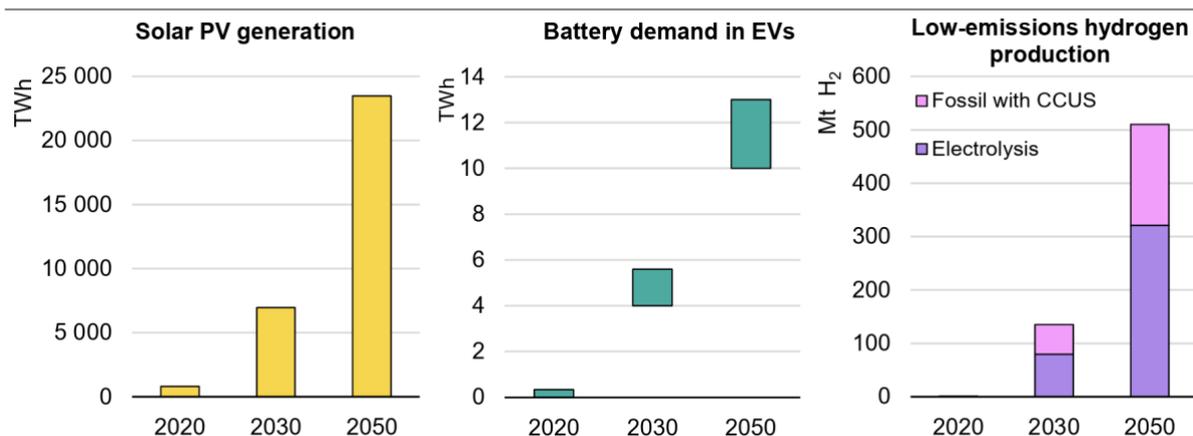


Рисунок 1.6. Глобальне впровадження окремих технологій чистої енергії у сценарії нульових викидів до 2050 року.

Джерело: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/08/securing-clean-energy-technology-supply-chains_26f7d1c1/be931bdc-en.pdf

У довгостроковій перспективі саме виробництво ключових низьковуглецевих технологій формує найбільш динамічні сегменти глобальних ланцюгів доданої вартості. За прогнозами IEA, генерація електроенергії з фотоелектричних систем зростає з приблизно 1 тис. ТВт·год у 2020 році до понад 7 тис. ТВт·год у 2030-му і майже 23 тис. ТВт·год у 2050-му, що свідчить про вибухове розширення сонячної енергетики.

Попит на акумуляторні системи для електромобілів демонструє перехід від нішевого до масового ринку: від менш ніж 1 ТВт·год у 2020 році до понад 5 ТВт·год у 2030-му та близько 14 ТВт·год у 2050-му. Стрімко зростає й виробництво низьковуглецевого водню, яке фактично відсутнє у 2020 році, проте досягає понад 100 млн т у 2030-му і понад 500 млн т у 2050-му, формуючи нові перспективні ринки як для електролізного водню, так і для водню з використанням технологій уловлювання вуглецю.

Зазначені тенденції свідчать про те, що чисті енергетичні технології стають ядром майбутніх «зелених» глобальних ланцюгів доданої вартості та визначатимуть конкурентоспроможність країн у найближчі десятиліття.

Питання для обговорення

1. Як кліматичні регуляції змінюють конкурентні позиції країн у глобальних ланцюгах доданої вартості? Чому виробники з високим вуглецевим слідом опиняються у менш вигідному становищі?

2. Чи можна вважати зелену трансформацію новим драйвером промислової політики країн? Які країни, на вашу думку, стануть «переможцями», а які можуть втратити позиції?

3. Яким чином вимоги до Scope 3 emissions впливають на поведінку постачальників у глобальних брендів ланцюгах? Які галузі найбільш вразливі до цих вимог?

4. Як формування “зелених” GVCs змінює стратегічну спеціалізацію країн? Чи є ризик для економік, які залишаються у традиційних, вуглецево-інтенсивних галузях?

5. Чому виробництво батарей, сонячних панелей, вітрових турбін та зеленого водню є найбільш динамічними сегментами GVCs? Які фактори стимулюють їхнє експоненційне зростання?

6. Які приклади країн або компаній демонструють успішну стратегію переходу від “складального цеху” до інноваційного центру у зелених ланцюгах вартості? Що стало ключовими чинниками їхнього успіху?

7. Які ризики та бар’єри можуть гальмувати участь України у «зелених» глобальних ланцюгах доданої вартості? Чи готова українська промисловість до вимог СВAM і декарбонізації?

8. Як зелена трансформація впливає на геополітику та енергетичну безпеку? Чи можуть ВДЕ й водень стати інструментом економічної автономії держав?

9. У чому полягає зв’язок між енергетичною безпекою, конкурентоспроможністю та стійкістю енергетичної системи? Як зміна структури енергобалансу може вплинути на економічне зростання?

10. Як ви оцінюєте роль інновацій та цифровізації у формуванні майбутніх GVCs? Чи можуть штучний інтелект, цифрові мережі, електролізери або smart-grid суттєво змінити глобальну економічну карту?

Ситуаційні завдання

1. *Енергетична криза в регіоні.* Уявіть, що в області сталася масштабна аварія в електромережах унаслідок кібератаки. Збої призвели до зупинки роботи лікарень, шкіл та водоканалів. Вам, як експерту з енергетичної безпеки, доручено підготувати пропозиції щодо підвищення стійкості регіональної енергосистеми.

Питання: Які компоненти динамічної стійкості (DRF) слід активувати першочергово? Які коротко- та довгострокові заходи можуть відновити функціонування критичної інфраструктури? Які технології (ВДЕ, накопичувачі, мікромережі) забезпечать мінімізацію ризиків повторних атак?

2. *Дилема муніципалітету: газ чи біоенергетика?* Невелике місто щороку витрачає 60 млн грн на закупівлю газу для опалення бюджетних установ. Мерія розглядає пропозицію встановити біокотельні та перейти на біомасу місцевого походження.

Питання: Які переваги та ризики цього рішення з погляду енергетичної безпеки, сталого розвитку, економічної конкурентоспроможності? Як вплине таке рішення на імпорту залежність і соціальну доступність енергії? Які міжнародні програми (NEFCO, USAID ESP, Фонд енергоефективності) можуть підтримати проєкт?

3. *Підготовка підприємства до СВAM.* Український металургійний комбінат планує експортувати продукцію до ЄС з 2026 року. Нещодавно він отримав попередження від європейських партнерів щодо необхідності підтвердження низьковуглецевого сліду відповідно до вимог СВAM.

Питання: Які кроки підприємство має здійснити для адаптації до СВAM? Які технологічні рішення (електроплавильні печі, зелений водень, ВДЕ) можуть знизити його вуглецеві викиди? Які конкурентні переваги підприємства може отримати після декарбонізації?

4. *Вибір стратегії розвитку енергетичної компанії.* Українська енергетична компанія розглядає два сценарії інвестування до 2030 року. Сценарій А - модернізація газових ТЕЦ. Сценарій В - будівництво вітрових та сонячних електростанцій із системами зберігання енергії.

Питання: Які індикатори енергетичної стійкості (імпортна залежність, частка ВДЕ, резервні потужності) є критичними для ухвалення рішення? Як кожен сценарій вплине на енергетичну безпеку країни? Який варіант забезпечує вищу довгострокову конкурентоспроможність і чому?

5. *Поствоєнна відбудова енергетики України.* Після масованих атак значна частина енергетичної інфраструктури регіону зруйнована. Уряд розглядає можливість інтеграції у відбудову нових рішень: мікромереж, сонячних дахових станцій, біокотелень, інтелектуальних систем керування.

Питання: Як застосування моделі енергетичного трикутника (безпека–доступність–сталість) допомагає оцінити запропоновані технології? Які рішення найкраще підсилять локальну енергетичну автономію? Які міжнародні практики можна адаптувати до українських умов?

Глосарій

Енергетична безпека (Energy Security) - стан енергетичної системи, за якого забезпечується безперебійний, доступний та екологічно збалансований доступ до енергоресурсів для всіх секторів економіки та населення, незважаючи на внутрішні чи зовнішні загрози.

Енергетична стійкість (Energy Resilience) - здатність енергетичної системи витримувати зовнішні шоки (економічні, природні, геополітичні, кіберзагрози), швидко відновлюватися та адаптуватися до нових умов, зберігаючи функціонування.

Динамічна стійкість (Dynamic Resilience) - сучасний системний підхід до управління енергетичною системою, що включає передбачення, поглинання, відновлення, адаптацію та довгострокову трансформацію енергетичної інфраструктури і політики.

Енергетичний трикутник (Energy Trilemma) - модель оцінювання енергетичної політики, яка базується на балансі трьох цілей: енергетична безпека, доступність (equity) та екологічна сталість.

Відновлювані джерела енергії (Renewable Energy Sources) - джерела енергії, що природно відновлюються у короткі часові проміжки (сонце, вітер, біомаса, гідроенергія) та забезпечують низький рівень викидів парникових газів.

Декарбонізація (Decarbonization) - процес скорочення викидів CO₂ через заміну викопних ресурсів відновлюваними джерелами, підвищення енергоефективності, впровадження електрифікації, водневих технологій та циркулярних моделей енергоспоживання.

Енергетична інфраструктура (Energy Infrastructure) - сукупність фізичних, цифрових та управлінських елементів системи (генерація, мережі, сховища, системи управління), що забезпечують виробництво, транспортування, розподіл і зберігання енергії.

Енергетична доступність (Energy Affordability / Energy Equity) - соціальна складова енергетичної політики, що відображає здатність населення та бізнесу отримувати енергію за доступною та справедливою ціною.

Диверсифікація енергетичних джерел (Energy Diversification) - стратегія зміцнення енергетичної безпеки через розширення спектра джерел та маршрутів постачання енергії, зменшення залежності від єдиного виду палива або постачальника.

Зелена трансформація (Green Transition) - глобальний процес переходу від викопно-орієнтованої моделі розвитку до низьковуглецевої економіки, що базується на ВДЕ, інноваціях, енергоефективності та циркулярних технологіях, формуючи нову конкурентоспроможність країн.

Тестові завдання

1. У якому історичному контексті вперше виникло поняття «енергетична безпека»?
 - A) Під час Другої світової війни.
 - B) Після нафтової кризи 1973 р.
 - C) Під час Суецької кризи 1956 р.
 - D) Під час формування ЄС.
2. Який підхід до енергетичної безпеки зосереджується на здатності системи підтримувати баланс попиту і пропозиції?
 - A) Економічний.
 - B) Екологічний.
 - C) Технічний.
 - D) Політичний.
3. Який ключовий критерій економічної енергетичної безпеки?
 - A) Мінімізація кіберзагроз.
 - B) Доступність енергії за прийнятною ціною.
 - C) Висока частка гідроенергетики.
 - D) Наявність стратегічних запасів.
4. Який вимір енергетичної безпеки зосереджений на зменшенні шкоди довкіллю та розвитку ВДЕ?
 - A) Політичний.
 - B) Економічний.
 - C) Екологічний.
 - D) Технологічний.
5. Що є основою політичного підходу до енергетичної безпеки?
 - A) Диверсифікація імпорту.
 - B) Енергоефективність.
 - C) Стратегічна автономія держави.
 - D) Зменшення викидів CO₂.
6. Який принцип енергетичної безпеки означає здатність системи адаптуватися до змін і технологічних інновацій?
 - A) Надійність.
 - B) Гнучкість.
 - C) Доступність.
 - D) Диверсифікація.
7. Яка модель розглядає баланс між безпекою, доступністю та сталим розвитком?
 - A) Модель DRF.
 - B) Модель сценарного прогнозування.
 - C) Energy Resilience Index.
 - D) Модель «енергетичного трикутника».
8. Який елемент структури енергетичної безпеки пов'язаний із захистом інфраструктури від фізичних та кіберзагроз?
 - A) Енергоспоживання.
 - B) Соціальна безпека.
 - C) Енергетична інфраструктура.
 - D) Енергопостачання.
9. Яка організація визначає енергетичну безпеку як "безперебійну доступність енергоресурсів за прийнятною ціною"?
 - A) Світовий банк.
 - B) Європейська комісія.
 - C) IRENA.
 - D) Міжнародне енергетичне агентство (IEA).

10. Який ключовий фактор сприяє зміцненню енергетичної самодостатності України у 2023–2024 рр.?

- A) Розширення імпорту російського газу.
- B) Повна відмова від ВДЕ.
- C) Власний видобуток газу та запаси у ПСГ.
- D) Збільшення частки вугілля в енергобалансі.

Довідкова та корисна література

GIZ Ukraine (2023). *Energy Efficiency in Communities Phase III*
<https://www.giz.de/en/worldwide/40553.html>

USAID (2023). *Energy Security Project Annual Report*. <https://energysecurityua.org>

NEFCO (2023). *Annual Impact Report*. <https://www.nefco.int>

Фонд енергоефективності України (2024). *Річний звіт*. <https://eefund.org.ua>

Eurelectric - *Energy Security in the Age of Electricity* (2025). <https://www.eurelectric.org/wp-content/uploads/2025/02/Eurelectric-report-energy-security-in-the-age-of-electricity.pdf>

Economic Security in a Changing World (2025).
https://www.oecd.org/en/publications/2025/09/economic-security-in-a-changing-world_78f3b129/full-report/the-imperative-of-energy-security-old-concerns-new-challenges_2c46f58d.html

Enhancing imports of electricity from the European Union to Ukraine (October 2024).
<https://konkoop.de/wp-content/uploads/2024/11/InSecurity-Report-Series-Part-2-Energy-Security.pdf>

Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment (May 2023).
https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2023_05_24_U_A_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_X_final.pdf

Energising Eastern Europe: How the EU can enhance energy sovereignty through cooperation with Ukraine and Moldova (March 2024). <https://ecfr.eu/publication/energising-eastern-europe-how-the-eu-can-enhance-energy-sovereignty-through-cooperation-with-ukraine-and-moldova>

Acknowledgements: The author (Y.Bilan) expresses their gratitude to the project titled "Cluster for innovative energy" in the frame of the program "HORIZON-MSCA-2022-SE-01" under the Grant agreement number 101129820.

Розділ 2. Інфраструктура та технології енергетичної безпеки національної економіки

- 2.1. Роль інфраструктури в забезпеченні стабільного енергопостачання
- 2.2. Розвиток енергетичних мереж через технологічні інновації
- 2.3. Кібербезпека енергетичних систем

2.1. Роль інфраструктури в забезпеченні стабільного енергопостачання

Енергетична інфраструктура є центральним елементом в структурі національного господарства через забезпечення функціонування усіх сфер економіки, соціальних систем і повсякденного життя громадян. Тобто є складовою критичної інфраструктури держави, порушення в роботі якої призводить до масштабних ризиків для безпеки, економічної стабільності та добробуту населення.

Енергетична інфраструктура - це стратегічно важлива сукупність об'єктів, технічних засобів, мереж, систем управління та технологічних процесів, що забезпечують безперервне функціонування енергетичного сектору. Енергетична інфраструктура забезпечує виробництво, транспортування, розподіл, зберігання, облік та споживання різних видів енергії (електричної, теплової, газової, нафтопродуктів тощо).

Енергетична інфраструктура охоплює як фізичні об'єкти - електростанції, лінії електропередач, трубопроводи, трансформаторні підстанції, об'єкти зберігання енергоресурсів, так і цифрові компоненти, зокрема інтелектуальні системи управління, моніторингу, диспетчеризації та захисту, які функціонують у взаємозв'язку та підпорядковуються цілям енергетичної безпеки, сталого розвитку й надійного енергопостачання (рисунок 2.1).

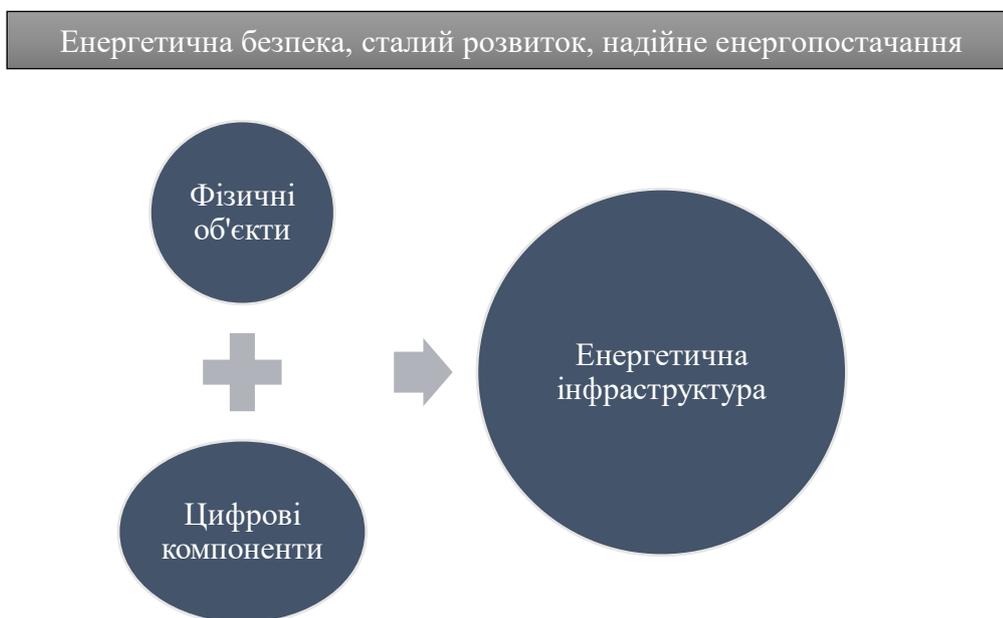


Рисунок 2.1. Складові енергетичної інфраструктури
Джерело: власна розробка авторів

Енергетична інфраструктура розглядається як багаторівнева система, що охоплює сукупність матеріально-технічних, організаційно-управлінських та інформаційних структурних одиниць, які функціонують у межах енергетичного комплексу. Надійне електропостачання є основою сучасного життя. Електроенергія проходить довгий шлях від місця її виробництва до споживачів (рисунок 2.2).

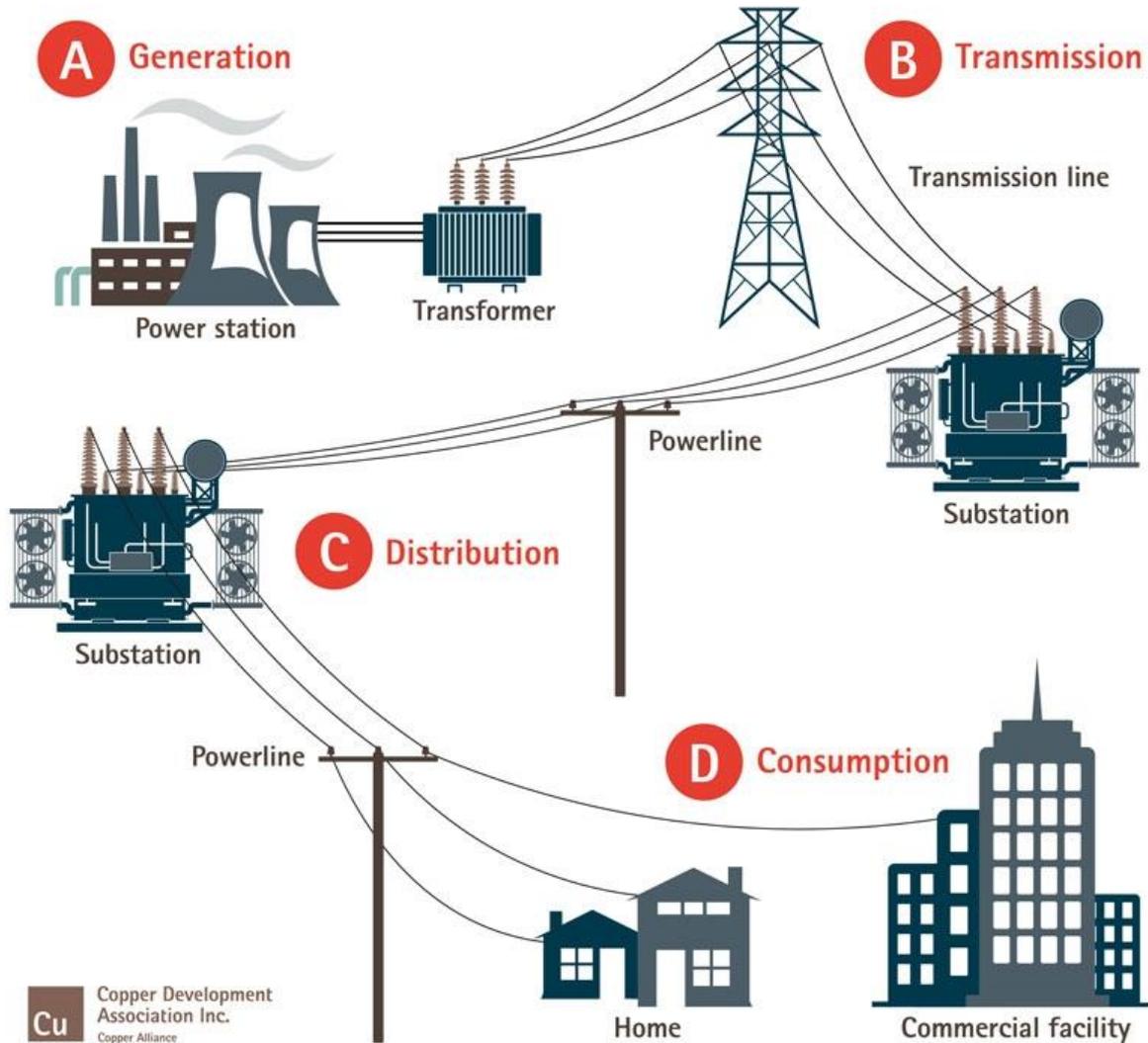


Рисунок 2.2. Елементи інфраструктури, які створені для підтримки постачання електроенергії споживачам

Джерело: <https://copper.org/environment/sustainable-energy/grid-infrastructure/>

Інфраструктурні елементи, що підтримують постачання електроенергії:

1. Блок А - Генерація
 - генерувальні установки (електростанції) - джерело виробництва електроенергії;
 - трансформатори - пристрої для підвищення або зниження напруги, що дозволяє економічно передавати енергію на відстані та безпечно використовувати її.
2. Блок В - Передача
 - лінії електропередачі - системи кабелів (найчастіше повітряні), які з'єднують усі частини електроенергетичної мережі.
3. Блок С - Розподіл
 - підстанції - вузлові точки, де відбувається перетворення напруги та перенаправлення енергії до різних зон споживання;
 - повітряні лінії електропередачі - несуть електроенергію від підстанцій до споживачів.

4. Блок D - Споживання

- комерційні об'єкти - великі будівлі, офіси, магазини, фабрики, які використовують електроенергію для освітлення, опалення, вентиляції, роботи обладнання тощо;
- будинки – споживачі електропостачання.

Енергетичну інфраструктуру поділяють за функціональними ознаками, тобто залежно від того, яку роль вона виконує в енергетичному ланцюгу - від виробництва енергії до її кінцевого споживання. Такий поділ дає змогу системно охопити всі складові енергетичної системи та визначити їх значення у процесі надійного постачання енергії.

Кожна ланка енергетичної інфраструктури виконує специфічні функції та вимагає відповідного технічного забезпечення. Такий підхід до класифікації (рисунок 2.3) дозволяє ефективно планувати, управляти та модернізувати енергетичну систему з урахуванням потреб економіки, населення та безпеки.



Рисунок 2.3. Класифікація енергетичної інфраструктури за функціональними ознаками

Джерело: власна розробка авторів

До генерувальної інфраструктури належать енергетичні установки (електростанції), які виробляють електричну або теплову енергію, такі як атомні, теплові, гідро-, вітрові та сонячні електростанції. Такі установки є основою для створення енергетичних ресурсів, які потім розподіляються через інші елементи інфраструктури. Транспортна інфраструктура охоплює лінії електропередач, газопроводи, нафтопроводи та тепломережі, що забезпечують транспортування енергетичних ресурсів від місця виробництва до споживачів. Інфраструктура зберігання включає об'єкти, такі як газосховища, резервуари для нафти та акумулятори, що дозволяють зберігати енергоресурси для подальшого використання, зокрема в періоди високого попиту або несподіваних коливань у виробництві. Розподільна інфраструктура відповідає за доставку енергії безпосередньо до кінцевих споживачів через підстанції та кінцеві мережі, які розподіляють енергію за заданими маршрутами та забезпечують належну якість постачання. Окрім цього, інтелектуальна інфраструктура, що містить системи управління, цифровий моніторинг та кіберзахист, забезпечує ефективне і безпечне функціонування енергетичних систем через автоматизацію процесів управління та забезпечення захисту від кіберзагроз. Ланки енергетичної інфраструктури взаємодіють між собою та утворюють єдину систему, яка гарантує ефективне і стабільне функціонування енергетичного сектору на всіх етапах.

Особливостями сучасної енергетичної інфраструктури є динамічність, високий рівень технологічної складності та взаємозалежність елементів. В умовах переходу до моделі сталого розвитку важливу роль відіграє інтеграція smart grids, які поєднують

класичні енергетичні об'єкти з цифровими технологіями, аналітикою великих даних та системами автоматичного керування.

З точки зору економічної теорії, енергетична інфраструктура є типом інституційного та фізичного капіталу, інвестиції в який мають довгостроковий ефект, сприяють економічному зростанню, підвищенню продуктивності праці та конкурентоспроможності національної економіки. Також енергетична інфраструктура забезпечує безперервність енергопостачання, диверсифікацію джерел енергії та здатність протистояти внутрішнім і зовнішнім загрозам.

У політичному контексті енергетична інфраструктура є предметом стратегічного планування як на рівні окремих держав, так і в рамках міжнародної співпраці. Залежність країн від енергетичних постачань і енергоносіїв сприяє розвитку зв'язків між державами, що впливає на формування глобальної політики та співробітництва в енергетичній сфері. Крім того, ефективне управління енергетичною інфраструктурою вимагає не лише внутрішньої координації, а й активно впливає на зовнішньоекономічні відносини, безпеку поставок та екологічні стандарти. Тому багато країн прагнуть створити диверсифіковані та стійкі енергетичні системи, що здатні протистояти геополітичним ризикам і забезпечувати сталий розвиток у довгостроковій перспективі.

Надійне енергопостачання забезпечує стабільне функціонування суспільства та економіки. Розвинута і налагоджена інфраструктура енергетичних мереж сприяє мінімізації ризиків перебоїв у постачанні енергії, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації та непередбачувані обставини. Якість інфраструктури безпосередньо визначається рядом факторів, серед яких важливу роль відіграє ступінь зношеності елементів системи, наявність резервних потужностей, ефективність диспетчеризації та рівень цифровізації управлінських процесів.

Зношеність елементів енергетичної інфраструктури здатна значно знизити її ефективність та стійкість до впливів зовнішніх і внутрішніх факторів, що в свою чергу збільшує ризик аварій та збоїв у постачанні енергії. Наявність резервних потужностей, таких як додаткові генеруючі станції або запасні лінії, є важливим чинником, який дає змогу оперативно замінювати відсутнє постачання та забезпечувати безперервність енергопостачання навіть у разі пошкодження основних елементів системи. Високий рівень ефективною диспетчеризації дозволяє своєчасно виявляти проблеми в мережах, оптимізувати їхнє функціонування та зменшувати час відновлення енергопостачання після аварій. Сучасні цифрові технології управління, які забезпечують моніторинг та автоматизацію процесів, підвищують рівень надійності енергетичних систем. Цифровізація сприяє оперативному виявленню неполадок, покращенню прогнозування навантажень та адаптації до змінних умов, що в кінцевому результаті дозволяє зменшити ризики аварійних ситуацій.

Таким чином, надійна інфраструктура, яка підтримується в належному стані, дозволяє не тільки уникати масштабних збоїв та втрат, але й знижувати витрати на ремонти та модернізацію систем. Сучасна енергетична інфраструктура також сприяє оптимізації тарифів для кінцевих споживачів, оскільки забезпечує ефективне використання ресурсів та зниження загальних витрат на експлуатацію енергетичних мереж.

2.2. Технологічні інновації та модернізація енергетичних мереж

Сучасні технологічні інновації відіграють важливу роль у трансформації енергетичних мереж, сприяючи підвищенню їх ефективності, надійності та сталості. В умовах змінюваного клімату та зростаючого попиту на енергоресурси необхідність у модернізації енергетичних мереж є надзвичайно актуальною. Інновації у сфері енергетичних технологій дозволяють зменшити втрати енергії, оптимізувати управління енергоресурсами та підвищити інтеграцію відновлюваних джерел енергії. На рисунку 2.4

представлено схему важливих аспектів модернізації енергетичної мережі, які спрямовані на підвищення її ефективності, надійності та здатності інтегрувати нові технології.

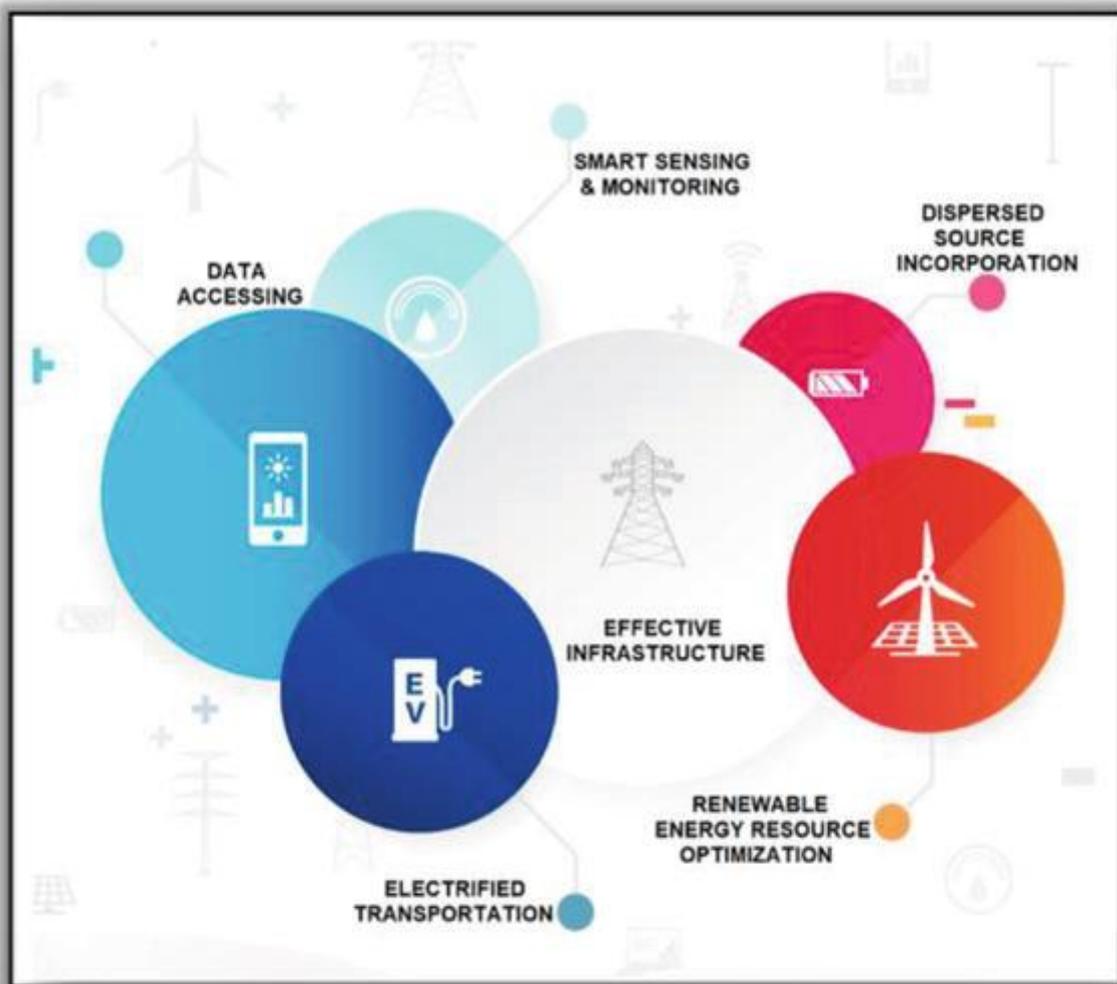


Рисунок 2.4. Складові модернізації електромереж

Джерело: <https://www.edf.org/sites/default/files/GridModReport.pdf>

У центрі уваги - створення ефективної інфраструктури, яка є основою для всіх подальших змін. Один із важливих аспектів - забезпечення доступу до даних (data accessing), що дозволяє оперативного аналізувати стан мережі, приймати обґрунтовані управлінські рішення та впроваджувати цифрові технології. Також принципове значення має електрифікація транспорту (electrified transportation), зокрема розвиток інфраструктури для електромобілів, що знижує викиди та підвищує попит на розумне енергозабезпечення. Розумне сенсування та моніторинг (smart sensing & monitoring) сприяють оперативному виявленню несправностей, автоматизації процесів і зменшенню людського втручання. Важливу роль відіграє оптимізація використання відновлюваних джерел енергії (renewable energy resource optimization), яка дозволяє ефективно інтегрувати «зелену» енергію в загальну мережу. Включення розосереджених джерел енергії (dispersed source incorporation) сприяє децентралізації енергосистеми та підвищенню її стійкості. Отже, модернізація енергетичних мереж охоплює інтеграцію цифрових технологій, перехід до чистих джерел енергії, підвищення гнучкості системи та адаптацію до нових викликів сучасного світу.

Інтелектуальні енергетичні мережі (Smart Grids) - це сучасні енергетичні системи, які поєднують традиційні електромережі з цифровими технологіями, засобами автоматизації, сенсорами, засобами зв'язку та інформаційно-комунікаційними

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

технологіями для підвищення ефективності, надійності, гнучкості та сталості електропостачання.

Smart Grids забезпечують двосторонній обмін енергією та інформацією між постачальниками і споживачами, що дозволяє:

- оптимізувати виробництво, розподіл і споживання електроенергії;
- інтегрувати відновлювані джерела енергії;
- забезпечити виявлення та усунення аварій у режимі реального часу;
- знижувати енергетичні втрати та експлуатаційні витрати;
- підвищити енергетичну безпеку та стійкість системи до зовнішніх загроз.

Інтелектуальні енергетичні мережі або Smart Grids є основою для модернізації традиційних енергетичних інфраструктур. Smart Grids дозволяють здійснювати інтеграцію різноманітних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові станції, і забезпечують більш ефективний розподіл та управління енергоресурсами. Основними технологіями Smart Grids є датчики, системи моніторингу та управління в реальному часі, автоматизація процесів і використання штучного інтелекту для прогнозування споживання енергії. На рисунку 2.5 представлено очікувані структурні зміни в енергетичній системі, які стали можливими завдяки широкому впровадженню цифрових технологій.

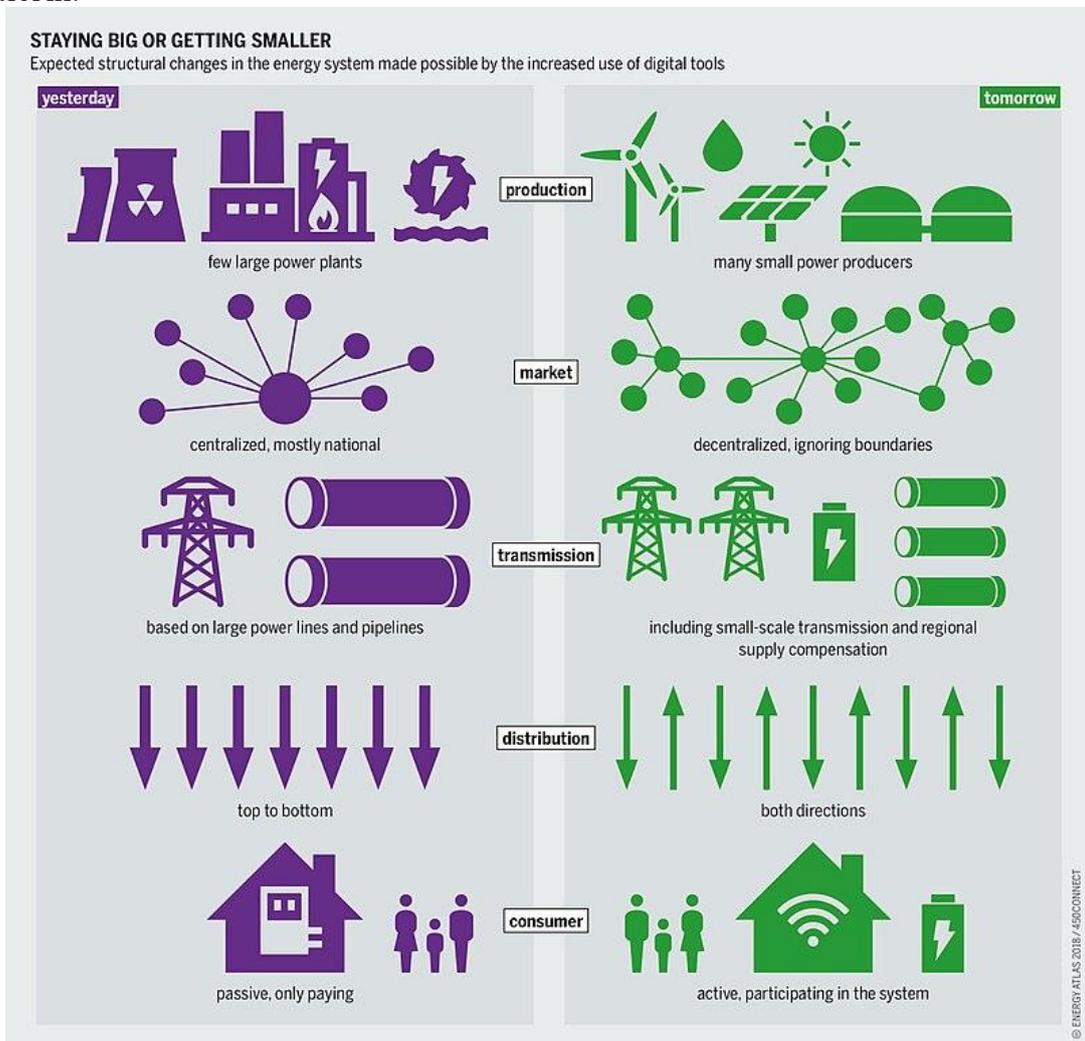


Рисунок 2.5. Трансформація енергетичної інфраструктури: від великих електростанцій до розподіленої генерації

Джерело: https://gef.eu/wp-content/uploads/2018/04/energyatlas2018_facts-and-figures-renewables-europe.pdf

Така трансформація означає перехід від централізованої структури до цифрової керованої енергосистеми майбутнього, орієнтованої на сталий розвиток і залучення кожного користувача.

Ліва частина схеми демонструє традиційну модель енергетики, що базується на кількох великих електростанціях, централізованому національному ринку, передачі енергії через великі лінії електропередачі та трубопроводи, односпрямованому розподілі зверху вниз, а також на пасивній ролі споживача, який лише оплачує послуги.

Права частина показує децентралізовану енергетичну систему, яка характеризується наявністю великої кількості малих виробників енергії, серед яких домінують джерела з відновлюваних ресурсів (сонце, вітер і біомаса). Енергетичний ринок стає децентралізованим, із гнучкою структурою, яка не зважає на кордони, що дозволяє підвищити ефективність та стійкість системи. Передача енергії охоплює не лише великомасштабні мережі, але й локальні системи з можливістю компенсації попиту на регіональному рівні. Розподіл енергії здійснюється в обох напрямках, що створює передумови для гнучкості та двосторонньої взаємодії. Споживачі стають активними учасниками енергосистеми та можуть не тільки споживати, а й виробляти електроенергію, зберігати її, продавати надлишки до мережі, а також керувати своїм енергоспоживанням за допомогою цифрових інструментів.

Мікромережі (Microgrids) є органічною частиною концепції Інтелектуальних енергетичних мереж (Smart Grids) та однією з технологій, що сприяє підвищенню надійності, гнучкості та стійкості сучасних енергетичних систем.

Мікромережі - це локалізовані енергетичні комплекси, які поєднують джерела генерації, системи накопичення, розподілу та управління електроенергією і здатні працювати як у синхронізації з основною енергосистемою, так і автономно, у так званому «острівному режимі». Мікромережі зазвичай впроваджуються на рівні окремих об'єктів або невеликих спільнот (університетські кампуси, лікарні, промислові підприємства, житлові квартали або сільські населені пункти).

Основною метою мікромереж є локальна оптимізація виробництва та споживання енергії, що дозволяє зменшити втрати при транспортуванні, покращити якість енергопостачання, а також забезпечити стабільність роботи навіть у разі збоїв в основній мережі. Завдяки інтеграції з відновлюваними джерелами енергії та цифровими технологіями керування, мікромережі відіграють важливу роль у децентралізації енергетики та переході до сталого енергетичного майбутнього. Крім того, мікромережі оснащують цифровими технологіями для моніторингу, балансування навантаження, автоматизованого управління та оптимізації споживання, що робить їх важливою складовою інтелектуальних енергосистем (Smart Grids).

Однією з переваг мікромереж є їхня здатність до енергетичної автономії, що дозволяє підвищити стійкість до аварій, стихійних лих чи кіберзагроз. Також сприяють використанню мікромереж сприяє зменшенню втрат енергії при транспортуванні, оскільки виробництво наближується безпосередньо до споживача. Крім того, мікромережі можуть працювати з системами динамічного ціноутворення, забезпечувати користувачам економічну вигоду та мотивацію до енергоефективної поведінки.

У контексті глобального переходу до декарбонізованої економіки та розвитку децентралізованої енергетики, мікромережі розглядаються як елемент нової архітектури енергетичних систем. Вони сприяють досягненню цілей сталого розвитку, підвищенню енергетичної безпеки та ефективному використанню місцевих енергоресурсів. Рисунок 2.6 ілюструє приклад мікромережі - децентралізованої енергетичної системи, яка може працювати як у з'єднанні з основною електромережею, так і автономно.

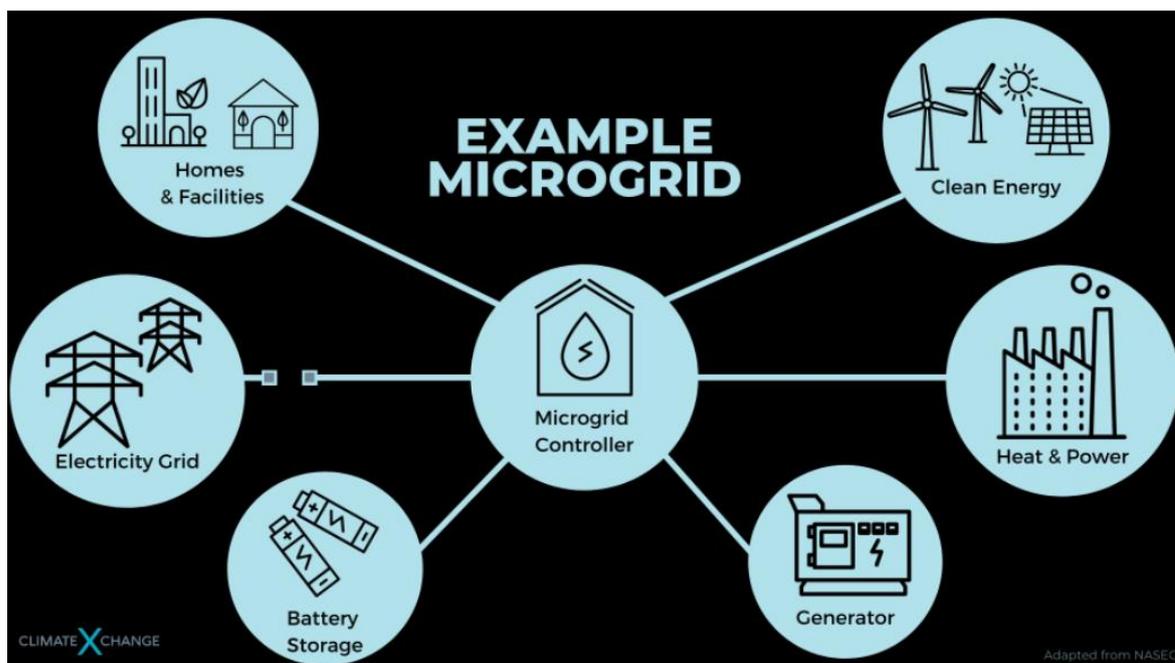


Рисунок 2.6. Приклад мікромережі

Джерело: <https://www.weforum.org/stories/2022/05/what-are-microgrids-renewable-power/>

У центрі рисунку 2.6 знаходиться контролер мікромережі (Microgrid Controller) - інтелектуальний пристрій, що координує всі елементи системи та забезпечує ефективну роботу мікромережі. Від контролера йдуть з'єднання до основних компонентів мікромережі:

- Electricity Grid (Загальна електромережа) - мікромережа може отримувати або віддавати електроенергію у центральну мережу;
- Battery Storage (Акумуляторне зберігання) - забезпечує збереження надлишкової енергії та її використання в моменти підвищеного попиту або відключення джерел енергії;
- Generator (Генератор) - додаткове джерело енергії, зазвичай дизельний або газовий генератор, для резервного живлення;
- Heat & Power (Системи тепла та енергії) - когенераційні установки, що одночасно виробляють електроенергію та тепло;
- Clean Energy (Чиста енергія) - відновлювані джерела, такі як сонячні панелі та вітрові турбіни;
- Homes & Facilities (Будівлі та об'єкти) - кінцеві споживачі електроенергії, зокрема житлові будинки, школи, лікарні та інші об'єкти інфраструктури.

Енергетичне зберігання (Energy Storage Systems)

Технології зберігання енергії (Energy Storage Systems), зокрема батареї та накопичувачі енергії, стали важливим елементом модернізації енергетичних мереж. Energy Storage Systems дозволяють компенсувати коливання в виробництві енергії від відновлювальних джерел, таких як сонячні та вітрові електростанції, та забезпечують стабільне енергопостачання навіть у часи пікових навантажень або при порушенні роботи основних джерел енергії. Така тенденція є важливою для забезпечення безпеки та сталості енергетичних мереж.

Energy Storage Systems також сприяють зменшенню залежності від викопного палива та сприяють зниженню викидів парникових газів, що є важливим кроком у боротьбі зі зміною клімату. Крім того, системи зберігання енергії дозволяють

ефективніше керувати енергетичними потоками, балансувати навантаження в мережі та покращувати надійність постачання.

З огляду на глобальні виклики та потребу в енергетичній безпеці, використання сучасних систем зберігання енергії стає невід'ємною складовою стратегії сталого розвитку енергетичного сектору. Рисунок 2.7 ілюструє різні типи технологій зберігання енергії (Energy Storage Systems), класифіковані за принципом дії на чотири основні категорії: механічні, хімічні, електричні та електрохімічні. Різноманітність підходів до зберігання енергії дозволяє інтегрувати їх у сучасні енергетичні системи відповідно до конкретних потреб - від великомасштабного резервування до швидкого реагування на коливання в споживанні або генерації енергії.

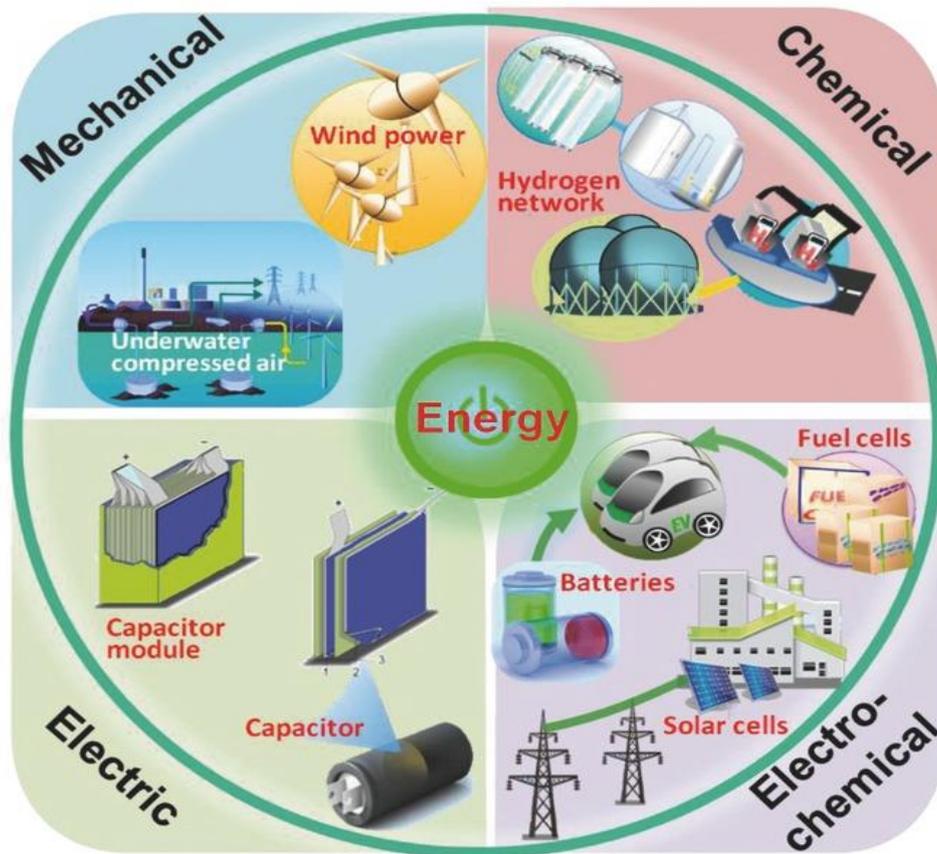


Рисунок 2.7. Типи зберігання енергії

Джерело: <https://www.linquip.com/blog/types-of-energy-storage-methods/>

У центрі зображення знаходиться універсальне поняття «енергія», навколо якого розташовані різні способи її накопичення і перетворення.

У механічному секторі показано такі приклади, як вітрова енергетика (Wind Power) та підводне стиснене повітря (Underwater Compressed Air). Такі технології перетворюють і зберігають енергію за допомогою механічних процесів, наприклад, за рахунок стиснення повітря або обертання турбін. Хімічне зберігання енергії (Chemical) представлено через водневу мережу (Hydrogen Network). В цьому випадку енергія зберігається у вигляді хімічних сполук, зокрема через виробництво, транспортування і зберігання водню, який потім можна використати як паливо. Електрохімічні технології (Electrochemical) включають паливні елементи (Fuel Cells), акумулятори (Batteries) та сонячні панелі (Solar Cells). Вони забезпечують зберігання енергії через хімічні реакції, що дозволяє накопичену енергію використовувати в електричних мережах та електротранспорті. У секторі електричного зберігання (Electric) показані модулі

суперконденсаторів (Supercapacitor Module) та конденсатори (Capacitor), які зберігають енергію у вигляді електростатичного заряду. Такі системи здатні швидко накопичувати та віддавати енергію, що робить їх ефективними для короточасного резервування чи стабілізації мереж.

Модернізація енергетичних мереж через технологічні інновації є необхідною умовою для сталого розвитку енергетичних систем у світі. Використання смарт-мереж та технологій зберігання енергії, цифровізація та розвиток мікромереж створює нові можливості для підвищення ефективності, зниження витрат і забезпечення надійного та екологічного енергопостачання.

2.3. Кібербезпека енергетичних систем

Цифровізація енергосистем передбачає впровадження інтелектуальних пристроїв, сенсорів, автоматизованих систем керування (SCADA), цифрових лічильників і платформ обміну даними в режимі реального часу. Такі технології забезпечують можливість дистанційного моніторингу, прогнозування навантажень, адаптивного управління енергопотокami, інтеграції децентралізованих джерел енергії, а також активної участі споживачів у ринку електроенергії. Водночас цифровізація створює нові виклики, серед яких особливе місце займає кібербезпека.

Кібербезпека енергосистем - це сукупність організаційних, технічних, нормативно-правових та процедурних заходів, спрямованих на забезпечення захищеності енергетичної інфраструктури, її інформаційно-комунікаційних систем та технологічних процесів від кіберзагроз, несанкціонованого доступу, зловмисного втручання та інших форм порушення цілісності, доступності та конфіденційності даних.

Кібербезпека енергосистем включає цілий комплекс заходів, спрямованих на захист цифрових активів, зокрема:

- впровадження політик інформаційної безпеки;
- захист SCADA-систем та інтелектуальних пристроїв;
- багаторівнева ідентифікація та контроль доступу;
- криптографічні протоколи захисту даних;
- моніторинг та аналіз кіберінцидентів;
- формування команд реагування;
- навчання персоналу основам кібергігієни.

Сучасні стратегії розвитку енергосектору мають передбачати системний підхід до побудови **безпечного цифрового середовища**, де високий рівень автоматизації поєднується із кіберстійкістю. На рисунку 2.8 візуалізовано основні складові сучасної стратегії кібербезпеки енергосистем



Рисунок 2.8. Складові стратегії кібербезпеки енергетичних систем
Джерело: власна розробка авторів

На *технічному* рівні використовуються такі заходи, як шифрування даних для забезпечення конфіденційності під час передавання інформації, автентифікація користувачів для підтвердження правомірності доступу до систем, моніторинг мережевої активності з метою виявлення аномалій у реальному часі, сегментація мережі для локалізації потенційних атак, а також своєчасне оновлення програмного забезпечення з метою усунення вразливостей. *Організаційні* заходи включають розробку політик кібербезпеки, що регламентують вимоги до захисту інформації, впровадження систем контролю доступу відповідно до функціональних обов'язків працівників, проведення регулярного аудиту безпеки, а також навчання персоналу для підвищення обізнаності щодо кіберзагроз. *Інституційний* компонент охоплює взаємодію з державними органами (зокрема, Міністерством енергетики, Держспецзв'язку, СБУ, кіберполіцією), інформаційний обмін із розвідувальними структурами, а також міжнародну співпрацю у сфері кіберзахисту. Важливу роль відіграє система *інцидент-менеджменту*, яка передбачає наявність чітких процедур реагування на кіберінциденти та створення спеціалізованих команд реагування, що координують дії у випадку атак. *Моделювання загроз і аналіз ризиків* включає виявлення технічних і організаційних вразливостей, побудову сценаріїв потенційних атак і оцінку ймовірності та наслідків їх реалізації.

Таким чином, кібербезпека та цифровізація енергосистем є двома взаємозалежними складовими, що визначають успішність і безпечність модернізації енергетичної галузі в умовах глобальних технологічних змін. Забезпечення кібербезпеки стає не лише технічним завданням, а стратегічною необхідністю, що вимагає системного бачення, міжвідомчої координації, високого рівня компетентності персоналу та дотримання міжнародних стандартів. Баланс між інноваціями та захищеністю є умовою сталого розвитку енергетичної сфери та її здатності протистояти як традиційним, так і новітнім загрозам у цифрову епоху.

Питання для обговорення

1. Чому енергетична інфраструктура вважається складовою критичної інфраструктури держави?
2. Які особливості сучасної енергетичної інфраструктури дозволяють забезпечувати її стійкість та ефективність?
3. Як наявність резервних потужностей і розвиток системи диспетчеризації впливають на надійність енергопостачання та здатність енергетичної інфраструктури протистояти аваріям і загрозам?
4. Яким чином енергетична інфраструктура впливає на формування міжнародних відносин і глобальної енергетичної політики?
5. Які технологічні інновації сприяють підвищенню ефективності, надійності та стійкості енергетичних мереж?
6. У чому полягають основні переваги інтелектуальних енергетичних мереж (Smart Grids) та мікромереж (Microgrids) порівняно з традиційною централізованою енергетичною системою?
7. Яке значення мають системи зберігання енергії (Energy Storage Systems) у забезпеченні стабільності енергопостачання?
8. Яким чином цифровізація енергосистем змінює підходи до управління енергетичними потоками?
9. Які виклики для забезпечення кібербезпеки виникають у зв'язку з інтеграцією інтелектуальних пристроїв?
10. Як досягти балансу між впровадженням інноваційних цифрових рішень та гарантуванням кіберстійкості енергетичної інфраструктури?

Ситуаційні завдання

1. Критична точка розподілу

Під час сильного зимового шторму частина регіону залишилась без електропостачання через обриви ліній електропередач. Основна трансформаторна підстанція залишилась працюючою, однак віддалені райони не можуть бути забезпечені електроенергією через пошкодження мереж.

Завдання: проаналізуйте, які елементи енергетичної інфраструктури в цій ситуації виявилися вразливими, і запропонуйте, які інженерно-технічні рішення та заходи модернізації інфраструктури можуть забезпечити стабільність енергопостачання в умовах подібних екстремальних погодних явищ.

2. Інтеграція нових джерел

Муніципалітет невеликого міста ухвалив рішення про масове встановлення сонячних панелей на дахах приватних будинків. Уже через рік частка енергії з децентралізованих джерел зросла на 30%. Проте через нестабільність генерації в пікові години та відсутність сучасної системи управління навантаженням почали фіксуватись перебої зі стабільністю енергопостачання.

Завдання: визначте, які саме інфраструктурні зміни потрібні для забезпечення стабільного енергопостачання при зростанні частки відновлюваних джерел енергії. Поясніть, як планування енергетичної інфраструктури може запобігти подібним проблемам у майбутньому

3. Стара мережа - нові виклики

У місті активно зростає попит на електроенергію через розширення промислових зон і будівництво нових житлових кварталів. Проте основна частина енергетичних мереж була побудована ще у 1980-х роках і не розрахована на такі навантаження. Часті збої та аварійні відключення створюють загрозу для економіки міста.

Завдання: запропонуйте комплекс інноваційних технічних рішень для модернізації застарілих енергетичних мереж. Поясніть, як ці рішення сприятимуть підвищенню ефективності, надійності та гнучкості енергосистеми.

4. Розумне місто: від концепції до практики

Міська рада затвердила стратегію розвитку "розумного міста", що передбачає впровадження інтелектуальних лічильників, сенсорів моніторингу навантажень, автоматизованих систем обліку та керування енергоспоживанням. Однак на етапі реалізації з'ясувалося, що чинна інфраструктура електромереж не готова до інтеграції нових цифрових рішень.

Завдання: проаналізуйте, які кроки потрібно здійснити для адаптації енергетичних мереж до технологій "Smart Grid". Поясніть, як інноваційні підходи змінюють структуру та функціонування традиційної енергетичної інфраструктури.

5. Інновації проти відключень

Під час літньої спеки енергомережі регіону опинилися на межі перевантаження через зростання споживання електроенергії для кондиціонування. Це спричинило аварійне відключення декількох районів міста. Керівництво енергокомпанії розглядає варіанти впровадження новітніх технологічних рішень для зниження ризику повторення подібних ситуацій.

Завдання: визначте, які інноваційні технології (у сфері зберігання енергії, прогнозування попиту, автоматизованого розподілу тощо) могли б допомогти стабілізувати роботу енергосистеми під час пікових навантажень. Обґрунтуйте свої пропозиції.

6. Невидима загроза: злам енергетичного вузла

Під час планового моніторингу IT-відділ енергетичної компанії виявив аномальну активність у SCADA-системі, яка керує розподілом енергії на регіональному рівні. Аналіз показав, що сторонній користувач отримав несанкціонований доступ до системи

й може змінювати параметри подачі електроенергії, створюючи ризик масштабного відключення.

Завдання: розробіть план дій для оперативної ліквідації кіберінциденту та запобігання подібним випадкам у майбутньому. Запропонуйте технічні та організаційні заходи для посилення захисту SCADA-системи.

7. Людський фактор в енергетичній безпеці

Співробітник енергетичної компанії відкрив лист із вкладенням, що надійшов від, здавалося б, надійного партнера. Після цього в системі почали спостерігатися збої: некоректно відображалася інформація про навантаження на підстанції, а частина даних про розподіл електроенергії була втрачена. Попередній аналіз показав, що компанія стала жертвою кібератаки.

Завдання: опишіть етапи реагування на описаний інцидент. Які заходи варто вжити для відновлення нормальної роботи енергосистеми та як змінити політику навчання персоналу для запобігання подібним атакам у майбутньому?

Глосарій

Безпечне цифрове середовище - це сукупність технічних, організаційних і нормативних умов, у межах яких забезпечується належний рівень захисту інформаційних ресурсів, цифрових процесів і комунікацій від внутрішніх і зовнішніх загроз, з дотриманням принципів кіберстійкості, конфіденційності та надійності.

Децентралізація енергетики - це процес переходу від централізованої моделі енергогенерації до розподіленої, що передбачає збільшення ролі локальних джерел енергії, активну участь споживачів у виробництві електроенергії та розвиток енергонезалежних громад.

Енергетична інфраструктура - стратегічно важлива сукупність об'єктів, технічних засобів, мереж, систем управління та технологічних процесів, що забезпечують безперервне функціонування енергетичного сектору

Зношеність інфраструктури - стан, при якому технічні елементи енергосистеми втратили частину функціональності через тривалу експлуатацію, що знижує надійність і ефективність роботи.

Інтелектуальні енергетичні мережі (Smart Grids) - це електроенергетичні системи нового покоління, які поєднують традиційні мережі з цифровими технологіями, системами автоматизованого управління та двостороннім обміном даними між виробниками й споживачами з метою підвищення ефективності, надійності та стійкості енергопостачання.

Кібербезпека енергосистем - це сукупність організаційних, технічних, правових та процедурних заходів, спрямованих на захист енергетичної інфраструктури, її цифрових компонентів та інформаційно-комунікаційних систем від кіберзагроз, несанкціонованого доступу, зловмисного втручання та інших форм порушення конфіденційності, цілісності й доступності даних.

Кібергігієна - це комплекс практик і правил безпечного користування цифровими пристроями та мережами, що спрямовані на зменшення ризику кіберінцидентів, підвищення цифрової обізнаності та захист персональної й корпоративної інформації.

Кіберінцидент - це подія в інформаційній системі, яка свідчить про порушення політики безпеки, зловмисне втручання, витік або втрату даних, а також про будь-яку іншу дію, що може загрожувати безперервності функціонування цифрових сервісів або безпеці інформаційних активів.

Критична інфраструктура - елементи національної інфраструктури, порушення в роботі яких призводить до масштабних ризиків для безпеки, економічної стабільності та добробуту населення.

Мікромережі (Microgrids) - це локальні енергосистеми, які можуть функціонувати як у складі основної енергомережі, так і автономно та забезпечують енергією окремі

об'єкти або спільноти завдяки використанню місцевих джерел генерації та систем зберігання енергії.

Модернізація енергетичних мереж - це процес оновлення та вдосконалення інфраструктури енергопостачання з метою підвищення її надійності, гнучкості, енергоефективності та здатності інтегрувати відновлювані джерела енергії й цифрові технології.

Надійне енергопостачання - це безперервне, стабільне та якісне постачання енергії споживачам у будь-який час, навіть за умов аварій або пікового навантаження.

Резервні потужності - додаткові генеруючі або передавальні потужності, які можуть бути задіяні в разі виходу з ладу основних елементів системи.

Технології зберігання енергії (Energy Storage Systems) - це технічні рішення, що дозволяють акумулювати електроенергію для подальшого використання, забезпечувати баланс попиту і пропозиції, підвищення стабільності енергосистеми та інтеграцію відновлюваних джерел енергії.

Цифровізація енергосистем - це процес впровадження інтелектуальних пристроїв, сенсорів, автоматизованих систем керування, цифрових лічильників і платформ обміну даними в режимі реального часу з метою підвищення ефективності, адаптивності та інтеграції децентралізованих джерел енергії.

Тестові завдання

1. Що є основною функцією енергетичної інфраструктури?
 - А) Забезпечення виключно комерційного споживання енергії
 - Б) Створення нових видів енергії з відновлюваних джерел
 - В) Забезпечення безперервного функціонування енергетичного сектору
 - Г) Розробка політичної стратегії розвитку енергетики
2. Який компонент енергетичної інфраструктури відповідає за передачу енергії на великі відстані?
 - А) Генерувальні установки
 - Б) Лінії електропередачі
 - В) Підстанції
 - Г) Резервуари для нафти
3. Яка перевага цифровізації в управлінні енергетичною інфраструктурою?
 - А) Зменшення кількості споживачів
 - Б) Повна заміна фізичних об'єктів
 - В) Підвищення тарифів на електроенергію
 - Г) Оперативне виявлення неполадок та прогнозування навантажень
4. Що з наведеного НЕ є характеристикою сучасної енергетичної інфраструктури?
 - А) Високий рівень технологічної складності
 - Б) Інтеграція цифрових технологій
 - В) Повна незалежність від зовнішніх загроз
 - Г) Взаємозалежність елементів системи
5. Яке з наведених визначень найкраще описує концепцію «розумних мереж» (Smart Grids)?
 - А) Системи, що працюють виключно на вичерпаному паливі для підвищення енергобезпеки
 - Б) Інтегровані мережі, які забезпечують двосторонній обмін енергією та даними між виробниками і споживачами
 - В) Мережі, що використовують лише сонячну енергію для зменшення викидів CO₂
 - Г) Традиційна енергосистема з централізованим контролем.
6. Яка технологія дозволяє ізолювати частину енергосистеми для автономної роботи в разі аварії в основній мережі?
 - А) Система зберігання енергії (ESS)

- Б) Smart Metering
В) Мікромережа (Microgrid)
Г) Високовольтна лінія змінного струму
7. Яка з переваг систем зберігання енергії є ключовою для стабілізації електричних мереж з високою часткою відновлюваних джерел?
А) Підвищення тарифів для побутових споживачів
Б) Зменшення споживання енергії в години пікового навантаження
В) Балансування нерегулярного виробництва електроенергії з ВДЕ та забезпечення гнучкості мереж
Г) Використання тільки в надзвичайних ситуаціях
8. Що є головною метою впровадження заходів кібербезпеки в енергосистемах?
А) Зниження вартості електроенергії для кінцевих споживачів
Б) Захист енергетичної інфраструктури від кіберзагроз, несанкціонованого доступу та зловмисного втручання
В) Забезпечення експорту електроенергії за кордон
Г) Підвищення енергоефективності побутових приладів
9. Який із наведених технічних заходів кіберзахисту передбачає поділ мережі на ізольовані сегменти для зменшення масштабів атак?
А) Криптографічні протоколи
Б) Сегментація мережі
В) Аутентифікація користувачів
Г) Моніторинг кіберінцидентів
10. Який орган в Україні бере участь у формуванні національної політики з кібербезпеки енергетичного сектору?
А) Антимонопольний комітет
Б) Міністерство охорони здоров'я
В) Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації (Держспецзв'язку)
Г) Державна архітектурно-будівельна інспекція

Довідкова та корисна література

- Верховна Рада України. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
- Міністерство енергетики України. Історія енергетики. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/istoriya-enerhetyky>
- European Commission. Energy infrastructure in the EU. URL: https://energy.ec.europa.eu/energy-explained/energy-infrastructure-eu_en#related-links
- European Parliamentary Research Service. EU energy infrastructure: The role of the EU in developing cross-border projects. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753956/EPRS_BRI\(2023\)753956_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753956/EPRS_BRI(2023)753956_EN.pdf)
- Copper Development Association. Grid Infrastructure. URL: <https://copper.org/environment/sustainable-energy/grid-infrastructure/>
- Liu, J., Huang, Z., Fan, M., Yang, J., Xiao, J., & Wang, Y. (2022). Future Energy Infrastructure, Energy Platform and Energy Storage. Nano Energy, 107915. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107915>
- Environmental Defense Fund. Enhancing the Grid: A Guide to Modernizing the Electric Power Grid. URL: <https://www.edf.org/sites/default/files/GridModReport.pdf>
- Green European Foundation. Energy Atlas 2018: Facts and Figures about Renewables in Europe. URL: https://gef.eu/wp-content/uploads/2018/04/energyatlas2018_facts-and-figures-renewables-europe.pdf

- Dhara, S., & Kumar Shrivastav, A. (2021). Smart Grid Modernization: Opportunities and Challenges. У Electric Grid Modernization [Working Title]. IntechOpen. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.97892>
- World Economic Forum. What are microgrids and how do they support renewable power? URL: <https://www.weforum.org/stories/2022/05/what-are-microgrids-renewable-power/>
- Linquip. Types of Energy Storage Methods. URL: <https://www.linquip.com/blog/types-of-energy-storage-methods/>
- European Commission. Critical infrastructure and cybersecurity. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-security/critical-infrastructure-and-cybersecurity_en
- Darlington Eze Ekechukwu & Peter Simpa. (2024). The future of Cybersecurity in renewable energy systems: A review, identifying challenges and proposing strategic solutions. Computer Science & IT Research Journal, 5(6), 1265–1299. URL: <https://doi.org/10.51594/csitj.v5i6.1197>
- Cybersecurity Guide. Energy Sector Cybersecurity Overview. URL: <https://cybersecurityguide.org/industries/energy/>

Розділ 3. Відновлювана енергетика та енергетична безпека

- 3.1. Вплив розвитку відновлюваних джерел енергії на енергетичну безпеку
- 3.2. Інтеграція відновлюваних джерел енергії у національні та міжнародні енергомережі
- 3.3. Економічна ефективність та інвестиції у відновлювані джерела енергії

3.1. Вплив розвитку відновлюваних джерел енергії на енергетичну безпеку

Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є одним із важливих факторів підвищення енергетичної безпеки країн у XXI столітті. Традиційно енергетична безпека розглядалася крізь призму стабільності постачання викопних ресурсів, проте сучасні виклики - геополітична нестабільність, зміна клімату, залежність від імпорту енергоресурсів - зумовлюють необхідність переосмислення цього поняття. Сучасне розуміння енергетичної безпеки більше охоплює широкий спектр чинників, що визначають здатність енергетичної системи реагувати на виклики, забезпечувати стабільність та стійкість у довгостроковій перспективі. Рисунок 3.1 ілюструє складові поточного сприйняття енергетичної безпеки.

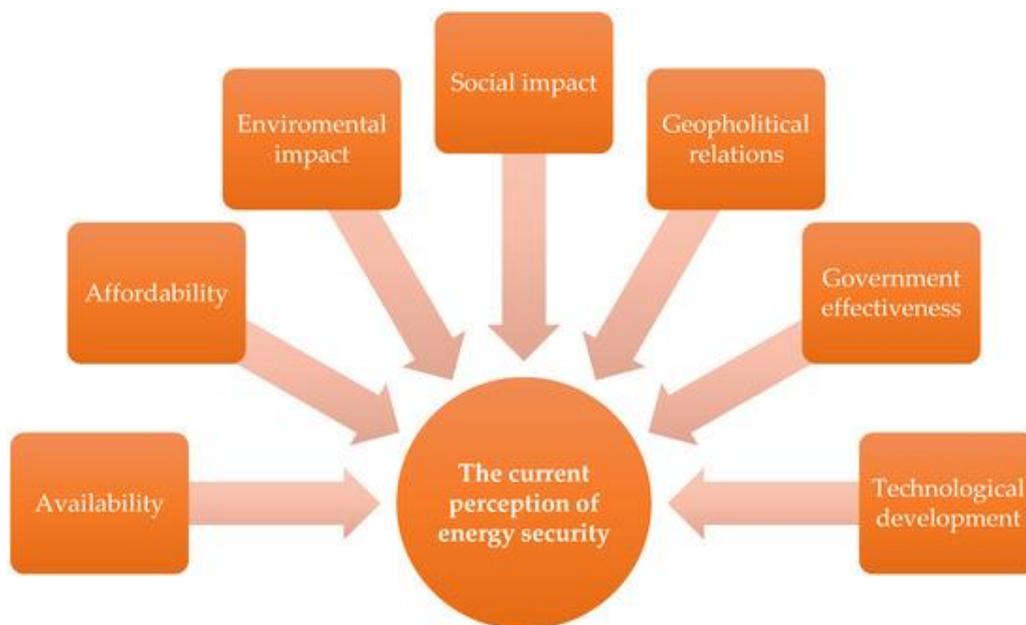


Рисунок 3.1. Поточне сприйняття енергетичної безпеки

Джерело: <https://www.mdpi.com/2227-7099/11/7/174>

Як показано на рисунку 3.1, сучасна енергетична безпека формується під впливом різних багатовимірних факторів, що взаємодіють між собою та визначають стійкість енергетичної системи в динамічному глобальному середовищі.

Доступність (availability) означає фізичну наявність енергоресурсів і можливість безперервного доступу до них у коротко- і довгостроковій перспективі. Це важливе питання, особливо для країн з обмеженим внутрішнім енергетичним потенціалом. *Доступність за ціною (affordability)* визначає, наскільки споживачі, як побутові, так і промислові, спроможні платити за енергію без значного фінансового навантаження.

Суттєво зросла увага до *екологічного впливу (environmental impact)* в оцінці енергетичної безпеки, оскільки використання традиційних викопних ресурсів супроводжується викидами парникових газів, забрудненням довкілля та прискоренням кліматичних змін. Такі виклики змушують країни інтегрувати екологічні критерії у формування енергетичної стратегії, зокрема шляхом розвитку відновлюваних джерел енергії, декарбонізації та підвищення енергоефективності.

Соціальний вплив (social impact) охоплює такі питання, як енергетична справедливість, енергетична бідність, рівний доступ до ресурсів та участь громад у процесі прийняття рішень. У сучасному дискурсі енергетичної безпеки такі теми набувають особливого значення у контексті «зеленого переходу», який повинен бути справедливим та інклюзивним.

Не менш важливу роль відіграють *геополітичні відносини (geopolitical relations)*. Енергетика продовжує залишатися важелем впливу в міжнародній політиці: контроль над ресурсами, транзитними маршрутами та технологіями часто стає предметом геополітичної конкуренції. У зв'язку з цим, зменшення залежності від імпорту енергоносіїв є важливим завданням для зміцнення національного суверенітету. *Ефективність уряду (government effectiveness)* полягає в здатності урядових інституцій формувати довгострокову енергетичну політику, залучати інвестиції, підтримувати інновації та забезпечувати регуляторну стабільність для успішності енергетичних трансформацій. *Технологічний розвиток (technological development)* є каталізатором змін у сфері енергетики. Інновації в галузі зберігання енергії, смарт-мереж, цифрового моніторингу та прогнозування, а також вдосконалення технологій генерації ВДЕ дозволяють будувати стійкі й ефективні енергосистеми.

Таким чином, енергетична безпека в сучасному світі є багатовимірною та динамічною категорією, що поєднує економічні, екологічні, соціальні, політичні й технологічні виміри. Забезпечення сталого розвитку вимагає інтегрованого підходу до управління цими аспектами з урахуванням як внутрішніх, так і зовнішніх загроз.

ВДЕ є екологічно безпечними, доступними, поновлюваними, а також сприяють диверсифікації енергетичного балансу та зменшенню залежності від імпортованих енергоносіїв. Завдяки децентралізованому характеру генерації відновлюваної енергії, держави можуть зміцнити енергетичний суверенітет, особливо в умовах порушення глобальних ланцюгів постачання чи енергетичних шантажів. На рисунку 3.2 зображено основні типи відновлюваної енергії, які використовуються у світі для зменшення залежності від викопного палива та зниження викидів парникових газів.

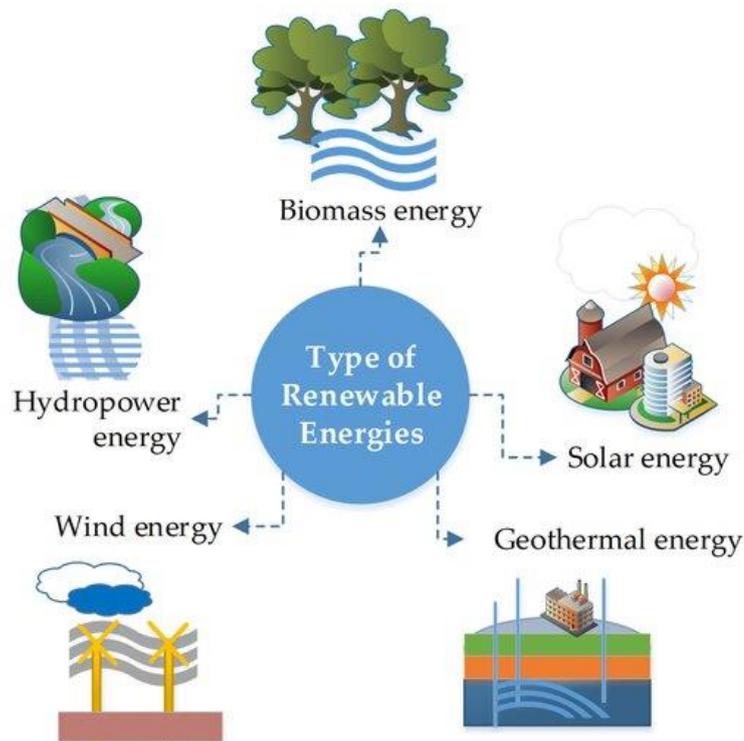


Рисунок 3.2. Типи відновлюваних джерел енергії
Джерело: <https://www.mdpi.com/2079-9276/8/3/149>

Рисунок 3.2 ілюструє п'ять основних типів відновлюваної енергії: біоенергія, сонячна енергія, геотермальна енергія, енергія вітру та гідроенергія. Біоенергія отримується шляхом переробки органічних матеріалів, таких як деревина, відходи сільського господарства чи біогаз. Сонячна енергія базується на перетворенні енергії сонячного випромінювання в електричну чи теплову. Геотермальна енергія використовує тепло надр Землі для обігріву будівель і виробництва електроенергії. Вітрова енергія створюється за допомогою турбін, що перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну. Гідроенергія виробляється завдяки силі течії річок або падінню води. Усі ці джерела є компонентами сталого розвитку та енергетичної безпеки.

У контексті забезпечення енергетичної безпеки розвиток ВДЕ відіграє важливу роль. ВДЕ сприяють не лише зменшенню залежності від імпорту викопного палива, але й підвищенню стійкості енергосистем до зовнішніх впливів. На рисунку 3.3 представлені основні компоненти енергетичної безпеки, які демонструють, яким чином інтеграція ВДЕ може зміцнити енергетичну стійкість держав.

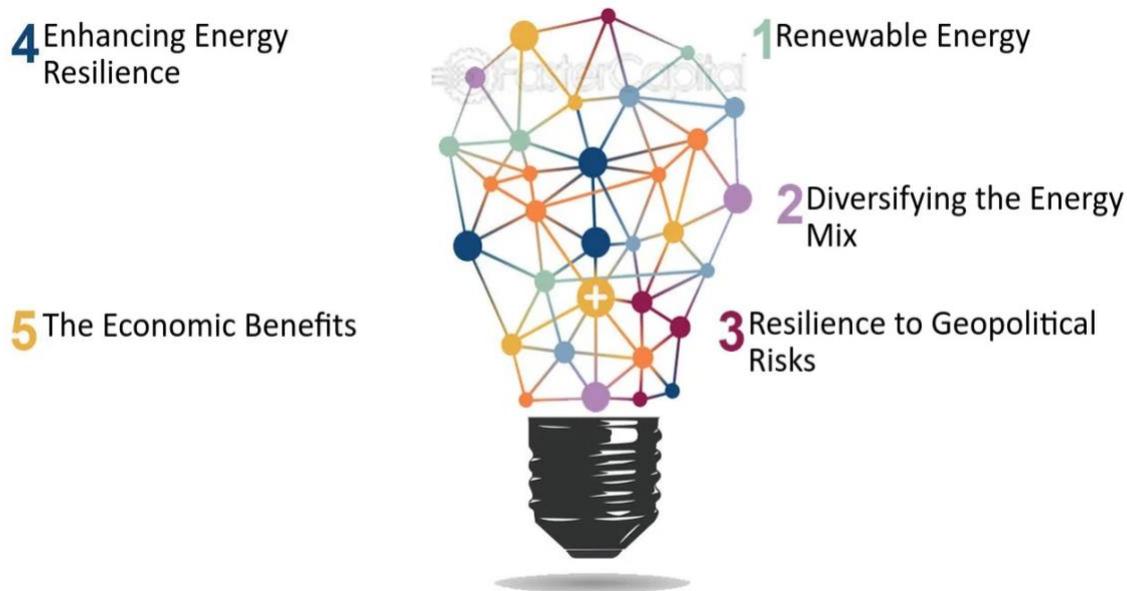


Рисунок 3.3. Компоненти енергетичної безпеки

Джерело: <https://fastercapital.com/topics/what-is-energy-security.html/2>

На рисунку 3.3 зображено лампочку як символ енергетичної ідеї, всередині якої структуровано п'ять ключових компонентів енергетичної безпеки. Першим елементом є ВДЕ (Renewable Energy), що є основою стабільної енергетики. Другим компонентом є диверсифікація джерел енергії (Diversifying the Energy Mix), що знижує ризики надмірної залежності від одного джерела. Резильентність до геополітичних ризиків (Resilience to Geopolitical Risks) підкреслює важливість зменшення вразливості до зовнішньополітичних впливів. Підвищення енергетичної стійкості (Enhancing Energy Resilience) стосується здатності системи адаптуватися до змін і кризи. П'ятий компонент - економічні вигоди (The Economic Benefits) наголошує на фінансових перевагах використання ВДЕ, зокрема створенні робочих місць та зниженні довгострокових витрат. Сукупність описаних чинників ілюструє комплексний підхід до зміцнення енергетичної безпеки через використання ВДЕ.

Розвиток ВДЕ сприяє зменшенню вразливості енергетичної системи до зовнішніх шоків, таких як зростання цін на нафту чи газ, а також зменшує вплив нестабільності в країнах-експортерах викопних енергоносіїв. Важливою є і стабільність цін на енергію з

ВДЕ, оскільки, після початкових інвестицій у інфраструктуру, експлуатаційні витрати є відносно низькими і передбачуваними.

З іншого боку, інтеграція ВДЕ в енергетичні системи потребує модернізації електромереж, розвитку систем накопичення енергії та цифрових технологій керування попитом. Висока варіабельність сонячної та вітрової генерації може створювати виклики для балансування енергосистем, що потребує комплексного підходу до управління.

Таким чином, розвиток ВДЕ не лише сприяє зміцненню енергетичної безпеки, але й вимагає адаптації енергетичної інфраструктури та нових управлінських підходів. Збалансована політика в цій сфері здатна забезпечити країні як енергетичну незалежність, так і відповідність кліматичним зобов'язанням.

3.2. Інтеграція відновлюваних джерел енергії у національні та міжнародні енергомережі

Інтеграція ВДЕ у національні та міжнародні енергосистеми є важливим фактором досягнення енергетичної безпеки, декарбонізації економіки та переходу до сталого розвитку. В умовах глобального зростання частки ВДЕ в енергобалансі країн особливого значення набувають питання технічної, економічної та регуляторної інтеграції ВДЕ в існуючі енергомережі. На рисунку 3.4 наведено характеристики ВДЕ і виклики, які пов'язані з їх інтеграцією.

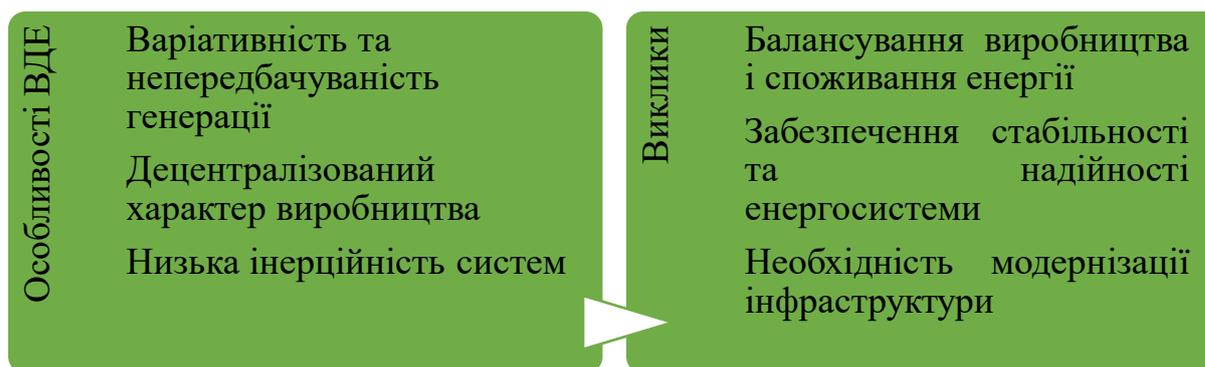


Рисунок 3.4. Інтеграція відновлюваних джерел енергії: особливості та виклики
Джерело: власна розробка авторів

Відновлювані джерела енергії мають низку характерних особливостей, що водночас відкривають нові можливості та створюють певні виклики для енергетичної системи. Однією з рис є варіативність та непередбачуваність генерації, що особливо притаманна сонячній та вітровій енергії, оскільки виробництво залежить від погодних умов і має нестійкий характер. Окрім того, ВДЕ зазвичай мають децентралізований характер виробництва, на відміну від традиційних великих електростанцій, що концентрують генеруючі потужності в обмежених географічних точках. Ще однією особливістю є низька інерційність систем, обумовлена відсутністю масивного обертального моменту, який є притаманним традиційним генераторам. Усі ці фактори спричиняють виклики при інтеграції ВДЕ до електричних мереж, серед яких - необхідність балансування виробництва і споживання енергії в режимі реального часу, забезпечення стабільності та надійності функціонування енергосистеми, а також модернізація інфраструктури, зокрема електричних мереж, підстанцій, систем зберігання енергії та впровадження розумних лічильників і цифрових технологій для гнучкого управління.

На національному рівні інтеграція ВДЕ вимагає комплексного підходу, що включає розвиток «розумних» електричних мереж (smart grids) з можливістю автоматичного

моніторингу та керування потоками енергії, впровадження систем зберігання енергії, таких як акумуляторні установки, гідроакумуляуючі станції та технології водневого зберігання. Важливим напрямом є цифровізація енергетичного сектору, зокрема впровадження SCADA-систем та інструментів прогнозу аналітики виробництва ВДЕ для покращення керованості та передбачуваності генерації. Одночасно мають бути реалізовані регуляторні механізми підтримки ВДЕ, такі як «зелений» тариф», аукціонні моделі та механізми гарантованого викупу електроенергії з відновлюваних джерел.

Україна з 2022 року є частиною європейського енергетичного простору ENTSO-E та розпочала процес інтеграції до єдиної енергосистеми ЄС. Така трансформація відкриває нові можливості для експорту електроенергії з ВДЕ, однак одночасно вимагає гармонізації технічних стандартів, оновлення електромереж та активного розвитку маневрених потужностей, зокрема газових турбін або акумуляторних станцій, здатних швидко реагувати на коливання у виробництві. Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року, частка відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у 2030 році становитиме 27%, а саме:

- в системах теплопостачання та холодопостачання – 33%;
- у виробництві електроенергії – 29%;
- у транспортному секторі – 17% (рис.3.5).

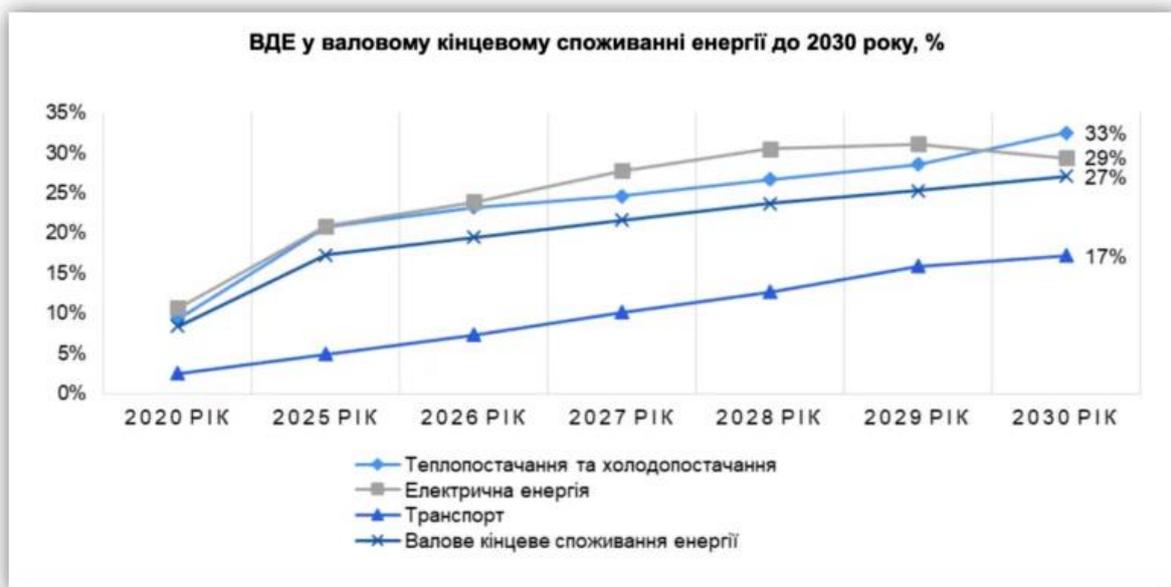


Рисунок 3.5. Запланована частка ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії до 2030 року в Україні

Джерело: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3904702-novij-plan-ak-ukraina-planue-dosagti-27-vde-do-2030-roku.html>

Графік (рис.3.5) ілюструє заплановану динаміку зростання частки ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії в Україні до 2030 року в розрізі трьох секторів: електрична енергія, теплопостачання та холодопостачання, транспорт, а також у загальному споживанні. По горизонтальній осі зазначені роки від 2020 до 2030, а по вертикальній - відсоткова частка ВДЕ. Найвищі показники демонструє сектор електричної енергії: з приблизно 11% у 2020 році частка ВДЕ зростає до 33% у 2030. У секторі теплопостачання та холодопостачання цей показник збільшується з близько 8% до 29% за той самий період. Найнижчі темпи приросту спостерігаються у транспортному секторі, де частка ВДЕ зростає з 2% у 2020 до 17% у 2030 році. Загалом у структурі валового кінцевого споживання енергії частка ВДЕ збільшується з 9% до 27%. Описані

дані свідчать про поступове, але стабільне зростання інтеграції ВДЕ в енергетичну систему України з особливо інтенсивним розвитком у сфері електроенергетики.

На міжнародному рівні інтеграція ВДЕ відбувається через поглиблення транскордонної енергетичної співпраці та формування нових інфраструктурних і координаційних механізмів. Одним із ключових напрямів є створення транснаціональних мереж передавання електроенергії, зокрема міждержавних ліній електропередач, які забезпечують можливість транспортування надлишків електроенергії з регіонів з високою генерацією до регіонів з високим попитом. Координація між системними операторами різних країн, таких як ENTSO-E або Nord Pool, дозволяє забезпечити синхронізовану роботу енергосистем, оперативний обмін інформацією та спільне управління навантаженням, що є важливим для стабільного функціонування енергетичних систем з високою часткою ВДЕ. Крім того, значну роль відіграє участь країн у спільному європейському ринку електроенергії, де електрика, згенерована з відновлюваних джерел, може реалізовуватись через енергетичні біржі, забезпечуючи прозорість торгівлі, конкуренцію та економічну доцільність виробництва «зеленої» енергії. Розвиток регіональних енергетичних хабів, таких як офшорні вітрові електростанції у Північному морі або проекти сонячної генерації в Сахарі (зокрема ініціатива Desertec), створює нові можливості для масового виробництва ВДЕ та їх експорту на великі відстані. Також особливо важливою стає побудова інтерконекторів - високовольтних ліній постійного струму (HVDC), які забезпечують ефективне передавання електроенергії з мінімальними втратами, особливо від віддалених джерел ВДЕ до центрів споживання. Усе це сприяє формуванню цілісного, стійкого та децентралізованого енергетичного простору, здатного інтегрувати різноманітні джерела енергії та забезпечувати енергетичну безпеку на міждержавному рівні.

Рисунок 3.6 демонструє структурні блоки візії ENTSO-E щодо розвитку енергосистеми майбутнього та основні трансверсальні виклики, які необхідно враховувати для досягнення енергетичних цілей ЄС.

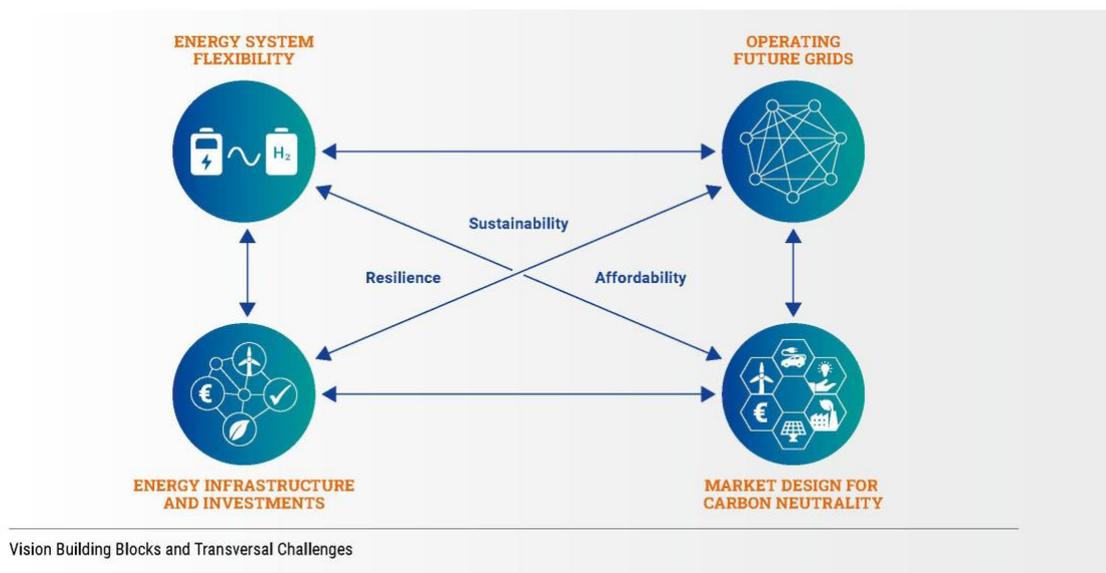


Рисунок 3.6. Структурні блоки візії та перехресні виклики ENTSO-E

Джерело: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/tyndp-documents/entso-e_Vision_2050_report_221006.pdf

Основна увага на рис. 3.6 приділяється забезпеченню сталості (sustainability), стійкості (resilience) та доступності (affordability) енергопостачання. Зображено чотири структурні блоки, які формують візію ENTSO-E щодо розвитку енергосистеми майбутнього. Гнучкість енергосистеми (Energy System Flexibility) охоплює технології

зберігання, що дозволяють адаптуватися до змін у виробництві та споживанні енергії. Функціонування майбутніх мереж (Operating Future Grids) відображає потребу в модернізації електричних мереж для інтеграції децентралізованих джерел та цифрових рішень. Інфраструктура та інвестиції в енергетику (Energy Infrastructure and Investments) сприяють на розвитку фізичної інфраструктури та фінансуванні інноваційних проєктів. Дизайн ринку для вуглецевої нейтральності (Market Design for Carbon Neutrality) стосується створення ефективних правил і стимулів для забезпечення переходу до безвуглецевої економіки. Усі блоки взаємопов'язані між собою та спрямовані на досягнення трьох головних викликів - сталості, стійкості та доступності, що забезпечує цілісне бачення ENTSO-E енергетичного переходу в Європі.

Міжнародні організації, такі як IRENA (International Renewable Energy Agency), IEA (International Energy Agency) та Європейська Комісія, відіграють важливу роль у стандартизації, проведенні досліджень і впровадженні кращих практик для інтеграції ВДЕ. Їхня діяльність сприяє узгодженню політик між країнами, розвитку інноваційних підходів та створенню сприятливого середовища для енергетичного переходу. Серед важливих міжнародних ініціатив варто відзначити Європейську стратегію "Clean Energy for All Europeans", яка спрямована на створення єдиного енергетичного ринку ЄС із пріоритетом на чисту енергію; глобальну програму Net Zero Emissions by 2050, запропоновану IEA, що визначає сценарії для досягнення кліматичної нейтральності; а також ініціативу "One Sun, One World, One Grid", започатковану Індією у співпраці з Міжнародним сонячним альянсом, яка має на меті глобальне об'єднання сонячних енергетичних ресурсів. Усі ці заходи спрямовані на пришвидшення трансформації енергетичних систем і зміцнення міжнародного співробітництва у сфері сталого розвитку.

3.3. Економічна ефективність та інвестиції у відновлюваних джерел енергії

Інвестиції у відновлювані джерела енергії (ВДЕ) дедалі більше сприймаються не лише як засіб досягнення екологічної стійкості, а й як стратегічно вигідна економічна ініціатива. Світовий досвід свідчить, що розвиток ВДЕ може забезпечити довгострокову економію ресурсів, зменшення енергетичної залежності, створення нових робочих місць і стимулювання інновацій. Згідно з даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), вартість виробництва електроенергії з сонячної та вітрової енергії за останнє десятиліття знизилась більш ніж на 80%, що зробило ці технології конкурентоспроможними навіть без державної підтримки. На рис. 3.7 зображено економічні переваги впровадження ВДЕ, які мають як прямий, так і опосередкований вплив на соціально-економічний розвиток.

Запропонована схема (рис.3.7) представлена у вигляді циклічної діаграми, що підкреслює взаємозв'язок між чотирма основними чинниками: створення нових робочих місць (Job Creation), економія коштів (Cost Savings), енергетична незалежність (Energy Independence) та екологічні переваги (Environmental Benefits). Такі фактори взаємно підсилюють один одного: наприклад, розвиток зеленої енергетики стимулює ринок праці через створення нових робочих місць у сферах виробництва, будівництва та технічного обслуговування; одночасно це зменшує витрати на імпорт викопного палива, що сприяє енергетичній незалежності держави та фінансовій стабільності. Окрім цього, екологічний ефект від зниження шкідливих викидів позитивно впливає на здоров'я населення та зменшує витрати на охорону довкілля, що також має довготривалу економічну вигоду.

Однією з головних переваг інвестування у ВДЕ є передбачуваність витрат протягом життєвого циклу проєкту. На відміну від традиційних енергоносіїв, де витрати залежать від коливань цін на паливо, у ВДЕ основна частина витрат припадає на початкову інвестицію, після чого витрати на експлуатацію залишаються відносно низькими. Така

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

тенденція сприяє зростанню інтересу до проєктів із сонячної енергетики, вітроенергетики, біоенергетики та геотермальних систем з боку як державних, так і приватних інвесторів.



Рисунок 3.7. Економічні переваги ВДЕ

Джерело: <https://fastercapital.com/topics/the-economic-benefits-of-renewable-energy.html>

Інвестиційна активність відображає не лише економічну доцільність «зелених» технологій, а й прагнення урядів та приватного сектору зменшити залежність від викопного палива, зміцнити енергетичну безпеку та досягти цілей сталого розвитку. Тренд до активізації інвестицій у ВДЕ свідчить про зміну стратегічних пріоритетів на користь децентралізованих і екологічно чистих енергетичних рішень. На рис. 3.8 представлено динаміку глобальних квартальних інвестицій у сектор відновлюваної енергетики за період з першого кварталу 2013 року до другого кварталу 2023 року, відповідно до даних агентства BloombergNEF.

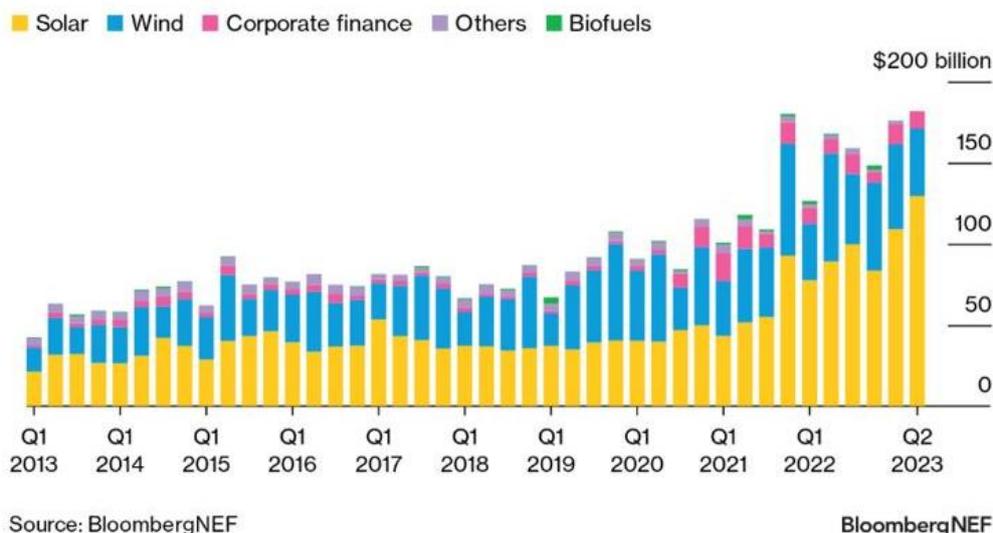


Рисунок 3.8. Динаміка глобальних інвестицій у відновлювану енергетику
(2013-2023 pp.)

Джерело: <https://about.bnef.com/blog/renewable-energy-investment-hits-record-breaking-358-billion-in-1h-2023/>

Запропонована візуалізація дозволяє простежити як загальні тенденції зростання інвестицій, так і зміну частки вкладень у різні типи ВДЕ.

Рис. 3.8 демонструє рекордне зростання інвестицій у відновлювану енергетику, які у першому півріччі 2023 року досягли \$358 мільярдів. Стовпчаста діаграма відображає обсяги інвестицій поквартально з розподілом за: сонячна енергетика (жовтий колір), вітроенергетика (синій), корпоративне фінансування (рожевий), біопаливо (зелений) та інші (блакитний). Помітне значне домінування сонячної енергетики, частка якої стабільно зростала особливо з 2020 року, що свідчить про її привабливість з економічної точки зору та поступове здешевлення технологій. Зростання обсягів інвестування можна пояснити сукупністю факторів: посиленням міжнародних кліматичних зобов'язань, розвитком «зеленої» політики ЄС, США та Китаю, підвищенням рентабельності ВДЕ-проектів, а також геополітичними викликами, що стимулюють держави до досягнення енергетичної незалежності. Отже, відновлювана енергетика переходить з нішового сегмента до основного напрямку глобальних інвестицій та демонструє зростаючу довіру з боку як державного, так і приватного капіталу.

Однак ефективність таких інвестицій багато в чому залежить від інституційного середовища, рівня розвитку інфраструктури, а також наявності стимулюючих механізмів, зокрема «зелених» тарифів, податкових пільг, програм субсидування тощо. У країнах ЄС значний вплив має Європейський зелений курс, який передбачає залучення приватного капіталу до зеленої трансформації економіки. В Україні інвестиційна привабливість ВДЕ зазнала певного зниження через зміну умов підтримки, однак потенціал галузі залишається високим, зокрема в умовах децентралізації енергетичних систем та зростання попиту на енергонезалежність.

Оцінка економічної ефективності інвестицій у ВДЕ є етапом при ухваленні рішень щодо реалізації проектів та базується на комплексному аналізі фінансових показників, які дозволяють об'єктивно оцінити доцільність і прибутковість інвестицій. Найчастіше використовуються такі індикатори:

1. Чиста приведена вартість (Net Present Value, NPV) - це різниця між сумарними дисконтованими надходженнями (вигодами) від проекту та загальними витратами на його реалізацію. Якщо $NPV > 0$, то проект вважається економічно доцільним. Такий показник враховує зміну вартості грошей у часі та дозволяє порівнювати альтернативні проекти.

2. Внутрішня норма прибутковості (Internal Rate of Return, IRR) - це ставка дисконту, за якої чиста приведена вартість проекту дорівнює нулю. Іншими словами, IRR показує очікувану норму прибутковості інвестицій. Якщо IRR перевищує вартість капіталу або нормативну ставку дохідності, проект вважається вигідним. У контексті ВДЕ IRR дозволяє інвесторам оцінити ризики та перспективи повернення вкладених коштів.

3. Період окупності (Payback Period) - це період часу, за який початкові інвестиції повністю повертаються завдяки отриманим прибуткам або зекономленим коштам. Хоча цей показник не враховує дисконтовану вартість грошей, він широко використовується як орієнтовний інструмент для попереднього аналізу ризиків та ліквідності проекту.

4. Коефіцієнт рентабельності інвестицій (Profitability Index, PI) - це співвідношення між сумарною приведеною вартістю вигод і початковими інвестиціями. Якщо $PI > 1$, проект вважається ефективним. Цей індикатор дозволяє ранжувати кілька проектів за рівнем їх привабливості, особливо у разі обмеженості інвестиційних ресурсів.

Такі показники дозволяють порівнювати альтернативні проекти й формувати інвестиційні портфелі з урахуванням ризиків, пов'язаних з регуляторною нестабільністю, коливанням курсу валют, змінами клімату тощо. Застосування зазначених методів дає змогу обґрунтовано оцінити інвестиційну привабливість ВДЕ-проектів, враховуючи як економічні, так і екологічні вигоди, а також їхню здатність адаптуватися до ринкових та регуляторних змін. Таким чином, інвестиції у ВДЕ можуть

бути не лише екологічно, а й економічно виправданими за умов стабільного регуляторного середовища, довгострокової політичної волі та підтримки з боку держави і міжнародних партнерів.

Питання для обговорення

1. Яким чином розвиток ВДЕ впливає на зменшення енергетичної залежності країн від імпорту викопного палива?
2. Чи можна вважати ВДЕ універсальним рішенням для всіх країн з точки зору енергетичної безпеки?
3. Які виклики супроводжують інтеграцію ВДЕ у традиційні енергетичні системи, і як їх подолати?
4. Як впливають соціальні та геополітичні питання на ефективність переходу до ВДЕ у контексті енергетичної безпеки?
5. Які передумови є важливими для успішної інтеграції ВДЕ в енергетичну систему країни на національному та міжнародному рівнях?
6. Яку роль відіграє цифровізація у підвищенні стабільності енергосистем з високою часткою ВДЕ?
7. Наскільки важливою є міжнародна координація та стандартизація при формуванні транснаціональних енергетичних мереж для ВДЕ?
8. Які економічні та соціальні фактори впливають на прийняття рішень щодо інвестицій у ВДЕ?
9. Як можна збалансувати економічні вигоди та екологічні переваги при інвестуванні в ВДЕ в умовах нестабільного регуляторного середовища?
10. Які основні бар'єри та можливості для розвитку інвестицій у відновлювану енергетику існують в Україні?

Ситуаційні завдання

1. Урядовий вибір

Після енергетичної кризи уряд країни розглядає можливість зменшення залежності від імпорту газу та вугілля. Один із варіантів - активізація розвитку відновлюваних джерел енергії. Дискусії розвиваються навколо того, чи варто зосереджуватися на централізованих великих ВДЕ-об'єктах, чи краще підтримувати децентралізовані установки на рівні домогосподарств та громад.

Завдання: проаналізуйте, який із підходів є більш ефективним для посилення енергетичної безпеки. Які чинники слід враховувати при ухваленні такого рішення?

2. Місцева ініціатива

Громада у сільському районі ініціює проєкт зі створення енергетичного кооперативу, що базується на сонячних панелях. Деякі мешканці підтримують ідею як крок до енергетичної незалежності, інші сумніваються у надійності таких рішень.

Питання: які аргументи ви б навели для пояснення потенційного внеску такого кооперативу в енергетичну безпеку регіону? Як можна посилити довіру населення до подібних ініціатив?

3. Ризики монопольної генерації

У країні головним виробником електроенергії є державна компанія, яка володіє більшістю ТЕС. Водночас приватні ініціативи у сфері ВДЕ обмежуються регуляторними бар'єрами. Через загрозу атак на великі енергетичні об'єкти зростає зацікавлення у децентралізованих джерелах енергії.

Питання: чи може розвиток ВДЕ слугувати інструментом підвищення енергетичної безпеки в умовах монополії? Як держава може забезпечити баланс між централізованим управлінням і розвитком альтернативних джерел?

4. ВДЕ та стабільність регіональної енергосистеми

У центральному регіоні країни спостерігається стрімке зростання кількості малих сонячних електростанцій, переважно встановлених приватними домогосподарствами та фермерськими господарствами. Вдень у години пік виробництво енергії перевищує споживання, що призводить до нестабільної напруги у локальній мережі та частих спрацьовувань захисної автоматики. Місцевий оператор системи розподілу висловлює занепокоєння щодо загрози для безпеки мережі та пропонує запровадити обмеження на підключення нових ВДЕ.

Завдання: проаналізуйте ситуацію з точки зору системного управління енергетикою. Які існують сучасні технічні, організаційні або нормативні підходи, що дозволяють інтегрувати децентралізовані джерела енергії без шкоди для стабільності мережі? Яку роль можуть відігравати накопичувачі енергії, розумні мережі або механізми керованого споживання?

5. Підготовка до інтеграції в ENTSO-E

Країна активно реформує свою енергетичну систему з метою повної синхронізації з європейською енергомережою ENTSO-E. Одним із напрямів енергетичної стратегії є розвиток ВДЕ, особливо вітрової та сонячної енергетики. Проте європейські партнери висловлюють стурбованість через недостатню передбачуваність графіків генерації та нестачу резервних потужностей. Крім того, національні нормативи не повністю відповідають стандартам ENTSO-E.

Завдання: Сформулюйте перелік стратегічних і технічних дій, які має здійснити країна для забезпечення безпечної та ефективної інтеграції ВДЕ до міжнародної енергомережі. Як можна збалансувати гнучкість генерації, розвиток інфраструктури та відповідність європейським вимогам?

6. Транскордонне регулювання енергетичних потоків

Дві сусідні держави (країна А і країна В) мають спільну мережу передачі електроенергії та активно розвивають ВДЕ. У країні А працює кілька великих сонячних парків, які генерують надлишок енергії у денні години. Цей надлишок експортується до країни В, що спричиняє перевантаження її мережевої інфраструктури та порушення внутрішнього енергобалансу. Регулятор країни В заявляє про необхідність введення обмежень або компенсаційних механізмів.

Питання: які моделі транскордонного енергетичного регулювання та співпраці можуть бути застосовані в такій ситуації? Які принципи мають лягти в основу справедливого розподілу відповідальності й вигід між країнами, особливо в умовах спільного використання інфраструктури та різних підходів до енергетичної політики?

7. Інвестор і регуляторна невизначеність

Міжнародна компанія розглядає можливість інвестування у будівництво вітрової електростанції потужністю 100 МВт. Попередні розрахунки демонструють позитивний NPV та IRR, а також сприятливі умови для залучення зеленого фінансування. Водночас, команда аналітиків звертає увагу на часту зміну державної політики щодо зелених тарифів, невизначеність з податковими пільгами та затримки з підключенням до мережі у попередніх проєктах.

Завдання: оцініть, які фактори ризику повинні враховувати інвестори при ухваленні рішення про вкладення у ВДЕ в країнах з нестабільною регуляторною політикою. Які інструменти можуть допомогти пом'якшити ці ризики? Якою має бути роль держави у забезпеченні інвестиційної привабливості ВДЕ?

8. Муниципальний проєкт з енергонезалежності

Невелике місто прагне знизити свою залежність від централізованого постачання електроенергії та розглядає варіант будівництва сонячної електростанції для забезпечення потреб об'єктів критичної інфраструктури (лікарні, школи, водоканал). У міській раді обговорюються джерела фінансування - місцевий бюджет, міжнародні

гранти та пільгові кредити. Частина депутатів ставить під сумнів економічну доцільність проєкту, вважаючи, що витрати не окупляться.

Питання: які критерії та показники доцільно використати для обґрунтування економічної ефективності такого проєкту? Чи до уваги слід брати соціальні та екологічні ефекти? Чи є в цьому випадку додаткові аргументи на користь інвестицій у ВДЕ з боку органів місцевого самоврядування?

Глосарій

Відновлювані джерела енергії - це сукупність природних ресурсів, що здатні постійно відновлюватися в природному середовищі та використовуються для виробництва енергії (сонячна, вітрова, гідро-, геотермальна енергія, а також біоенергія). ВДЕ є екологічно чистими, мають низький рівень викидів парникових газів, сприяють диверсифікації енергетичного балансу, зниженню залежності від імпорту викопного палива та підвищенню енергетичної стійкості країн.

Енергетична безпека - здатність енергетичної системи забезпечувати надійне, доступне, стає та екологічно безпечне енергопостачання в умовах внутрішніх та зовнішніх загроз.

Диверсифікація енергетичного балансу - стратегія зменшення залежності від одного джерела енергії шляхом впровадження різноманітних джерел, включаючи ВДЕ.

Резильєнтність енергосистеми - здатність енергетичної системи адаптуватися до змін, протистояти кризам і швидко відновлюватися після порушень у роботі.

Енергетична бідність - соціально-економічне явище, при якому домогосподарства не мають можливості оплачувати необхідний рівень енергоспоживання без шкоди для інших життєво важливих витрат.

Модернізація енергомережі - процес вдосконалення існуючих енергомереж за допомогою новітніх цифрових технологій, що включає інтеграцію відновлювальних джерел енергії, покращення управління енергопотокami та підвищення надійності і гнучкості мереж.

Інерційність енергосистеми - здатність енергосистеми зберігати стабільність частоти завдяки наявності масивних обертових генераторів; в системах з ВДЕ інерційність знижена, що вимагає додаткових компенсаторів стабільності.

Гнучкість енергосистеми (Energy System Flexibility) - здатність енергосистеми адаптуватися до швидких змін у виробництві та споживанні електроенергії, зокрема завдяки системам зберігання, маневреним потужностям і цифровим рішенням.

HVDC (High Voltage Direct Current) - технологія високовольтної лінії постійного струму, що дозволяє ефективно передавати великі обсяги електроенергії на великі відстані з мінімальними втратами, особливо від ВДЕ.

ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) - європейська мережа операторів систем передачі електроенергії, що забезпечує координацію енергосистем країн ЄС та їхню синхронну роботу, включаючи інтеграцію ВДЕ.

Чиста приведена вартість (NPV) - різниця між сумарними дисконтованими надходженнями від проєкту та загальними витратами на його реалізацію.

Внутрішня норма прибутковості (IRR) - ставка дисконту, за якої чиста приведена вартість проєкту дорівнює нулю. Показує очікувану норму прибутковості інвестицій.

Період окупності (Payback Period) - період часу, за який початкові інвестиції повністю повертаються завдяки отриманим прибуткам або зекономленим коштам.

Коефіцієнт рентабельності інвестицій (PI) - співвідношення між сумарною приведеною вартістю вигод і початковими інвестиціями.

Зелені інвестиції - це фінансові вкладення, що спрямовані на підтримку проєктів і ініціатив, які мають на меті сприяння сталому розвитку та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Вони охоплюють заходи, які створюють екологічний баланс та стійкий розвиток економіки.

Тестові завдання

1. Який із чинників НЕ входить до сучасного багатовимірного розуміння енергетичної безпеки?
 - А) Соціальний вплив.
 - Б) Туристична привабливість.
 - В) Геополітичні відносини.
 - Г) Екологічний вплив.
2. Яка з переваг відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) зазначена в тексті?
 - А) Висока залежність від кліматичних умов.
 - Б) Неможливість децентралізованої генерації.
 - В) Зменшення залежності від імпорту енергоносіїв.
 - Г) Підвищене фінансове навантаження на споживачів.
3. Який із типів відновлюваної енергії ґрунтується на використанні тепла надр Землі?
 - А) Вітрова енергія.
 - Б) Сонячна енергія.
 - В) Геотермальна енергія.
 - Г) Біоенергія.
4. Яка умова є необхідною для успішної інтеграції ВДЕ в енергосистему?
 - А) Відмова від цифрових технологій.
 - Б) Зменшення енергетичної резильєнтності.
 - В) Модернізація електромереж та розвиток систем накопичення енергії.
 - Г) Встановлення монополії на традиційні джерела енергії.
5. Яка з наведених характеристик є типовою для відновлюваних джерел енергії?
 - А) Висока інерційність генерації.
 - Б) Варіативність та непередбачуваність виробництва.
 - В) Централізований характер розташування генераторів.
 - Г) Повна незалежність від погодних умов.
6. Який показник частки ВДЕ у виробництві електроенергії запланований в Україні на 2030 рік відповідно до Національного плану дій?
 - А) 17%
 - Б) 27%
 - В) 29%
 - Г) 33%
7. Яке з наведених тверджень найкраще описує роль міждержавних ліній електропередач у міжнародній інтеграції ВДЕ?
 - А) Вони використовуються лише для аварійного резерву.
 - Б) Вони зменшують потребу в децентралізованому виробництві.
 - В) Вони дозволяють транспортувати надлишки електроенергії між регіонами.
 - Г) Вони використовуються виключно в межах однієї країни.
8. Яка з наведених переваг інвестицій у відновлювані джерела енергії є ключовою з економічної точки зору?
 - А) Висока залежність від імпорту обладнання.
 - Б) Передбачуваність витрат протягом життєвого циклу проекту.
 - В) Постійне зростання вартості викопного палива.
 - Г) Високі експлуатаційні витрати.
9. Що відображає показник Net Present Value при оцінці інвестиційного проекту у сфері ВДЕ?
 - А) Середній рівень енергоспоживання за період.
 - Б) Потенційну частку ринку, яку займе проект.
 - В) Різницю між сумарними дисконтованими вигодами та витратами проекту.
 - Г) Максимальну потужність електростанції.

10. Згідно з даними BloombergNEF, який тип ВДЕ демонстрував стабільне домінування в інвестиціях у 2020-2023 роках?

- А) Біопаливо.
- Б) Сонячна енергетика.
- В) Геотермальна енергетика.
- Г) Вітроенергетика.

Довідкова та корисна література

- Siksnyte-Butkiene, I. (2023). Defining the Perception of Energy Security: An Overview. *Economies*, 11(7), 174. URL: <https://doi.org/10.3390/economies11070174>
- Avtar, R., Sahu, N., Aggarwal, A. K., Chakraborty, S., Kharrazi, A., Yunus, A. P., Dou, J., & Kurniawan, T. A. (2019). Exploring Renewable Energy Resources Using Remote Sensing and GIS—A Review. *Resources*, 8(3), 149. URL: <https://doi.org/10.3390/resources8030149>
- FasterCapital. (n.d.). What is energy security? URL: <https://fastercapital.com/topics/what-is-energy-security.html/2>
- Ukrinform. (2024). Новий план: як Україна планує досягти 27% ВДЕ до 2030 року. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3904702-novij-plan-ak-ukraina-planue-dosagti-27-vde-do-2030-roku.html>
- LigaZakon. (2024). Постанова Кабінету Міністрів України №761-р: Про затвердження Енергетичної стратегії України до 2050 року. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/kr240761?an=22>
- Міністерство економіки України. (2024). Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. URL: <https://me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=76f559ff-4fc5-4441-b73a-1ff1a5b781cf&tag=NatsionalniiPlanZEnergetikiTaKlimatuNaPeriodDo2030-Roku>
- ENTSO-E. (2022). ENTSO-E Vision 2050. URL: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/tyndp-documents/entso-e_Vision_2050_report_221006.pdf
- IRENA. (2024). World Energy Outlook 2024. International Renewable Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- European Commission (2020). Clean Energy for All Europeans Package. URL: https://commission.europa.eu/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-05-22_en
- IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
- International Solar Alliance (ISA). (n.d.). One Sun, One World, One Grid. URL: <https://isa.int/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable power generation costs in 2023. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf
- ENTSO-E. (2024). Ten-Year Network Development Plan (TYNDP). URL: <https://www.entsoe.eu/outlooks/tyndp/2024/>
- FasterCapital. (n.d.). The economic benefits of renewable energy. URL: <https://fastercapital.com/topics/the-economic-benefits-of-renewable-energy.html>
- BloombergNEF. (2023). Renewable energy investment hits record-breaking \$358 billion in 1H 2023. URL: <https://about.bnef.com/blog/renewable-energy-investment-hits-record-breaking-358-billion-in-1h-2023/>
- McKinsey & Company. (2024). How grid operators can integrate the coming wave of renewable energy. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-grid-operators-can-integrate-the-coming-wave-of-renewable-energy>
-

Розділ 4. Маркетинг у сфері енергетики та формування конкурентних переваг підприємств галузі

- 4.1. Особливості енергетичного ринку та роль маркетингу в галузі
- 4.2. Поведінка споживачів енергетичних послуг і ключові чинники попиту
- 4.3. Зелений маркетинг та екологічно орієнтовані комунікації

4.1 Особливості енергетичного ринку та роль маркетингу в галузі

Енергетичний ринок посідає особливе місце в економічній системі, оскільки забезпечує функціонування всіх галузей виробництва, інфраструктури та соціальної сфери. На відміну від звичайних товарних ринків, його розвиток і поведінка учасників визначаються специфічними умовами, що формуються під впливом технічних, регуляторних та безпекових факторів. Це зумовлює необхідність окремого розгляду ключових характеристик енергетичного ринку, які визначають логіку його функціонування та впливають на формування попиту, пропозиції й конкурентного середовища в галузі.

Енергетика характеризується *високим рівнем регулювання*, оскільки значна частина кінцевої ціни електроенергії або газу формується під впливом державної тарифної політики, податкових механізмів та рішень національних регуляторів. За даними Eurostat (2023), податки та мережеві збори у країнах ЄС становлять у середньому 40–60 % вартості електроенергії для кінцевих споживачів, що підкреслює вагомість регуляторного впливу на ринок.

Важливою характеристикою є *стратегічна значущість енергетичного сектору* для економічного розвитку й національної безпеки. Енергетична стабільність визначає роботу промисловості, транспорту та критичної інфраструктури. Згідно з оцінками OECD (2023), підвищення доступності енергоресурсів на 1 % сприяє зростанню загальної продуктивності економіки на 0,4–0,6 %, що демонструє високу чутливість економічних процесів до енергетичних факторів (Рисунок 4.1).

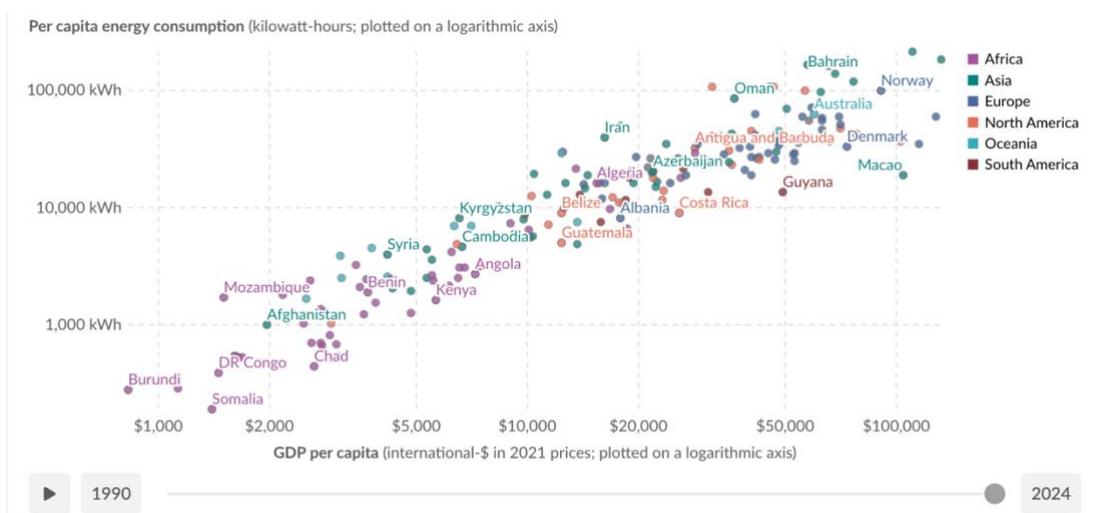


Рисунок 4.1. Взаємозв'язок між рівнем енергоспоживання та ВВП на душу населення у країнах світу, 2024 р.

Джерело: <https://ourworldindata.org/grapher/energy-use-per-person-vs-gdp-per-capita>

Графік на рисунку 4.1 відображає взаємозв'язок між споживанням енергії на душу населення та ВВП на душу населення у країнах світу (логарифмічні шкали). Дані демонструють чітку позитивну кореляцію: зі зростанням економічного добробуту

збільшуються й обсяги кінцевого енергоспоживання. Країни з низькими доходами споживають мінімальні обсяги енергії, тоді як економічно розвинені держави (Норвегія, Австралія, Данія тощо) характеризуються найвищими показниками. Регіональні групи також розподілені нерівномірно: африканські країни зосереджені в нижній частині графіка, європейські та північноамериканські у верхній. Загальна форма розподілу точок підтверджує, що доступ до енергоресурсів є важливим чинником економічного розвитку та продуктивності.

Структура енергетичного ринку також визначається наявністю *природних монополій*, зокрема у сферах передачі та розподілу електроенергії й газу. Технічні обмеження та економія на масштабах роблять паралельне дублювання мереж недоцільним, що зумовлює існування єдиного оператора системи передачі та обмежену конкуренцію в низці сегментів. За даними ACER (2023), лише лише близько 30–40 % сегментів європейського енергоринку функціонують у повністю конкурентних умовах.

Ще однією специфічною рисою є *висока інфраструктурна залежність*. Формування та підтримання енергетичних систем потребує розгалуженої мережевої інфраструктури та значних інвестицій у її модернізацію. За даними IEA (2023), світові інвестиції в оновлення електромереж перевищили 300 млрд дол. США, що відображає необхідність постійного розвитку інфраструктури для стабільного електропостачання (Рисунок 4.2).

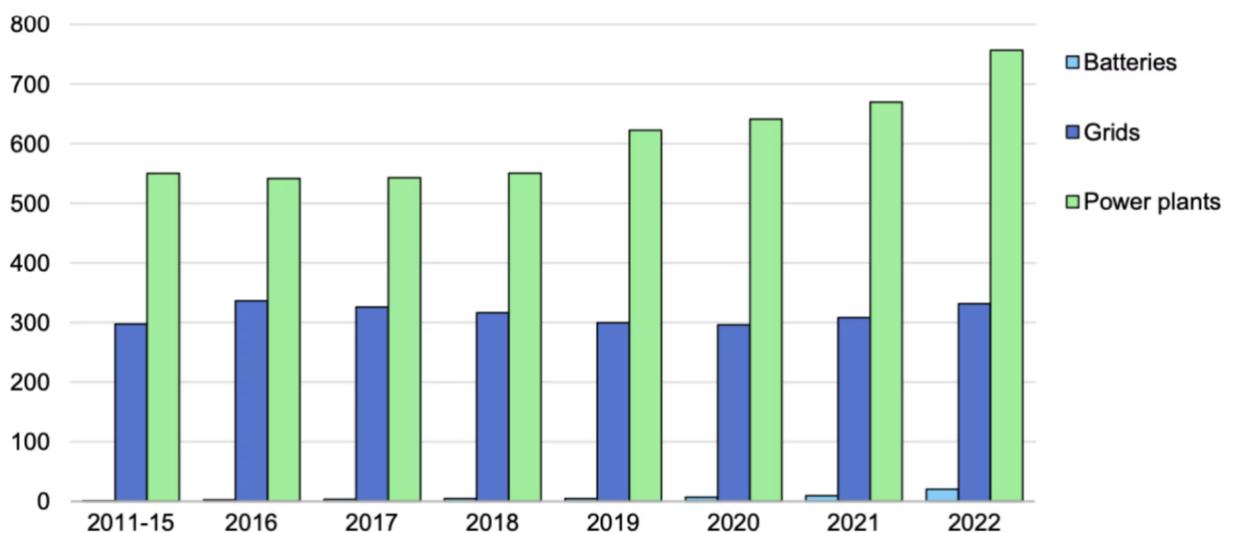


Рисунок 4.2. Світові інвестиції в енергетичну інфраструктуру за компонентами, 2011–2022 рр.

Джерело: <https://www.bestmag.co.uk/iea-world-electricity-grids-must-be-modernised-battery-storage-an-alternative/>

На рисунку 4.2 подано динаміку світових інвестицій у три ключові напрями розвитку енергетичної інфраструктури: батареї (energy storage), електричні мережі (grids) та генеруючі потужності (power plants) у 2011–2022 рр. Дані демонструють суттєву різницю у масштабах фінансування між сегментами, а також напрями структурних змін у глобальних енергетичних інвестиціях. Протягом усього періоду найбільші обсяги капіталовкладень припадають на будівництво та модернізацію генеруючих потужностей, інвестиції в які зросли з приблизно 550 млрд дол. США у 2011–2015 рр. до близько 780 млрд дол. США у 2022 р. Це відображає ключову роль генерації у забезпеченні глобального попиту на електроенергію та переході до низьковуглецевих технологій.

Інвестиції в електричні мережі впродовж 2011–2022 рр. залишалися відносно стабільними, коливаючись у межах 290–340 млрд дол. США на рік. Незважаючи на порівняно повільне зростання, цей сегмент є критично важливим для інтеграції ВДЕ, підвищення гнучкості системи та забезпечення енергетичної безпеки.

Найшвидше зростання демонструють інвестиції у батареї та системи накопичення енергії. Якщо у 2011–2015 рр. їх рівень був майже нульовим, то у 2022 р. обсяг інвестицій перевищив 20 млрд дол. США. Це свідчить про стрімке поширення технологій зберігання енергії як необхідного елемента сучасних енергосистем із високою часткою ВДЕ.

У цілому дані на рисунку 4.2 відображають тенденцію до поступового зростання інвестицій у гнучкість і декарбонізацію енергетики, що є ключовим чинником формування стійких та ефективних енергосистем.

Ще однією особливістю енергетичного ринку є *обмежена можливість накопичення електроенергії*, що ускладнює процес балансування попиту та пропозиції. Хоча розвиток систем накопичення (Battery Energy Storage Systems) прискорюється, їх глобальні потужності у 2023 році становили близько 28 ГВт (IRENA, 2023), що є незначним порівняно з потребами великих енергосистем (Рисунок 4.3).

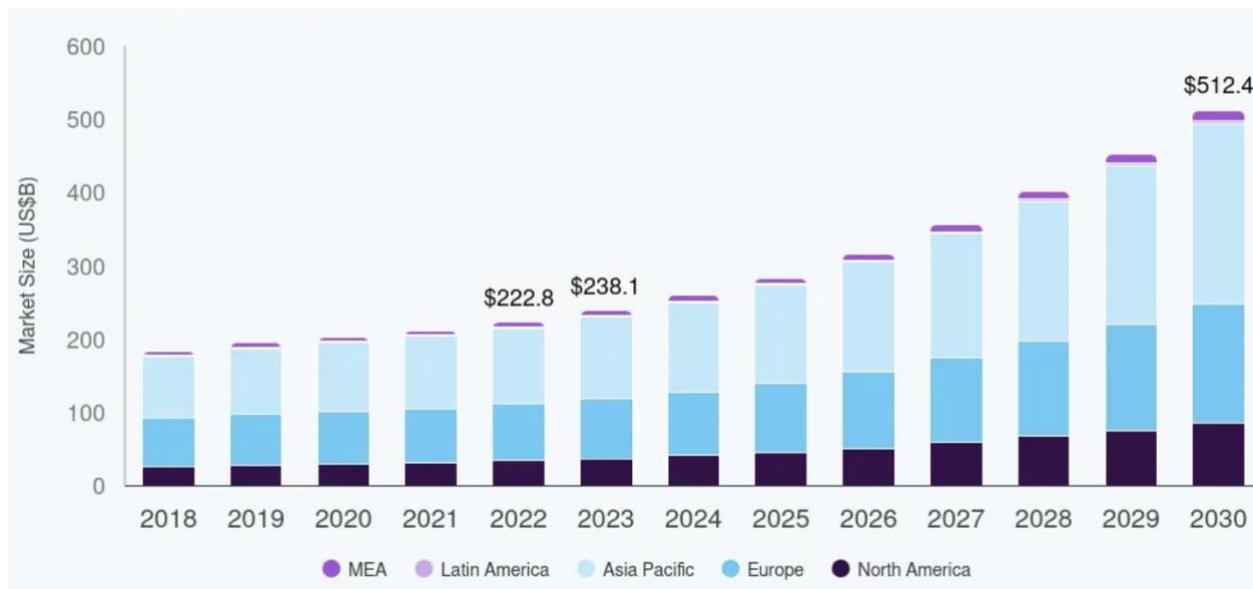


Рисунок 4.3. Ринок систем накопичення енергії, 2018–2022 рр.

Джерело: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/energy-storage-systems-market>

На графіку рисунку 4.3 зображено прогноз зростання світового ринку систем накопичення енергії (Battery Energy Storage Systems, BESS) у 2018–2030 рр. Розмір ринку подано у млрд дол. США з розподілом за регіонами: Північна Америка, Європа, Азійсько-Тихоокеанський регіон, Латинська Америка та Близький Схід і Африка (МЕА). З рисунка 4.3 видно, що після відносно помірною зростання у 2018–2022 рр., коли ринок коливався в межах 180–230 млрд дол., очікується різке прискорення. До 2030 року глобальний ринок BESS може досягти понад \$500 млрд, при цьому найбільший внесок робитиме Азійсько-Тихоокеанський регіон, Європа та Північна Америка.

Одночасно з цим, енергетика є висококапіталомісткою галуззю з довгими інвестиційними циклами: будівництво великих генеруючих об'єктів, таких як атомні електростанції, може тривати від 8 до 15 років із загальними витратами понад 5–10 млрд дол. США (IEA, 2022). Подібні характеристики визначають складність входу на ринок і високу вартість помилок в інвестиційних рішеннях.

У сукупності ці чинники формують специфічні умови ведення бізнесу в енергетичній галузі, впливають на поведінку учасників ринку та зумовлюють необхідність застосування адаптованих маркетингових стратегій, спрямованих на підвищення довіри, прозорості та ефективності взаємодії між виробниками, постачальниками та споживачами.

Сучасний енергетичний ринок зазнає глибоких структурних змін під впливом глобальних технологічних, економічних і соціальних трендів. Ці трансформації формують нові моделі виробництва, споживання та розподілу енергії, а також переорієнтовують стратегічні пріоритети енергетичних компаній і споживачів.

1. Декарбонізація та зелена трансформація. Прагнення країн досягти кліматичної нейтральності зумовлює швидкий розвиток відновлюваних джерел енергії, поступову відмову від викопного палива та інтеграцію низьковуглецевих технологій.

Приклади:

- ЄС планує скоротити викиди CO₂ на 55 % до 2030 року (Fit for 55), що стимулює розвиток «зеленої» генерації та електрифікації транспорту.

- У Китаї щороку вводиться понад 100 ГВт сонячних та вітрових потужностей, що формує найбільший у світі ринок ВДЕ.

2. Цифровізація енергетики. Широке впровадження цифрових технологій змінює принципи управління енергосистемами та підвищує їхню ефективність.

Приклади:

- Smart meters дають змогу споживачам контролювати власне споживання та реагувати на зміну тарифів у реальному часі (Італія, Велика Британія та Україна реалізують національні програми смарт-обліку).

- Smart grids забезпечують автоматизоване балансування мережі, зменшення втрат і швидке реагування на аварії.

- Digital twins (цифрові двійники) використовують провідні енергокомпанії, зокрема, Siemens та General Electric, для прогнозування навантажень та оптимізації роботи обладнання.

3. Поява нових бізнес-моделей. Енергетичний ринок переходить від централізованої моделі до більш гнучких, клієнтоорієнтованих підходів.

Приклади:

- Prosumers (одночасно виробники й споживачі енергії): домогосподарства з власними сонячними панелями продають надлишки в мережу. Дана модель широко застосовується у Німеччині, США та Польщі.

- Peer-to-peer energy trading: обмін енергією між домогосподарствами на основі блокчейну (пілотні проєкти в Австралії, Нідерландах, Японії).

- Energy-as-a-Service (EaaS): споживач отримує не енергію, а «функцію» (освітлення, теплопостачання) за передплатою. Такий підхід застосовують Schneider Electric і Philips.

4. Роль ВДЕ та розподіленої генерації. Децентралізована генерація зменшує залежність від великих електростанцій і підвищує стійкість енергосистем.

Приклади:

- У Данії понад 50 % електроенергії виробляється вітровими станціями, значна частина у локальних кооперативах.

- У США активно розвиваються мікромережі для університетів, лікарень та промислових об'єктів (наприклад, мікромережа університету Сан-Дієго).

- Розподілена сонячна генерація (Distributed PV) - одна з найшвидших технологій, що зростає у світі. У 2023 році було встановлено понад 118 ГВт дахових сонячних станцій.

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

5. Зміна енергетичної поведінки споживачів. Споживачі стають активними учасниками енергоринку та прагнуть автономності, енергоефективності й екологічності.

Приклади:

- Попит на домашні системи накопичення енергії у Європі зріс утричі за 2021-2023 рр. (особливо у Німеччині та Італії).

- У 2023 році частка електромобілів на ринку ЄС перевищила 20 %, що стимулює попит на зарядну інфраструктуру.

- Зростання популярності енергоефективних будівель класу А+ (реалізація програм green building у США, Канаді, країнах ЄС).

Енергетичний ринок функціонує як багаторівнева система, у якій взаємодіють різні групи учасників з відмінними економічними, технологічними та соціальними інтересами. Кожна група відіграє власну роль у формуванні конкурентного середовища, визначає динаміку попиту й пропозиції, а також впливає на регуляторну політику та розвиток інновацій. Для комплексного аналізу ринку та побудови ефективних маркетингових стратегій важливо розуміти інтереси всіх ключових стейкхолдерів. Узагальнена характеристика цих учасників подана в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Ключові учасники енергетичного ринку та їхні інтереси

Учасник	Основні інтереси
Виробники електроенергії (генерація)	<ul style="list-style-type: none"> - Максимізація виробництва та продажу електроенергії - Стабільні прибутки і тарифи - Інвестиції у модернізацію та нові технології - Участь у довгострокових механізмах підтримки (PPA, аукціони ВДЕ)
Оператори систем передачі та розподілу (TSO/DSO)	<ul style="list-style-type: none"> - Підтримання балансу та стійкості енергосистеми - Мінімізація втрат у мережах - Інвестиції у smart grids і цифровізацію - Забезпечення недискримінаційного доступу до мережі
Трейдери та постачальники	<ul style="list-style-type: none"> - Формування конкурентних тарифів - Управління портфелем закупівель - Зниження комерційних ризиків - Розвиток додаткових енергосервісів
Домогосподарства та бізнес (споживачі)	<ul style="list-style-type: none"> - Надійне та безперебійне енергопостачання - Прогнозовані та доступні тарифи - Енергоефективність і зниження витрат - Можливість генерувати власну енергію
Громади та муніципалітети	<ul style="list-style-type: none"> - Енергетична автономність і стійкість - Розвиток ВДЕ та локальних мікромереж - Зниження витрат для населення - Залучення грантів і міжнародної підтримки
Регулятори та державні органи	<ul style="list-style-type: none"> - Забезпечення конкуренції та стабільності ринку - Захист споживачів - Формування тарифної та інвестиційної політики - Виконання міжнародних зобов'язань у сфері енергетики
Інвестори та фінансові установи (EBRD, IFC тощо)	<ul style="list-style-type: none"> - Вкладання коштів у економічно ефективні проекти - Зниження регуляторних і політичних ризиків - Інвестування в "зелені" проекти та ESG-ініціативи - Отримання прогнозованого доходу

Джерело: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023?utm>

Маркетинг в енергетиці істотно відрізняється від маркетингу у традиційних галузях через особливості продукту, структуру ринку, поведінку споживачів і високу регульованість сектору. Електроенергія та інші енергоресурси є базовими ресурсами життєдіяльності, а тому ринок енергетики формує унікальні умови для просування, ціноутворення та взаємодії зі споживачами.

Особливості формування маркетингових стратегій визначається наступними чинниками.

1. *Специфічні властивості енергетичного продукту.* Енергія є нематеріальним, високотехнологічним та життєво необхідним продуктом, що визначає підхід до її маркетингу. До електроенергії неможливо “доторкнутися”, її не можна зберігати у великих масштабах без спеціальних систем накопичення, а споживання відбувається одночасно з виробництвом. Це формує особливий характер комунікації з клієнтами та вимагає високої довіри до оператора чи постачальника.

2. *Особливості ціноутворення.* Ціна на енергоресурси залежить не від маркетингової політики компанії, а від ринкових умов (біржова ціна електроенергії), тарифів, затверджених регулятором, державної політики (субсидії, пільги, спеціальні механізми підтримки). Це обмежує можливість використання класичних цінкових стратегій маркетингу і зміщує акцент на сервіс, інновації та енергоефективність.

3. *Специфічний канал збуту.* Канал постачання електроенергії є мережевим: виробники та постачальники не можуть обирати, як доставити продукт, доставка відбувається виключно через мережі передачі та розподілу. Це визначає неможливість диференціювати канал збуту, залежність від технічної якості інфраструктури, потребу у координації з операторами системи.

4. *Обмежена конкуренція.* Через наявність природних монополій, регулювання та складність інфраструктури конкуренція є неповною або відсутня в деяких сегментах. Реальна конкуренція за споживача з'являється лише після лібералізації ринку, демонополізації постачання, впровадження біржових механізмів та вільного вибору постачальника. У таких умовах маркетинг зміщується від боротьби за частку ринку до підвищення сервісності й довіри споживача.

5. *Високе значення довіри і репутації.* Енергетика є критично важливою галуззю, де збій постачання спричиняє соціально значущі наслідки, споживачі не бачать самого продукту, а сприймають лише якість послуги, а інформаційна асиметрія між компанією і клієнтом дуже висока. Тому репутація, прозорість, чесність комунікацій та дотримання стандартів якості є ключовими елементами маркетингу.

6. *Поведінкові особливості споживачів.* Поведінка споживачів у сфері енергетики формується під впливом факторів:

- низької енергетичної грамотності (не всі розуміють принципи ринку, тарифи, балансування),
- інформаційної асиметрії (постачальник знає значно більше, ніж споживач),
- низької залученості до вибору постачальника (у багатьох країнах частина споживачів не змінює постачальника десятиліттями),
- звички сприймати електроенергію як соціальне благо, а не ринковий продукт.

Це вимагає від компаній енергетичного сектору застосування освітніх кампаній, програм прозорої комунікації та підвищення клієнтського досвіду.

У новій енергетичній реальності, що формується під впливом декарбонізації, цифровізації, розвитку відновлюваних джерел та зміни поведінки споживачів, роль маркетингу в енергетичній галузі значно зростає.

Маркетинг не обмежується просуванням послуг постачання електроенергії, він перетворюється на стратегічний інструмент управління взаєминами зі споживачами, формування довіри та підвищення енергетичної грамотності населення. Умови швидких технологічних змін вимагають від компаній активної комунікації щодо нових сервісів (smart-тарифи, домашні системи накопичення, можливості prosumer-моделі), прозорого

пояснення принципів роботи лібералізованого ринку та демонстрації своєї стійкості й надійності. Саме маркетинг допомагає адаптувати споживачів до нових моделей енергоспоживання, зміцнює репутацію компаній та забезпечує їхню конкурентоспроможність у динамічному енергетичному середовищі.

4.2. Поведінка споживачів енергетичних послуг і ключові чинники попиту

Поведінка споживачів на енергетичному ринку визначається поєднанням економічних, технологічних, соціальних та регуляторних чинників, які впливають на обсяг споживання, структуру попиту й готовність переходити до більш енергоефективних рішень. На відміну від класичних споживчих ринків, енергетичний попит є відносно нееластичним, оскільки електроенергія та тепло є товарами першої необхідності. Разом з тим, у сучасних умовах цифровізації, лібералізації та зеленої трансформації поведінка споживачів стрімко змінюється.

1. Економічні чинники попиту на енергетичні ресурси.

1.1. Ціни на енергію та тарифна політика. Рівень тарифів безпосередньо впливає на рішення споживачів щодо зменшення споживання, встановлення енергоощадних приладів або інвестицій у власну генерацію. У короткостроковій перспективі еластичність попиту є низькою, проте у довгостроковій споживачі здатні значно скоригувати свою поведінку.

У 2022–2023 рр. у Європейському Союзі різке зростання цін на газ спричинило зниження його споживання на 13 %, що стало найбільшим падінням за останні десятиліття (Рисунок 4.4. Eurostat, 2023).

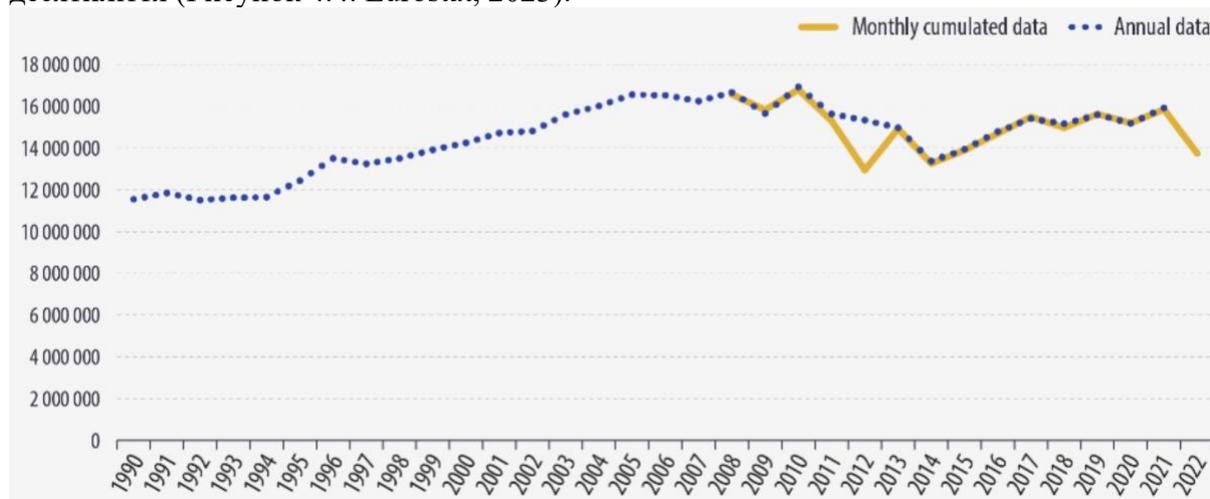


Рисунок 4.4. Динаміка внутрішнього попиту на природний газ в ЄС, 1990–2022 рр. (у тераджоулях, бруто-калорійність)

Джерело: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230504-2?utm>

Графік на Рисунку 4.4 відображає довгострокову динаміку внутрішнього попиту на природний газ у Європейському Союзі у 1990–2022 рр. Упродовж 1990–2005 рр. спостерігалось поступове зростання споживання, що досягло пікових значень у середньостроковій перспективі (понад 15 млн ТДж). Після фінансової кризи 2008 р. попит зазнав коливань, а починаючи з 2010-х років спостерігається помірне спадання. Найбільш різке скорочення відбулося у 2022 р., коли через енергетичну кризу та значне зростання цін споживання газу впало до одного з найнижчих рівнів за три десятиліття. Графік демонструє як річні дані, так і поквартально агреговані дані, що підтверджують загальну тенденцію зменшення залежності ЄС від природного газу.

1.2. Рівень доходів населення та бізнесу. Попит домогосподарств із нижчими доходами є більш чутливим до зміни цін, тоді як бізнес-споживачі частіше шукають шляхи оптимізації або переходу на альтернативні джерела енергії.

За даними IEA (2023), у країнах із низькими доходами домогосподарства витрачають 10–15 % місячного бюджету на енергоресурси, тоді як у країнах ОЕСР лише 2–4 %.

Згідно рисунку 4.5 розмір рахунків за енергію та обсяг заощаджень домогосподарств змінюються залежно від рівня доходу у розвинених економіках. Основна частина витрат припадає на базові енергетичні потреби, які зростають разом із доходом. Світло-блакитні сегменти відображають економію від підвищення енергоефективності після 2000 року.

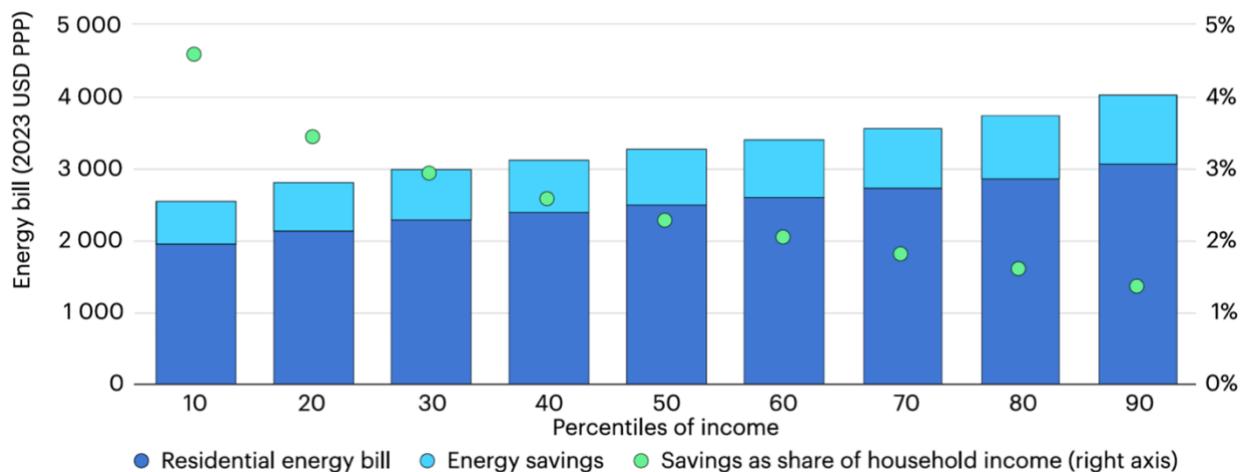


Рисунок 4.5. Заощадження на енергії та частка в доході за децилями доходів
Джерело: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-household-expenditure-on-residential-energy-and-transport-fuels-by-income-decile-in-advanced-economies-2019-2023>

Зелена лінія показує частку заощаджень у доході: для домогосподарств із нижчим доходом вона становить до 4–5 %, тоді як у забезпечених домогосподарств падає до близько 1 %. Це свідчить, що ефекти енергоефективності є відносно значущішими для малозабезпечених груп населення, оскільки вони витрачають більшу частку своїх доходів на енергоресурси.

2. Технологічні чинники попиту.

2.1. Рівень енергоефективності та доступність інновацій. Поширення енергоощадних технологій, розумних лічильників і домашніх систем енергоменеджменту дає змогу споживачам контролювати обсяги споживання та знижувати витрати. У Великобританії після встановлення smart meters домогосподарства скоротили споживання електроенергії на 3–5 % (Ofgem, 2023). На рисунку 4.6 представлена динаміка розвитку розумних лічильників у Європі.

Рисунок 4.6 ілюструє прогнозовану динаміку ринку розумних лічильників у Європі на період 2025–2030 рр. Згідно з даними компанії *Mordor Intelligence*, очікується суттєве зростання ринку: з 7,72 млрд дол. США у 2025 р. до 12,96 млрд дол. США у 2030 р. Це відповідає середньорічному темпу зростання (CAGR) у 10,9 %, що свідчить про активну модернізацію енергетичної інфраструктури, посилення регуляторних вимог та розширення цифрових технологій у сфері обліку енергії.

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

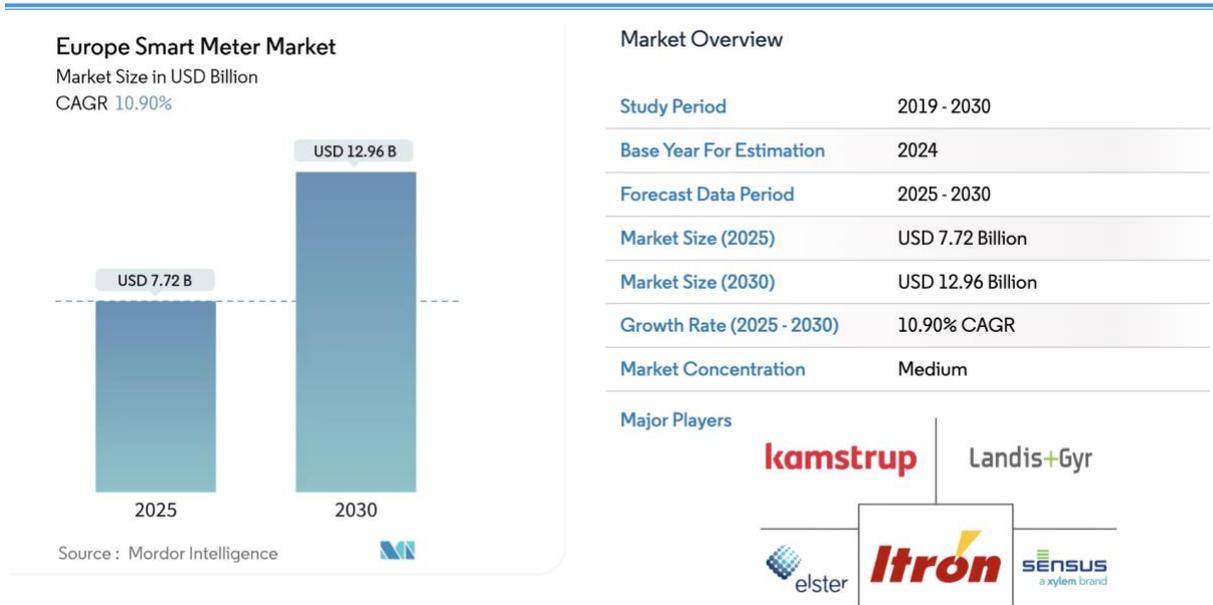


Рисунок 4.6. Динаміка ринку розумних лічильників у Європі: обсяги та ключові характеристики, 2025–2030 рр.

Джерело: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-smart-meter-market>

Серед провідних компаній, що формують структуру європейського ринку смарт-лічильників, виділено Kamstrup (Данія), Landis+Gyr (Швейцарія), Itron (США), Elster (США) та Sensus (Німеччина). Їх діяльність охоплює виробництво інтелектуальних лічильників, цифрових рішень для енергоменеджменту та інфраструктурних платформ для збору і аналізу даних. В таблиці 4.2 представлено глобальні тенденції та інсайти ринку розумних лічильників.

Таблиця 4.2. Аналіз впливу драйверів ринку

Драйвер	Орієнтовний вплив на CAGR	Географічна релевантність	Часовий горизонт впливу
Державні мандати та регуляторний тиск	+2.1%	Глобальний рівень, Австралія, Південна Америка, ЄС	Середньостроковий (2–4 роки)
Зростання інвестицій у модернізацію мереж	+1.8%	Південна Америка, ЄС, Азійсько-Тихоокеанський регіон	Довгостроковий (≥4 років)
Підвищення ефективності та скорочення втрат	+1.5%	Глобальний рівень. Ринки, що розвиваються	Короткостроковий (≤2 років)
Розвиток інфраструктури smart-city та IoT	+1.2%	Азійсько-Тихоокеанський регіон, Близький Схід	Середньостроковий (2–4 роки)
Потреба у вуглецевому обліку та ESG-відповідності	+0.9%	Південна Америка, ЄС	Довгостроковий (≥4 років)
Edge-AI аналітика та нові сервіси	+0.7%	Південна Америка, вибіркові ринки Азійсько-Тихоокеанського регіону	Довгостроковий (≥4 років)

Джерело: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-smart-meter-market>

2.2. *Розвиток розподіленої генерації.* Запровадження сонячних панелей на дахах, мікровітрових станцій та домашніх накопичувачів перетворює споживачів на прос'юмерів, які не лише споживають, а й виробляють енергію.

Просюмер (prosumer) - це споживач, який одночасно є виробником енергії. Термін утворений від англ. producer (виробник) + consumer (споживач).

У контексті енергетики просюмер:

- встановлює сонячні панелі, вітрогенератори чи інші малі установки;
- виробляє електроенергію для власних потреб;
- передає надлишки в мережу та отримує компенсацію;
- бере участь у локальних енергетичних спільнотах та моделях peer-to-peer energy trading.

У Німеччині кількість установок rooftop PV перевищила 2 млн, забезпечуючи понад чверть всієї сонячної генерації країни.

3. Соціальні та поведінкові чинники.

3.1. Енергетична грамотність та поінформованість.

Рівень енергетичної обізнаності споживачів є визначальним чинником, що впливає на їхню здатність приймати раціональні та економічно обґрунтовані рішення щодо енергоспоживання. Споживач, який розуміє принципи формування тарифів, особливості роботи енергетичного обладнання та структуру власного споживання, здатний більш усвідомлено обирати тарифні плани, порівнювати їхню вигідність та адаптувати поведінку до змін на ринку. Це забезпечує не лише зниження витрат, а й підвищення гнучкості домогосподарств у відповідь на коливання цін та політичні чи економічні зміни в енергетичному секторі.

Крім того, поінформовані споживачі частіше інвестують у енергоефективні рішення, сучасні побутові прилади, системи управління енергоспоживанням, утеплення житла чи встановлення відновлюваних джерел енергії. Розуміння потенційних фінансових та екологічних вигод стимулює їх до модернізації домогосподарств та скорочення енергетичних витрат у довгостроковій перспективі.

Таким чином, енергетична грамотність сприяє формуванню більш стійкої моделі споживання та є важливою умовою успішного переходу до енергоефективної економіки та активної участі громадян у трансформації енергетичного ринку.

За дослідженням Deloitte (2022), лише 37 % опитаних правильно визначають найбільш енерговитратний прилад у своїй оселі.

У дослідженні «Energy-related financial literacy and electricity use in Finnish households» було виявлено, що лише близько 30 % домогосподарств змогли правильно відповісти на питання про вартість споживання електроенергії певним приладом (Kalmi et al., 2021).

Згідно з опитуванням Economist Impact «Empowering energy consumers» (2025), 75% опитаних не впевнені, скільки коштує щоденне використання великого електроприладу, а 22 % вважають, що можуть оцінити річні витрати (Cost cutter, 2024).

Попри глобальні тенденції до зростання енергетичної грамотності, в Україні рівень обізнаності споживачів щодо ефективного використання енергії залишається недостатнім. Це зумовлено як тривалим субсидуванням тарифів, так і обмеженим доступом до сучасних технологій енергоменеджменту та інформаційних ресурсів. Ситуацію ускладнюють наслідки війни, що підвищили вразливість домогосподарств і загострили проблему енергетичної бідності. Аналіз вітчизняних статистичних даних засвідчує, що значна частина населення стикається з труднощами забезпечення базових енергетичних потреб, що безпосередньо впливає на моделі поведінки споживачів та їхню здатність приймати раціональні рішення.

Згідно з аналітикою Національного інституту стратегічних досліджень, 17,2 % домогосподарств в Україні не мали достатньо коштів для забезпечення прийнятної

температури в житлі (Актуалізація, 2023). В свою чергу, дані Державної служби статистики України не містять явного показника рівня енергетичної грамотності споживачів, однак свідчать, що значна частина домогосподарств має обмежені ресурси на оплату житлово-комунальних послуг.

3.2. Ставлення до екологічної сталості.

Екологічні цінності дедалі більше впливають на рішення споживачів, особливо серед молоді та бізнес-організацій, що прагнуть відповідати стандартам ESG.

Екологічні цінності - це система переконань, норм і пріоритетів, що визначають ставлення людини, спільноти чи організації до природного середовища та регулюють поведінку, спрямовану на його збереження, раціональне використання й відновлення. Вони відображають усвідомлення цінності природи як обмеженого ресурсу, відповідальність за наслідки людської діяльності та прагнення до забезпечення екологічної рівноваги й сталого розвитку.

Екологічні цінності формують основу *екологічно відповідальної поведінки* - енергозбереження, сортування відходів, вибору “зелених” товарів і технологій, підтримки екологічних ініціатив, а також впливають на стратегічні рішення підприємств та державну політику.

Екологічні цінності охоплюють декілька рівнів:

- когнітивний (знання): усвідомлення наслідків деградації довкілля, ресурсних обмежень, переваг “зелених” практик.

- емоційний (ставлення): готовність підтримувати природоохоронні ініціативи, емпатія до екологічних проблем.

- поведенковий (дії): енергозбереження, вибір екологічно безпечних товарів, відповідальне споживання, підтримка ВДЕ.

Аналітична компанія McKinsey повідомляє, що 60 % європейських споживачів готові платити вищу ціну за «зелену електроенергію», якщо її походження підтвержене.

4. Регуляторні чинники.

4.1. Політика лібералізації та конкуренція на ринку.

Лібералізація енергетичних ринків є одним із ключових інституційних чинників, що впливають на поведінку споживачів та структуру попиту на енергоресурси. Вона передбачає поступове зменшення монопольного впливу держави чи домінуючих компаній, упровадження ринкових механізмів ціноутворення та створення умов для конкуренції між постачальниками. У результаті споживачі отримують можливість обирати постачальника, тарифну модель і набір додаткових сервісів, що стимулює підвищення якості послуг і зростання ефективності енергетичної системи.

Досвід Європейського Союзу демонструє, що відкриття ринку створює потужні стимули для оптимізації споживання та впровадження енергоефективних рішень. Після завершення третього енергетичного пакета ЄС частка споживачів, які змінили постачальника електроенергії, зросла в середньому до 15–20 % на конкурентних сегментах ринку. Це підвищило цінову чутливість споживачів, сприяло активному порівнянню тарифів і збільшило попит на інструменти онлайн-моніторингу та «розумні» технології обліку.

У дослідженні ACER (2023) зазначено, що високий рівень конкуренції на оптових і роздрібних ринках енергоресурсів зменшує регіональні диспропорції в цінах та стимулює інновації серед постачальників. Компанії пропонують диференційовані продукти: зелені тарифи, пакети з фіксованою ціною, тарифи зі змінною ставкою залежно від години доби, комплексні енергосервісні рішення тощо. Це формує новий тип попиту - більш гнучкий, раціональний та орієнтований на енергетичну ефективність.

Для країн, що проходять шлях трансформації енергетичного сектору, включно з Україною, лібералізація ринку створює можливості для посилення конкуренції, але одночасно вимагає високого рівня прозорості, ефективного регулювання та захисту вразливих споживачів. Сформований конкурентний ринок сприяє підвищенню

енергетичної грамотності населення, розширює доступ до сучасних технологій енергоменеджменту та стимулює сталий попит на енергоресурси.

У Польщі кількість активних постачальників електроенергії після лібералізації ринку збільшилася вчетверо (URE, 2023)

4.2. Державні програми енергомодернізації.

Субсидії, грантові програми та податкові стимули відіграють ключову роль у прискоренні інвестицій у відновлювану енергетику та енергоефективність, особливо в умовах високої вартості початкових капітальних вкладень. Такі інструменти зменшують фінансові ризики для домогосподарств і бізнесу, роблять «зелені» технології доступнішими та підвищують економічну привабливість переходу на стійкі енергетичні рішення.

Зниження фінансового навантаження на домогосподарства та бізнес стимулює встановлення сонячних панелей, теплових насосів, систем накопичення енергії чи модернізація будівель потребують значних початкових витрат. Субсидії та часткове відшкодування вартості допомагають компенсувати 20–70 % капітальних витрат, що робить інвестиції швидше окупними. Наприклад, у країнах ЄС програми “Solar Homes” або “Heat Pump Support Schemes” знижують середній строк окупності обладнання з 10–12 до 5–7 років.

Грантові програми зазвичай спрямовані на підтримку нових технологічних рішень таких як, сонячні дахи, мікромережи, смарт-лічильники, енергоефективна модернізація будівель. Завдяки грантам підприємства та громади можуть впроваджувати нові технології без залучення дорогих кредитів, що особливо важливо для малого та середнього бізнесу.

Програма Horizon Europe фінансує проекти з декарбонізації та енергоефективності, де гранти покривають до 100 % вартості досліджень і до 70 % вартості інноваційних рішень.

Податкові стимули як довгостроковий механізм підтримки зменшують вартість володіння обладнанням у довгостроковій перспективі. Вони можуть включати податкові кредити на інвестиції у ВДЕ, прискорену амортизацію енергоефективного обладнання, зниження ПДВ на теплонасоси, сонячні панелі чи утеплення будівель. Наприклад, у США податковий кредит (Investment Tax Credit) покриває до 30 % вартості сонячних систем, що стало одним із найважливіших драйверів розвитку домашньої та комерційної сонячної енергетики.

Для вразливих споживачів *субсидії та гранти* допомагають не лише зменшити витрати на енергію, а й підвищити енергоефективність їхніх домогосподарств. Інвестиції в утеплення чи нові системи опалення можуть зменшити витрати на енергію на 20–40 %, знижуючи ризики енергетичної бідності.

Стимули підтримують не лише споживачів, а й розвиток ринку: створення робочих місць, зростання виробництва обладнання, збільшення кількості підприємств-інсталяторів, формування локальних ланцюгів доданої вартості. Так, Українська програма «Енергодім» забезпечила фінансування понад 4500 проектів модернізації багатоквартирних будинків (Державне, 2023).

5. Психологічні чинники

5.1. Сприйняття ризиків та прагнення автономності

Сприйняття енергетичних ризиків охоплює кілька вимірів: ризик фінансових втрат через зростання тарифів, ризик перебоїв або відключень, ризик нестачі ресурсів у кризових періодах.

Наприклад, за даними Європейської комісії (2023), понад 60 % домогосподарств ЄС заявили, що під час енергетичної кризи 2022 року відчували загрозу економічній стабільності через збільшення витрат на енергоносії. Подібні тенденції були зафіксовані і в Україні: результати соціологічних опитувань 2023 року демонструють, що понад 70

% населення прагнули мати резервні джерела живлення або альтернативні системи обігріву.

У таких умовах формується зростаючий запит на автономність, як технологічну, так і економічну. До найбільш поширених способів підвищення енергетичної незалежності належать: встановлення сонячних панелей для власного споживання, використання систем накопичення енергії (домашні батареї), облаштування резервних генераторів, впровадження енергоощадних систем та «розумних» технологій управління енергоспоживанням. Розвиток моделі **prosumer** (одночасно виробник і споживач) також сприяє тому, що споживачі прагнуть генерувати частину енергії самостійно та зменшувати витрати.

Важливим чинником є психологічний аспект. Для багатьох споживачів автономність асоціюється зі свободою вибору, контролем над власними витратами та мінімізацією зовнішніх загроз. У періоди воєнних чи економічних криз ця тенденція тільки посилюється: домогосподарства та бізнеси розглядають інвестиції в автономні системи як спосіб підвищити власну стійкість та забезпечити безперервність діяльності.

За даними Державної служби статистики, під час зимових відключень 2022–2023 рр. попит на генератори зріс у 20 разів, на акумулятори у 15 раз.

Загалом зростання прагнення до автономності стимулює розвиток нових ринкових сегментів, від побутових сонячних станцій до домашніх акумуляторних систем, смарт-енергоменеджменту та мікромереж. Це суттєво впливає на попит і трансформує енергетичну поведінку споживачів, формуючи нову модель енергоспоживання, зорієнтовану на ефективність, контроль та стійкість.

Поведінка споживачів на ринку енергетичних послуг формується під впливом багатофакторного середовища, у якому поєднуються економічні стимули, технологічні можливості, соціальні цінності, регуляторні рамки та психологічні установки. Зростання ролі цифровізації, розподіленої генерації, інноваційних тарифних моделей та екологічної свідомості сприяє появі нових типів споживачів - активних, поінформованих і залучених. Аналіз чинників попиту є необхідним для розроблення ефективних стратегій розвитку ринку, удосконалення державної політики та формування сучасних інструментів енергетичного маркетингу.

4.3. Зелений маркетинг та екологічно орієнтовані комунікації

У сфері енергетики зелений маркетинг має більш комплексний та стратегічний характер порівняно з іншими секторами, оскільки стосується критично важливої продукції та охоплює довгострокові інфраструктурні рішення. Його *ключова мета* - формування довіри до екологічно чистої енергії, стимулювання участі споживачів у зеленому переході та підтримка сталого іміджу енергетичних компаній.

Основні риси зеленого маркетингу в енергетиці:

- орієнтація на зниження вуглецевого сліду та просування ВДЕ (сонячної, вітрової, біоенергетики);
- акцент на енергоефективності та енергозбереженні як продукті/послугі;
- тісний зв'язок з державними політиками (Зелений курс ЄС, Fit for 55, Energy Efficiency Directive тощо);
- складність продукту (електроенергія, тепло, послуги балансування, «зелений» тариф, енергоефективні рішення).

Зелений продукт у сфері енергетики стає ключовим елементом формування конкурентних переваг, адже поєднує екологічність, інноваційність і високий рівень енергоефективності. Зростання попиту на чисту енергію, поширення просюмерських моделей та посилення екологічних стандартів стимулюють енергетичні компанії розширювати лінійку зелених рішень. У цьому підрозділі розглядаються основні види зелених продуктів і їхня роль у трансформації сучасного енергетичного ринку.

Зелений продукт у сфері енергетики - це не лише електроенергія з ВДЕ, а цілий комплекс рішень, що знижують вуглецевий слід та дозволяють споживачам долучатися до зеленої трансформації.

Види зелених продуктів у сфері енергетики:

1) Електроенергія з відновлюваних джерел. Компанії пропонують електроенергію, вироблену з вітру, сонця, біомаси чи гідроресурсів. Для підтвердження екологічності можуть використовуватись гарантії походження (Guarantees of Origin, GoO) в ЄС, I-REC у країнах, що не входять до ЄС, Green Tariff Certificates для бізнесу.

Як приклад, у Німеччині компанія *E.ON* пропонує тарифи *E.ON ÖkoStrom*, які повністю покриваються гарантіями походження з вітрових електростанцій.

2) Послуги з енергоаудиту, енергоефективності та smart energy management. Ці послуги допомагають споживачам зменшити енергоспоживання й оптимізувати витрати. Серед них:

- проведення енергоаудиту будівель і підприємств;
- впровадження систем «розумного будинку»;
- автоматизація освітлення, вентиляції, опалення;
- контроль пікових навантажень через системи енергоменеджменту.

Наприклад, компанія *Siemens Energy* пропонує цифрові платформи для розподілу навантажень у промисловості. В Україні програма ЕНЕРГОДІМ (Фонд енергоефективності) фінансує модернізацію ОСББ.

3) Домашні PV-станції, системи накопичення (BESS), теплові насоси. Це продукти, які трансформують споживача в просюмера, того, хто одночасно споживає і виробляє енергію.

Компанія *Тесла* розробила *Tesla Powerwall*, домашню батарею для оптимізації споживання та аварійного резерву. Українські компанії (ІБК Атмосфера, *KNESS*) пропонують «домашні сонячні станції під ключ».

4) Рішення для бізнесу “під ключ” (комбінація фотоелектричних систем (PV), систем зберігання енергії (BESS) та систем управління енергоспоживанням (EMS))

Корпоративні клієнти дедалі частіше замовляють комплексні енергетичні рішення:

- сонячна станція на даху або землі;
- система накопичення енергії;
- система енергоменеджменту (EMS) для оптимізації споживання.

Як приклад, *Amazon* і *Google* інвестують у корпоративні сонячні парки для зниження вуглецевого сліду та стабілізації цін.

У сучасних енергетичних системах екологічно орієнтовані комунікації відіграють ключову роль у формуванні довіри споживачів, інвесторів і громадськості до діяльності енергетичних компаній. Вони допомагають пояснити переваги відновлюваної енергетики, підвищити прозорість, а також залучити населення до енергоощадної поведінки та просюмерських моделей.

Основні напрямки екологічних комунікацій.

1) Інформування про джерело енергії та екологічний вплив.

Енергетичні компанії активно публікують інформацію щодо частки відновлюваних джерел у власному енергобалансі, показники викидів CO₂ та екологічні переваги своїх продуктів.

У ЄС постачальники електроенергії зобов’язані щорічно публікувати “Energy Mix Disclosure”, де зазначається походження енергії й вуглецевий слід. В Україні компанія ДТЕК у своїх ESG-звітах наводить детальні дані щодо декарбонізації та планів досягнення Net Zero.

2) Пояснення переваг ВДЕ (стабільність, незалежність, економія).

Компанії пояснюють, що інвестиції у сонячну чи вітрову енергію забезпечують прогнозовану довгострокову ціну, знижену залежність від імпортних енергоносіїв, менший вплив на довкілля.

Так, німецька кампанія “Erneuerbare Energien sind Heimatenergie” демонструє роль ВДЕ у підвищенні енергетичної безпеки.

3) Просування енергоощадної поведінки (consumer engagement).

Комунікації компаній спрямовані на формування у споживачів звичок енергозбереження. Британська програма “Energy Saving Trust” запускає щорічні освітні кампанії, що мотивують громадян скорочувати споживання тепла й електроенергії. В Україні проект USAID “Енергетична безпека” проводив інформаційні кампанії з енергоощадності у 2022–2023 рр.

4) Комунікація екологічних програм та переходу до Net Zero

Компанії декларують стратегії скорочення викидів, інвестиції у ВДЕ та технології зберігання енергії. Iberdrola (Іспанія) у своїй кампанії “Cleaner Energy Future” демонструє інвестиції у вітрові та гідроелектростанції. Ørsted (Норвегія) активно комунікує перехід від компанії на газі до світового лідера у морській вітровій енергетиці.

Екологічно орієнтовані комунікації в енергетичній сфері повинні ґрунтуватися на прозорості, науковій достовірності та активному залученні споживачів. Дотримання цих принципів є запорукою довіри до енергетичних компаній, підвищення рівня енергетичної грамотності населення та забезпечення підтримки «зелених» трансформацій. Нижче розглядаються *ключові принципи*, які визначають якість та ефективність екологічних комунікацій.

1. Наукова обґрунтованість та верифікація даних.

Комунікації повинні спиратися на перевірені, науково обґрунтовані дані, що мінімізують ризики поширення неправдивої інформації та випадків «зеленого обману» (greenwashing). Для підтвердження екологічних заяв енергетичні компанії застосовують міжнародні стандарти, незалежні аудити та сертифікаційні механізми, зокрема:

- LCA (Life Cycle Assessment) – оцінка впливу продукту на довкілля протягом усього життєвого циклу;

- ISO 14064 – система верифікації та обліку парникових газів;

- I-REC та Guarantees of Origin (GoO) – сертифікати походження електроенергії з ВДЕ.

Такі інструменти забезпечують підтвердження екологічної цінності продуктів та зміцнюють довіру до компанії.

2. Прозорість щодо тарифів і екологічного ефекту.

Споживачі очікують доступної та зрозумілої інформації про те, за що вони платять, який вплив має обрана енергія на довкілля та як формуються тарифи. Тому ефективні комунікації повинні включати:

- пояснення структури тарифу;

- розкриття частки відновлюваних джерел у загальному енергетичному міксі;

- інформування про фактичний обсяг викидів CO₂, пов’язаний із виробництвом електроенергії.

З 2024 року Європейська комісія зобов’язала постачальників енергії в ЄС відображати показник “carbon footprint per kWh”, що підвищує прозорість та дозволяє споживачам робити більш усвідомлений вибір.

3. Орієнтація на залучення споживача.

Сучасні комунікаційні стратегії виходять за межі одностороннього інформування та спрямовані на активну участь споживачів у процесі енергоспоживання. Для цього застосовуються різноманітні інструменти:

- ігрові механіки (gamification) для мотивування до економії;

- персоналізовані рекомендації на основі даних smart meters;

- програми лояльності для домогосподарств, що скорочують споживання енергії;
- участь у програмах demand response, що дозволяють зменшувати пікові навантаження на мережу.

Показовим є приклад США, де платформа Google Nest Demand Response об'єднує мільйони користувачів, які добровільно знижують споживання в години пікового навантаження, отримуючи за це фінансові або бонусні стимули.

У сучасній енергетиці ефективні комунікації є ключовим чинником формування екологічної свідомості споживачів, підтримки інвестицій та зміцнення довіри до компаній. З огляду на зростання ролі ВДЕ, кліматичної політики та декарбонізаційних зобов'язань держав і бізнесу, компанії застосовують різні канали комунікації для інформування, залучення та просвітництва. Нижче наведені основні канали таких комунікацій, характерні для енергетичного сектору.

1. Корпоративні ESG-звіти та звіти зі сталого розвитку. Корпоративні звіти є найважливішим і найбільш формалізованим інструментом екологічної комунікації. Вони забезпечують інвесторів, партнерів і регуляторів перевіреною інформацією про:

- обсяг викидів парникових газів;
- структуру енергетичного міксу;
- реалізовані та заплановані проєкти у сфері ВДЕ;
- заходи з енергоефективності та сталого розвитку;
- соціальну та корпоративну політику компаній.

Компанія Enel (Італія) у своєму щорічному Sustainability Report звітує про прогрес у декарбонізації та розвитку smart grids. Компанія Shell (США) публікує “Energy Transition Progress Report”, де розкриває план переходу до низьковуглецевої діяльності. Компанія EDF (Франція) щорічно звітує про інвестиції в атомну та відновлювану енергетику та програми Net Zero. Компанія ДТЕК (Україна) у своїх ESG-звітах детально описує розвиток вітрових та сонячних електростанцій та заходи з кліматичної стійкості.

ESG-звіти часто проходять незалежний аудит, що підвищує їхню достовірність та рівень довіри.

2. Освітні кампанії для населення. Одним із головних викликів у галузі енергетики є низький рівень енергетичної грамотності населення. Освітні кампанії повинні бути спрямовані на:

- популяризацію енергоощадної поведінки;
- пояснення переваг ВДЕ;
- зниження інформаційної асиметрії;
- підвищення готовності споживачів до нових тарифних моделей та smart-рішень.

Як приклад, оприлюднений Єврокомісією «Save Energy Plan» (2022–2023), що стимулює громадян ЄС зменшувати споживання газу та електроенергії. В США U.S. Department of Energy публікує “Energy Saver”, який містить поради з енергоефективності та калькулятори економії. В Україні реалізується кампанія “Енергоефективність по-українськи”, спрямована на популяризацію утеплення будинків, енергозберігання та сучасних систем опалення.

Освітні кампанії підвищують довіру до енергетичних компаній та спрощують упровадження нових технологій, таких як smart meters або demand response.

3. Інтерактивні платформи та цифрові додатки. Цифровізація енергетики створює нові можливості для комунікації зі споживачами. Smart meters і цифрові платформи дозволяють:

- відстежувати споживання в реальному часі;
- порівнювати власне використання енергії з нормативами;
- отримувати персоналізовані рекомендації щодо економії;
- контролювати роботу власних ВДЕ-установок (PV, теплові насоси);
- брати участь у програмах demand response.

Компанія MyEnergy (Данія) реалізувала онлайн-платформу, яка демонструє споживання та викиди CO₂ і пропонує персоналізовані поради з економії. Компанія YASNO (Україна) розробила цифровий додаток, у якому користувачі можуть переглядати аналітику, історію споживання, бали енергоощадності. Компанія Octopus Energy (Велика Британія) пропонує інтерактивні системи, які використовують штучний інтелект для оптимізації споживання та тарифів. Такі платформи роблять споживача активним учасником енергетичного ринку.

4. PR-кампанії про інвестиції у ВДЕ та модернізацію мереж. PR-кампанії мають на меті підвищити підтримку суспільством інфраструктурних проєктів та продемонструвати внесок компаній у зелений перехід. Вони висвітлюють будівництво нових сонячних, вітрових або біоенергетичних станцій, модернізацію мереж, розвиток зарядної інфраструктури для електромобілів, цифровізацію енергетичних систем. Прикладами реалізації таких проєктів є:

- UK Power Networks (Велика Британія) реалізувала широку інформаційну кампанію щодо необхідності модернізації мереж для інтеграції ВДЕ та EV.

- Ørsted (Данія) активно комунікує про перехід від компанії на традиційних енергоносіях до світового лідера в офшорній вітровій енергетиці.

- Tesla Energy використовує PR-кампанії для просування домашніх батарей Powerwall і мегапроєктів із промисловим зберіганням енергії.

Такі кампанії формують позитивне ставлення суспільства до екологічної модернізації енергетики.

Екологічно орієнтовані комунікації стають невід'ємною складовою сучасної енергетичної стратегії, оскільки забезпечують необхідний рівень прозорості, підвищують довіру споживачів та сприяють формуванню позитивного іміджу енергетичних компаній у контексті зеленої трансформації. Аналіз основних напрямів і каналів екологічних комунікацій демонструє, що ефективна взаємодія зі споживачами передбачає не лише інформування про екологічні характеристики продуктів, а й активне залучення клієнтів до зміни власної енергетичної поведінки.

Корпоративні ESG-звіти забезпечують стратегічну прозорість і дозволяють інвесторам оцінювати екологічний прогрес компаній. Освітні кампанії сприяють підвищенню енергетичної грамотності та формуванню відповідального споживання ресурсів. Інтерактивні цифрові платформи перетворюють користувача на активного учасника енергетичної системи, а PR-кампанії підтримують суспільне розуміння важливості інвестицій у відновлювану енергетику та модернізацію інфраструктури.

Дотримання принципів наукової обґрунтованості, прозорості та залучення споживачів є критично важливим для уникнення грінвошингу та формування довготривалої довіри до компаній. Таким чином, екологічні комунікації не лише виконують інформаційну функцію, але й стають інструментом стратегічного розвитку та зміцнення конкурентних позицій енергетичних підприємств у період глобальних кліматичних і технологічних трансформацій.

Питання для обговорення

1. Які економічні чинники найбільше впливають на рішення споживачів щодо зменшення енергоспоживання? Чому попит на енергію залишається нееластичним у короткостроковому періоді?

2. Як зміни тарифної політики та цін на енергоносії впливають на поведінку домогосподарств? Чи є межа адаптації для різних груп населення?

3. Яким чином технологічні інновації (smart meters, домашні системи енергоменеджменту, BESS) змінюють роль споживача на ринку енергетики?

4. Чи можна вважати розвиток розподіленої генерації одним із ключових драйверів енергетичної автономності? Які бар'єри залишаються на цьому шляху?

5. Як рівень енергетичної грамотності впливає на поведінку споживачів? Чи достатньо в Україні інформаційних ресурсів для підвищення такого рівня?

6. Який вплив мають екологічні цінності та ESG-тренди на вибір споживачів у сфері енергетичних послуг? Чи готові українські споживачі платити дорожче за «зелену» енергію?

7. У чому полягає значення лібералізації енергетичного ринку для формування попиту? Чи є ризики надмірної комерціалізації у соціально важливій галузі?

8. Наскільки ефективними є державні стимули (субсидії, податкові пільги, грантові програми) у стимулюванні інвестицій у ВДЕ та енергоефективність? Які моделі працюють найкраще?

9. Як сприйняття ризиків (відключення, коливання тарифів, війна) впливає на поведінку домогосподарств та бізнесу? Чи формує це запит на довгострокову автономність?

10. Яким чином психологічні чинники (прагнення контролю, безпеки та незалежності) змінюють структуру попиту на енергетичні послуги? Чи є ці тенденції сталими чи тимчасовими?

Ситуаційні завдання

1. *Зростання тарифів і поведінка домогосподарств.* Упродовж останнього року тарифи на електроенергію в країні зросли на 28 %. Опитування показують, що лише 40 % домогосподарств змінили свою поведінку: почали вимикати техніку з розетки, контролювати споживання через мобільні додатки та користуватися нічним тарифом. Решта домогосподарств продовжує споживати енергію на тому ж рівні, попри зростання витрат.

Завдання: Поясніть, чому велика частка споживачів не реагує на зростання тарифів? Які економічні, психологічні та соціальні фактори визначають таку інертність? Запропонуйте 3 комунікаційні інструменти для зміни поведінки споживачів.

2. *Впровадження smart meters у громаді.* Громада встановила розумні лічильники у 700 домогосподарствах. Після першого місяця використання рівень споживання електроенергії знизився в середньому на 9 %, але частина мешканців висловила невдоволення, вони не розуміють графіки споживання та ігнорують push-сповіщення.

Завдання: Які бар'єри перешкоджають ефективному використанню smart meters? Які освітні або мотиваційні заходи слід запровадити для підвищення залученості? Розробіть коротке повідомлення для інформаційної кампанії громади.

3. *Перехід бізнесу до розподіленої генерації.* Середнє підприємство планує інвестувати у дахову сонячну електростанцію 150 кВт та систему накопичення енергії на 100 кВт·год, але керівництво вагається через високу вартість та довгий період окупності. Водночас компанія побоюється ризиків відключень та нестабільних тарифів.

Завдання: Проаналізуйте мотиваційні чинники, що впливають на рішення бізнесу щодо інвестицій у автономність. Які державні стимули (податкові пільги, гранти, компенсації) могли б змінити рішення компанії? Запропонуйте інформаційне повідомлення, яке енергетична компанія могла б використати для переконання клієнта.

4. *Екологічні цінності проти реальної поведінки.* Опитування свідчать, що 72 % українців підтримують ідею використання «зеленої» енергії, але лише 17 % готові платити за неї більше. Частина споживачів вказує на обмежені доходи, частина - на недовіру до заяв виробників.

Завдання: Поясніть розрив між задекларованими цінностями та реальною поведінкою. Які комунікаційні інструменти можуть зменшити недовіру до «зелених» продуктів? Запропонуйте механізми стимулювання переходу на «зелені» тарифи.

5. *Поведінка споживачів під час кризових ситуацій.* Унаслідок частих відключень електроенергії споживачі почали активно інвестувати в генератори, павербанки, автономні системи освітлення та малі сонячні панелі. Частина домогосподарств почала встановлювати міні-PV станції як резервне джерело енергії.

Завдання: Оцініть вплив кризових подій на коротко- та довгострокову поведінку споживачів. Які психологічні чинники формують попит на автономні рішення? Запропонуйте маркетингову стратегію для компанії, що просуває малі PV-рішення.

Глосарій

Розумні енергетичні мережі (smart grids) - інтелектуальні мережі, що поєднують цифрові технології, датчики, автоматизацію та аналітику для оптимізації виробництва, розподілу та споживання енергії.

Розумні лічильники (smart meters) - цифрові пристрої, що вимірюють споживання енергії в реальному часі та надають споживачу дані для управління витратами.

Просюмер (prosumer) - споживач, який одночасно виробляє енергію самостійно та може продавати надлишки назад у мережу.

Керування попитом (demand response) - система стимулів, що мотивує споживачів змінювати рівень споживання в пікові періоди для балансування енергосистеми.

Енергетична грамотність - рівень знань про принципи роботи енергоринку, тарифи, економію та ефективне використання енергоресурсів.

Екологічні цінності - мотиви та переконання, що визначають готовність споживачів підтримувати екологічні ініціативи та обирати «зелені» рішення.

Зелений маркетинг - стратегія просування продуктів і послуг із врахуванням їхнього позитивного впливу на довкілля.

ESG-звітність - система розкриття інформації компаніями щодо екологічних, соціальних та управлінських аспектів діяльності.

Лібералізація енергетичного ринку - процес відкриття ринку для конкуренції, що передбачає вільний вибір постачальника, ринкове ціноутворення та підвищення якості послуг.

Тестові завдання

1. Який чинник є ключовою особливістю енергетичного продукту?
 - A) Можливість тривалого зберігання.
 - B) Матеріальна форма продукту.
 - C) Споживання одночасно з виробництвом.
 - D) Висока еластичність попиту.
2. Який сегмент енергетичного ринку найчастіше належить до природної монополії?
 - A) Виробництво електроенергії.
 - B) Трейдинг.
 - C) Передача та розподіл електроенергії.
 - D) Постачання.
3. Чому конкуренція в енергетичному секторі часто є обмеженою?
 - A) Через низькі виробничі витрати.
 - B) Через незалежність споживачів.
 - C) Через природні монополії та регулювання.
 - D) Через надлишкову кількість виробників.
4. Який фактор найбільше впливає на поведінку споживачів у сфері енергетики?
 - A) Мода на нові продукти.
 - B) Доступність брендів.
 - C) Тарифна політика та рівень цін.
 - D) Кількість рекламних кампаній.

5. Хто є одночасно виробником і споживачем енергії?
А) Дистриб'ютор.
В) Трейдер.
С) Просюмер.
D) Постачальник.
6. Який технологічний чинник найбільше сприяє залученню споживачів до управління власним енергоспоживанням?
А) Розвиток атомної енергетики.
В) Розширення мережевих тарифів.
С) Smart meters та системи енергоменеджменту.
D) Зростання кількості ТЕС.
7. Яка ключова перевага зеленої електроенергії для споживача?
А) Завжди нижча ціна.
В) Гарантоване зменшення споживання.
С) Знижений вуглецевий слід та екологічність.
D) Не потребує лічильників.
8. Який інструмент використовується для підтвердження походження зеленої електроенергії в ЄС?
А) Green Mark.
В) ISO 9001.
С) Guarantees of Origin (GoO).
D) EuroPower Certificate.
9. Що є головною метою екологічно орієнтованих комунікацій енергетичних компаній?
А) Збільшення кількості рекламних оголошень.
В) Формування довіри та прозорості для споживачів.
С) Зменшення кількості конкурентів.
D) Просування викопного палива.
10. Який фактор стимулює споживачів переходити до автономних енергетичних систем?
А) Падіння цін на нафту.
В) Небажання використовувати сучасні технології.
С) Сприйняття ризиків та загроза перебоїв в енергопостачанні.
D) Обмеження на встановлення смарт-лічильників.

Довідкова та корисна література

- Electricity price statistics (2023). Eurostat (2023) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics
- Environment. OECD (2023) <https://www.oecd.org/en/topics/environment.html>
- Energy System Integration. ACER (2023) <https://acer.europa.eu/green-deal/energy-system-integration>
- Ofgem (2023) <https://www.ofgem.gov.uk>
- Overcoming the hurdles to integrating sustainability into business strategy. <https://www2.deloitte.com>
- Kalmi, P., Trotta, G., & Kažukauskas, A. (2021). Energy-related financial literacy and electricity consumption: Survey-based evidence from Finland. *Journal of Consumer Affairs*, 55(3), 1062–1089. <https://doi.org/10.1111/joca.12395>
- COST CUTTER. <https://www.thescottishsun.co.uk/money/13530174/penny-household-spending>

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

Актуалізація факторів енергетичної бідності, що зумовлені наслідками збройної агресії проти України <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/aktualizatsiya-faktoriv-enerhetychnoyi-bidnosti-shcho-zumovleni-naslidkamy?>

Electric Power & Natural Gas. <https://www.mckinsey.com>

URE, 2023 <https://www.ure.gov.pl>

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України
<https://saee.gov.ua>

Навчальне видання

Енергетична безпека національної економіки: ринкові, екологічні та маркетингові аспекти

Навчальний посібник

Олена Чигрин, Юрій Білан, Інна Балагуровська

Художнє оформлення обкладинки О. Чигрин
Комп'ютерне верстання О. Чигрин, І. Балагуровська



ISBN 978-83-979051-0-8
DOI: 10.14254/ 978-83-979051-0-8/2025

Видавництво:
Щецин. Центр соціологічних досліджень, 2025.