

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДИХА ВАЛЕРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК: 338.246:005.922.1:620.9:330.3(477)(043.3)

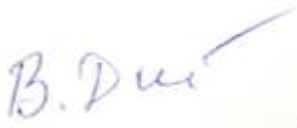
ДИСЕРТАЦІЯ
УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ УКРАЇНИ
НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Галузь знань: 05 – Соціальні та поведінкові науки

Спеціальність: 051 – Економіка

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В. В. Диха

Науковий керівник: Лук'янова Валентина Вячеславівна, доктор економічних наук, професор

Хмельницький – 2026

АНОТАЦІЯ

Диха В. В. Управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 – Економіка. Хмельницький національний університет, 2026.

Дисертація присвячена розробці та обґрунтуванню теоретико-методичних основ та організаційно-практичних рекомендацій щодо сталого розвитку енергетичного сектора та забезпечення енергетичної безпеки України.

Досліджено еволюційний контекст розвитку понять «безпека», «національна безпека», «економічна безпека», «енергетична безпека», описано взаємозв'язки та обґрунтовано ключову значимість енергетичної безпеки у системі економічної та загалом національної безпеки, у функціонуванні усіх галузей економіки та забезпеченні життєдіяльності людей. На основі синтезу результатів наукових досліджень та під призмою сучасних реалій запропоновано авторські трактування сутності понять «економічна безпека», «енергетична безпека», «ризики» та «управління ризиками енергетичного сектора». Обґрунтовано, що управління енергетичною безпекою є складною, багаторівневою та динамічною системою, має спиратися на узгодженість дій на різних рівнях. Доповнено базову систему принципів, методів та інструментів управління енергетичною безпекою, реалізація яких сприятиме формуванню цілісної, динамічної та орієнтованої на сталий розвиток енергетичної системи. Здійснено комплексний аналіз міжнародного досвіду забезпечення енергетичної безпеки, зокрема практик США, Великої Британії, Франції, Німеччини, Норвегії, Китаю. Встановлено, що країни світу формують власні моделі розвитку енергетики та забезпечення енергетичної безпеки, спираючись на наявний потенціал та стратегічне бачення розвитку енергетичного сектора. Обґрунтовано, що успішні міжнародні практики управління енергетичною безпекою можуть бути адаптовані до національних умов. Зазначено, що Україна згенерувала власний досвід функціонування енергетичної системи в умовах війни, який є

цінним для країн світу в контексті реагування на масштабні виклики та загрози енергетичній безпеці.

Здійснено всебічний аналіз історичних, структурних та ресурсних передумов розвитку енергетичного комплексу України. Наголошено, що тривала експлуатація централізованої моделі енергетики, високий рівень зношеності основних засобів, технологічна відсталість та залежність від імпорتنих ресурсів сформували системні вразливості, які значно поглибилися під впливом війни. Акцентовано, що руйнування великих генеруючих потужностей, пошкодження електромереж та окупація частини об'єктів енергетики суттєво загострили проблеми забезпечення безперебійного енергопостачання. Ідентифіковано спектр викликів та загроз енергетичній безпеці України за напрямками, що формують системні вузли вразливості, які потребують комплексного управління (від модернізації інфраструктури й підвищення мережевої гнучкості до удосконалення інституційної координації, цифровізації процесів моніторингу та застосування ризик орієнтованих моделей прийняття рішень). Сформовано науково-методичні засади ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичної безпеки України. Запропоновано інтегровану модель, що забезпечує структурування циклу управління ризиками (від формування інформаційної бази та класифікації чинників до нейромережевого оцінювання ступеня загроз, пріоретизації ризиків та визначення відповідних управлінських реакцій). Поєднання індикативних систем з логікою DPSIR, інструментами аналізу та кластеризації дозволяє ідентифікувати як статичні, так і динамічні загрози, виявляти приховані взаємозв'язки між чинниками, визначати системні кластери ризиків і формувати науково-обґрунтовані управлінські рішення. Обґрунтовано, що розроблена система є не лише інструментом діагностики, але й практичним механізмом підтримки рішень щодо упередження ризиків, мінімізації їх впливу та посилення стійкості функціонування енергетичного сектора в умовах невизначеності та криз.

Встановлено необхідність стратегічного переосмислення архітектури енергетичної системи, переходу до нової парадигми її розвитку, орієнтованої на

стійкість, екологічну збалансованість та адаптивність (зокрема, через розвиток «зеленої» енергетики в контексті переходу до низьковуглецевої економіки; впровадження інноваційних технологій у т. ч. в контексті підвищення енергоефективності; диверсифікації, переорієнтації на нових постачальників у контексті трансформаційних процесів на глобальних ринках). У рамках визначеної парадигми розроблено ланцюг доданої цінності, який охоплює інституційно-управлінський, технологічно-інфраструктурний, безпековий, еколого-інноваційний, інтеграційно-економічний блоки. Доведено, що реалізація концептуально визначених парадигмою основ розвитку енергетичного сектора формує нормативну визначеність, забезпечує операційну спроможність, адаптивність та стійкість, інноваційний розвиток енергетичної системи та інтеграцію України до європейського енергетичного простору на принципах кліматичної нейтральності (у т. ч. реалізацію спільних проєктів, залучення інвестицій), перехід від лінійної до циркулярної моделі розвитку енергетики, що відповідає сучасним підходам і практикам досягнення цілей сталого розвитку, та створює кумулятивний ефект щодо забезпечення енергетичної безпеки. Встановлено, що забезпечення енергетичної безпеки України ґрунтується на комплексній дії організаційно-економічних механізмів, які інтегрують інституційні, фінансово-економічні, управлінські та техніко-технологічні інструменти, спрямовані на підвищення стійкості енергетичної системи. Доведено, що розвиток локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків формує новий тип децентралізованих виробничо-енергетичних екосистем, здатних забезпечити автономність, циркулярність та підвищення енергетичної незалежності територіальних громад. Обґрунтовано комплексну модель інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків, яка поєднує технологічні, інституційні, економічні та екологічні параметри їх взаємодії. Доведено ключову роль інженерного менеджмента як синергетичного підходу з сучасними інструментами ризик-орієнтованого управління, що підвищує адаптивність енергетичної системи до кризових впливів і знижує ймовірність каскадних відмов. Крім того, доведено, що впровадження ринкових

механізмів, зокрема інструментів хеджування, сприяє стабілізації цінової динаміки, підвищенню інвестиційної привабливості та прозорості функціонування енергетичного ринку. У сукупності це дозволяє сформувати стійку, керовану й інноваційно орієнтовану модель забезпечення енергетичної безпеки України, здатну ефективно функціонувати в умовах високої невизначеності та багатовимірних ризиків. Обґрунтовано ключові елементи переходу від традиційних централізованих моделей до децентралізованих: розподілена генерація, інтелектуальні мережі, цифрові системи моніторингу, технології накопичення енергії та сучасні інструменти кібербезпеки, які створюють інтегровану платформу енергетичної стійкості. Доведено ефективність застосування цифрових технологій (штучного інтелекту, цифрових двійників, сенсорних мереж і алгоритмів раннього виявлення відхилень), що забезпечують проактивне управління енергосистемою, підвищення точності прогнозування та зниження ризику системних збоїв. Розроблено індикативну модель стійкості Smart Microgrid (охоплює взаємопов'язані блоки: передумови стійкості, ключові технологічні інструменти та систему індикаторів оцінювання), яка сприятиме зменшенню вразливостей і підвищенню енергоефективності, ухваленню ефективних стратегічних управлінських рішень щодо сталого розвитку енергетичного сектора та забезпечення енергетичної безпеки України.

Отримані наукові результати становлять підґрунтя для стратегічних програм відновлення, сталого розвитку енергетичного сектора та забезпечення енергетичної безпеки.

Ключові слова: сталий розвиток; енергетична безпека; економічна безпека; енергетичний сектор; джерела енергії; управління ризиками; інновації; енергоефективність; інженерний менеджмент; декарбонізація; децентралізація; локальні енергетичні хаби; екоіндустріальні парки; розумна мережа; циркулярна економіка.

ANNOTATION

Dykha V. V. Managing Ukraine's energy security on the basis of sustainable development. Qualification scientific work in the form of a manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 051 – Economics. Khmelnytskyi National University, 2026.

The dissertation is devoted to the development and substantiation of theoretical and methodological foundations, as well as organizational and practical recommendations, for the sustainable development of the energy sector and for ensuring Ukraine's energy security.

The evolutionary context of the development of the concepts of “security”, “national security”, “economic security”, and “energy security” is examined; their interrelationships are identified, and the key role of energy security within the system of economic and national security, as well as in the functioning of all sectors of the economy and in ensuring people's livelihoods, is substantiated. Based on the synthesis of scientific research findings and through the prism of contemporary realities, the author's interpretations of the essence of the concepts of “economic security”, “energy security”, “risks”, and “energy sector risk management” are proposed. It is substantiated that energy security management constitutes a complex, multi-level, and dynamic system that should be based on the consistency and coordination of actions at different levels. The system of principles, methods, and tools for energy security management is expanded, the implementation of which will contribute to the formation of a holistic, dynamic, and sustainable energy system. A comprehensive analysis of international experience in ensuring energy security is conducted, with particular attention to the practices of the United States, the United Kingdom, France, Germany, Norway, and China. It is established that countries worldwide are developing their own models of energy development and energy security provision, based on existing potential and strategic visions for the development of the energy sector. It is substantiated that successful international practices in energy security management can be adapted to national conditions. It is noted that Ukraine has developed its own

experience in the functioning of the energy system under wartime conditions, which is valuable for countries worldwide in the context of responding to large-scale challenges and threats to energy security.

A comprehensive analysis of the historical, structural, and resource prerequisites for the development of Ukraine's energy complex was conducted. It is emphasized that the long-term operation of a centralized energy model, the high level of depreciation of fixed assets, technological backwardness, and dependence on imported resources have created systemic vulnerabilities that were significantly exacerbated by the war. The destruction of large-scale generation facilities, damage to power grids, and the occupation of parts of energy infrastructure are identified as factors that have further intensified the challenges of ensuring uninterrupted energy supply. A spectrum of challenges and threats to Ukraine's energy security is identified across areas that form systemic vulnerability nodes requiring comprehensive management, ranging from infrastructure modernization and increased network flexibility to improved institutional coordination, digitalization of monitoring processes, and the application of risk-oriented decision-making models. Scientific and methodological principles for the identification and assessment of threats, as well as for risk management in the field of Ukraine's energy security, are developed. An integrated model is proposed that structures the risk management cycle, from the formation of an information base and factor classification to neural network-based threat assessment, risk prioritization, and the determination of appropriate management responses. The combination of indicative systems with DPSIR logic, analytical tools, and clustering methods enables the identification of both static and dynamic threats, the disclosure of hidden interrelationships between factors, the determination of systemic risk clusters, and the formulation of scientifically grounded management decisions. It is substantiated that the developed system functions not only as a diagnostic tool but also as a practical decision-support mechanism aimed at risk prevention, minimizing their impact, and enhancing the resilience of the energy sector under conditions of uncertainty and crisis.

The need for a strategic rethinking of the architecture of the energy system and a transition to a new paradigm of its development focused on sustainability,

environmental balance, and adaptability has been substantiated. This transition is envisaged, in particular, through the development of renewable (“green”) energy in the context of the shift toward a low-carbon economy; the introduction of innovative technologies, including those aimed at improving energy efficiency; and diversification and reorientation toward new suppliers amid transformation processes in global energy markets. Within the framework of the defined paradigm, a value chain has been developed that encompasses institutional and managerial, technological and infrastructural, security, environmental and innovation, as well as integration and economic components. It is proven that the implementation of the conceptually defined paradigm of energy sector development ensures regulatory certainty, operational capacity, adaptability, sustainability, innovative development of the energy system, and Ukraine’s integration into the European energy space based on the principles of climate neutrality, including the implementation of joint projects and the attraction of investment. It also facilitates the transition from a linear to a circular model of energy development, which corresponds to modern approaches and practices for achieving sustainable development goals and creates a cumulative effect in strengthening energy security. It has been established that ensuring Ukraine’s energy security is based on the integrated functioning of organizational and economic mechanisms that combine institutional, financial and economic, managerial, technical, and technological instruments aimed at enhancing the sustainability of the energy system. It is proven that the development of local energy hubs and eco-industrial parks forms a new type of decentralized energy production and energy ecosystems capable of ensuring autonomy, circularity, and increased energy independence of territorial communities. A comprehensive model for the integration of local energy hubs and eco-industrial parks is substantiated, combining technological, institutional, economic, and environmental parameters of their interaction. The key role of engineering management as a synergistic approach integrated with modern risk-oriented management tools is demonstrated, as it enhances the adaptability of the energy system to crisis impacts and reduces the likelihood of cascading failures. In addition, it is proven that the introduction of market mechanisms, particularly hedging instruments, contributes to

the stabilization of price dynamics, increased investment attractiveness, and greater transparency in the functioning of the energy market. Taken together, these measures enable the formation of a sustainable, manageable, and innovation-oriented model for ensuring Ukraine's energy security, capable of effective operation under conditions of high uncertainty and multidimensional risks. The key elements of the transition from traditional centralized energy models to decentralized ones are substantiated, including distributed generation, smart grids, digital monitoring systems, energy storage technologies, and modern cybersecurity tools, which collectively form an integrated platform for energy sustainability. The effectiveness of digital technologies - such as artificial intelligence, digital twins, sensor networks, and early detection algorithms - is demonstrated, as they enable proactive energy system management, improve forecasting accuracy, and reduce the risk of systemic failures. An indicative Smart Sustainability Microgrid Model has been developed, encompassing interconnected blocks of sustainability prerequisites, key technological tools, and a system of assessment indicators, which contributes to reducing vulnerabilities, increasing energy efficiency, supporting effective strategic management decisions for the sustainable development of the energy sector, and strengthening Ukraine's energy security.

The obtained scientific results form the basis for strategic recovery programs, the sustainable development of the energy sector, and the enhancement of energy security.

Keywords: sustainable development; energy security; economic security; energy sector; energy sources; risk management; innovation; energy efficiency; engineering management; decarbonization; decentralization; local energy hubs; eco-industrial parks; smart grid; circular economy.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ¹: *у фахових виданнях України:*

1. Диха В. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences. 2025. № 348(6). С. 66-71. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-348-6-9> ; <https://herald.khmnpu.edu.ua/index.php/herald/article/view/2531/2588> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, CrossRef; журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського] (0,8 д.а.).
2. Dykha V. World experience in ensuring energy security. Kyiv Economic Scientific Journal. 2025. № 10. С. 41-50. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-10-6> ; <https://journals.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/272/266> [журнал включено до міжнародних наукометричних баз даних: Index Copernicus та Google Scholar] (1,1 д.а.).
3. Диха М., & Диха В. Тенденційний аналіз макроекономічних показників України та шляхи їх покращення. Київський економічний науковий журнал. 2025. № 11. С. 107-118. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-11-14> ; <https://journals.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/304/297> [журнал включено до міжнародних наукометричних баз даних: Index Copernicus та Google Scholar] (1,23 д.а., особистий внесок автора – здійснено аналіз основних макроекономічних показників: номінального та реального ВВП України, видатків державного бюджету за функціональною класифікацією, обсягів державного боргу та зовнішньоторговельного балансу України; 0,6 д.а.).
4. Диха М., & Диха В. Інструменти хеджування в управлінні ціновими ризиками (на прикладі аграрного і енергетичного ринків України). Економіка України. 2024. № 67(03(748)). С. 19-36. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.03.019> ; <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/economyukr/article/view/2024-03-2/2024-03-02> [журнал включено до наукометричних баз даних: Index Copernicus, ERIHPLUS, CrossRef; універсальна видавнича платформа журналів Національної академії наук України, журнал підтримує Будапештську ініціативу відкритого доступу (Budapest OpenAccess Initiative) (1,1 д.а., особистий внесок автора –

¹розширений перелік публікацій за темою дисертації представлено у переліку джерел.

систематизовано характерні ознаки, переваги і недоліки деривативів, обґрунтовано важливість застосування механізму хеджування ризиків учасників енергетичного ринку із застосуванням деривативів; 0,5 д.а.).

5. Диха В., Лук'янова В. Ризики енергоринку: сутність дефініції та характеристики. MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS. 2023. № 1. С. 28-36. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-7-4> ; <https://mdes.khmnu.edu.ua/index.php/mdes/article/view/134/116> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, Crossref, Index Copernicus International; журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського] (1,1 д.а., особистий внесок автора – описано ознаки багатоаспектної категорії «ризик»; дано авторське визначення поняття «ризик енергоринку», систематизовано функції та завдання Міністерства енергетики України та обґрунтовано важливість їх належного виконання; 0,5 д.а.).

6. Диха В.В., Таранюк О.В. Еволюція становлення системи забезпечення економічної безпеки. Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості. 2023. № 2(28). С. 53-62. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2\(28\)-53-62](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2(28)-53-62) ; <https://eung.nung.edu.ua/index.php/ecom/article/view/580/392> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, SIS (Scientific Indexing Services), CiteFactor (Academic Scientific Journals)] (0,9 д.а., особистий внесок автора – описано еволюцію становлення системи забезпечення економічної безпеки; 0,45 д.а.).

у навчальному посібнику:

7. Диха М.В., Диха В.В. Економіка сталого розвитку: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2024. 408 с. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/17542> [ISSN 978-611-01-3351-7] (25,5 д.а., особистий внесок автора за темою дисертації – обґрунтовано значимість функціонування енергетичної системи, ключові аспекти генерації енергії в розрізі видів, завдання, індикатори, проблеми та передумови досягнення Цілі 7 «Доступна та чиста енергія»; проблеми та передумови досягнення Цілі 12 «Відповідальне споживання та виробництво» в частині проблем переробки у системі забезпечення сталого розвитку, використання циклічних бізнес-моделей, переходу до циркулярної економіки; обґрунтовано проблеми викидів CO₂, що найбільше здійснюється паливно-енергетичним комплексом, важливість

переходу до кліматично нейтральної економіки, досягнення Цілі 13 «Пом'якшення наслідків зміни клімату»; 1,5 д.а.).

у виданнях, що входять до наукометричних баз даних

Scopus та Web of Science:

8. Dykha V., Dykha M., Lukianova V., Polozova V., Ivanov M. Energy security management in the context of current challenges and international experience. POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL, 2024, Volume 27, Issue 4. P. 133-154. <https://doi.org/10.33223/epj/190485> ; <https://epj.min-pan.krakow.pl/Energy-security-management-in-the-context-of-current-challenges-and-international,190485,0,2.html> [журнал включено до таких міжнародних наукометричних баз даних та індексаційних сервісів: SCOPUS Database, BazTech (database containing citations from the Polish technical journals), EBSCO, Index Copernicus (database of scientific journals), BazEkon, ICI World of Journals And also available in full and unlimited access at national libraries: Bridge of Knowledge, POLONA, The PAS Journals, Library of Science] (1,5 д.а., особистий внесок автора – на основі аналізу передових світових практик обґрунтовано необхідність розвитку відновлюваної енергетики, модернізації інфраструктури та впровадження інноваційних рішень для підвищення стійкості енергетичної системи країни, зменшення залежності від імпорту енергоресурсів та забезпечення енергетичної безпеки; 0,3 д.а.).

9. Dykha M., Dykha V., Pylypyak O., Poplavska O. Tanasiienko N., & Tanasiienko V. Risk Management Of The Startup Projects, 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023. P. 1-6, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10311582> [проіндексовано у наукометричній базі даних Scopus] (1,0 д.а., особистий внесок автора – охарактеризовано основні етапи управління ризиками, окреслено основні моделі прийняття рішень та описано доцільність побудови дерева рішень як ефективного способу виходу на обґрунтовані та оптимальні результати в управлінні ризиками; 0,25 д.а.).

у зарубіжних виданнях держав, що входять до ОЕСР, ЄС:

10. Dykha V., Dykha M., Liubokhynets L., Tanasiienko N., & Poplavskiy Y. Scientific-methodical approach to assessing threats to Ukraine's energy security using neural networks. International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert". 2025. Vol. 2(1). P. 22-34. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2025-v2-i1-002> ; <https://scientific->

journal.expert/archives/2025-v2-i1-002 [журнал включено до наукометричних та індексаційних сервісів: ISSN Portal, National Reference List of contemporary Bulgarian scientific publications with scientific review, ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources), DOI, Crossref, Index Copernicus International World of Journals, CEEOL (Central and Eastern European Online Library), BASE (Bielefeld Academic Search Engine), EuroPub, Semantic Scholar, BPOS (Bulgarian Portal for Open Science), ABCD Index, Grafiati, OUCI (Open Ukrainian Citation Index), ESJI (Eurasian Scientific Journal Index), DRJI (Directory of Research Journals Indexing), EZB (Electronic Journals Library), German Union Catalogue of Serials (ZDB), OpenAlex, Azian Science Citation Index, Scilit, Research Discovery, IP Indexing, TIB, WorldCat, Google Scholar] (1,4 д.а., особистий внесок автора – ідентифіковано загрози для енергетичної безпеки України в розрізі видів, обгрунтовано науково-методичний підхід до оцінювання рівня загроз енергетичній безпеці на основі ймовірнісних нейронних мереж; 0,35 д.а.).

11. Dykha M., Dykha V. & Zyma V. Conceptual aspects of energy generation market development on the principles of sustainability. International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert". 2024. Vol. 1(2). P. 99-116. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2024-v1-i2-007> ; <https://scientific-journal.expert/archives/2024-v1-i2-007> [журнал включено до наукометричних та індексаційних сервісів: ISSN Portal, National Reference List of contemporary Bulgarian scientific publications with scientific review, ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources), DOI, Crossref, Index Copernicus International World of Journals, CEEOL (Central and Eastern European Online Library), BASE (Bielefeld Academic Search Engine), EuroPub, Semantic Scholar, BPOS (Bulgarian Portal for Open Science), ABCD Index, Grafiati, OUCI (Open Ukrainian Citation Index), ESJI (Eurasian Scientific Journal Index), DRJI (Directory of Research Journals Indexing), EZB (Electronic Journals Library), German Union Catalogue of Serials (ZDB), OpenAlex, Azian Science Citation Index, Scilit, Research Discovery, IP Indexing, TIB, WorldCat, Google Scholar] (1,15 д.а., особистий внесок автора – запропоновано концептуальне бачення розвитку енергетичного ринку на принципах сталості, який має характеризуватися безпечністю, екологічністю, адаптивністю та стабільністю, ефективністю (в т. ч. економічною) та доступністю (в т. ч. соціальною), прозорістю; 0,4 д.а.).

12. Dykha M., Dykha V. Bezpieczeństwo energetyczne Ukrainy pod pryzmatem wojny. *Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z*

siedzibą w Walbrzychu. Poland. 2023. T. 53 (1). S. 71-84.
https://pracenaukowe.wwszip.pl/prace/PN_53.pdf ;
<https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/16518> [ISSN 2450-3878; T. 53(1): ISBN 978-83-60904-57-2] (0,83 д.а., особистий внесок автора – описано проблеми енергетичного сектора, енергетичної безпеки під призвою війни та напрями розвитку енергетичної сфери; 0,4 д.а.).

публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Диха В.В. Аналіз виробництва електроенергії у системі досягнення цілей сталого розвитку. Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство: тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (27-28 березня 2025 р.). Київ: КУК, КНУКіМ. 2025. Ч. 3. С. 51-53. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18570> (0,16 д.а.).

14. Диха В.В. Інженерний менеджмент у системі забезпечення енергетичної безпеки України. Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (10 квітня 2025 р.). ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». 2025. С. 83-85. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18567> (0,18 д.а.).

15. Диха В.В. Smart Grid як концепція інноваційного розвитку енергетичної системи. Сталі розумні міста та території: європейський досвід та можливості для України у повоєнний період: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 травня 2025 р.). Луцьк: ЛНТУ, 2025. С. 99-101. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/19287> (0,19 д.а.).

16. Диха В. Обґрунтування важливості декарбонізації у системі цілей сталого розвитку. Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (15-16 лютого 2024 р.). Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна. 2024. С. 37-39. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18568> (0,2 д.а.).

17. Диха В.В. Парадигма розвитку енергетичного ринку на принципах сталості. Стратегії, моделі та технології управління економічними системами: матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. (6 грудня 2024 р.). Хмельницький: ХНУ, 2024, С. 38-43. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18569> (0,23 д.а.).

18. Диха В. Управління ризиками енергоринку. Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 125-річчю НУБіП України (26 квітня 2023 р.). Бережани: ВП

НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». 2023. С. 115-118. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18566> (0,21 д.а.).

19. Диха М.В., Диха В.В., Зима В.М. Екологічність як складова сучасної парадигми розвитку енергетичної системи. Актуальні проблеми управління соціально-економічними системами: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (15 грудня 2023 р.). Луцьк: ЛНТУ. 2023. Частина 1. С. 52-54. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/15268> (0,27 д.а., особистий внесок автора – описано питання утилізації відпрацьованих частин і продуктів СЕС, ВЕС, АЕС; 0,09 д.а.).

20. Диха М.В., Диха В.В. Функціонування енергетичної сфери України в умовах війни. Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті, подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи в умовах воєнного стану: матеріали XXI Міжнар. наук. семінару (4-8 липня 2022 р., м. Київ – оз. Світязь). Київ: НАУ. 2022. С. 18-20. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13186> (0,2 д.а., особистий внесок автора – окреслено проблеми в енергетичній сфері, обумовлені війною, у т. ч. ризики, спричинені захопленням ЗАЕС; 0,1 д.а.).

21. Диха М.В., Диха В.В. Енергетична безпека України у контексті загроз запуску «Північний потік-2» Інструменти регулювання національної економіки та національної безпеки в умовах сучасних глобальних викликів: зб. наук. праць за матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (5 листопада 2021 р.). Хмельницький: ХНУ. 2021. С. 60-63. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/10862> (0,2 д.а., особистий внесок автора – досліджено небезпеки запуску «Північний потік-2», напрями спрямування зусиль України для забезпечення енергетичної безпеки; 0,1 д.а.).

22. Диха М.В., Диха В.В. Енергоменеджмент у системі стратегічного управління. *Розвиток України та її регіонів: реалії і перспективи: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (20 жовтня 2021 р.). Хмельницький: ХТЕК КНТЕУ*, 2021. С. 52-56. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/11539> (0,25 д.а., особистий внесок автора – досліджено інтерпретацію енергетичного менеджмента науковцями, обґрунтовано важливість підвищення енергоефективності, впровадження сучасних енергоефективних технологій; 0,12 д.а.).

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ У СИСТЕМІ ЕКОНОМІЧНОЇ/ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ	32
1.1. Сутність енергетичної безпеки та її місце у системі економічної/ національної безпеки	32
1.2. Науково-методичні основи управління енергетичною безпекою	50
1.3. Світовий досвід управління енергетичною безпекою	67
Висновки до першого розділу	87
РОЗДІЛ 2. СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ У СИСТЕМІ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	91
2.1. Основні макроекономічні показники та детермінанти розвитку енергетичного комплексу України	91
2.2. Аналіз індикаторів цілі сталого розвитку «Доступна та чиста енергія», викликів та загроз для забезпечення енергетичної безпеки	113
2.3. Науково-методичні засади ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичної безпеки	130
Висновки до другого розділу	148
РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	151
3.1. Парадигма розвитку енергетичного сектора на принципах сталості	151
3.2. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки	175
3.3. Інноваційні підходи трансформації енергетичної системи та забезпечення енергетичної безпеки	194
Висновки до третього розділу	210
ВИСНОВКИ	214
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	219
ДОДАТКИ	251

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Повномасштабна збройна агресія Російської Федерації проти України спричинила безпрецедентні руйнування об'єктів енергетики, зокрема генераційних, мережевих потужностей, що оголило структурні вразливості системи та продемонструвало критичну залежність країни від централізованої архітектури енергопостачання. В умовах воєнного стану забезпечення енергетичної безпеки набуло особливої ваги, оскільки від стабільності енергоживлення безпосередньо залежать обороноздатність держави, функціонування усіх галузей національної економіки, стійкість економіки та життєдіяльність населення.

Повоєнне відновлення України вимагає переходу від реактивної моделі ліквідації наслідків атак до проактивного, стратегічного підходу, побудованого на принципах сталості, кліматичної нейтральності, децентралізації та цифровізації енергосистеми. У цьому контексті важливою рамковою основою виступає Стратегія енергетичної безпеки України, яка визначає пріоритети формування стійкої та високотехнологічної енергетичної системи, здатної протистояти воєнним, гібридним, технологічним та кліматичним загрозам.

Засади сталого розвитку набувають системоутворюючого значення, оскільки саме вони забезпечують синергію економічної, екологічної та соціальної стійкості в енергетиці. Управління енергетичною безпекою на цих засадах передбачає впровадження інноваційних технологій, розвиток децентралізованих енергетичних структур (зокрема smart microgrid та локальних енергетичних кластерів), інтеграцію високотехнологічних систем накопичення енергії та цифрових платформ моніторингу й прогнозування. У цьому контексті особливого значення набуває формування гнучкої, адаптивної та резильєнтної енергосистеми, здатної забезпечувати безперервність енергопостачання навіть за турбулентних умов.

Перехід до кліматично нейтральної та низьковуглецевої моделі розвитку відповідає міжнародним зобов'язанням України у рамках Європейського

зеленого курсу та Паризької кліматичної угоди, що додатково актуалізує потребу у структурній трансформації енергетики. Поглиблення інтеграції з європейським енергетичним ринком, розвиток механізмів транскордонної енергетичної безпеки та підвищення стійкості інфраструктури до гібридних впливів також обумовлюють необхідність відповідного контексту управління енергетичною безпекою.

Отже, актуальність дослідження визначається необхідністю формування сучасної парадигми розвитку енергетичного сектора, що поєднуватиме безпекові пріоритети та інноваційне оновлення на принципах сталості. Це потребує наукового обґрунтування інструментів, моделей і механізмів управління, здатних гарантувати стійкість та автономність енергетичного сектора України в умовах зовнішніх, внутрішніх викликів та загроз.

Проблеми управління енергетичною безпекою України перебувають у фокусі значної уваги наукової спільноти, що зумовлено високою турбулентністю, високим ступенем ризиків в енергетиці, необхідністю декарбонізації та трансформацією моделей енергопостачання. Серед провідних зарубіжних дослідників, що здійснили суттєвий науковий внесок у розвиток питань структурних трансформацій енергетичних ринків, стійкого функціонування енергосистем, ролі відновлюваної енергетики та забезпечення енергетичної безпеки, слід відзначити таких: Д. Єрґін (D. Yergin), А. Черп (A. Cherp), Дж. Джевелл (J. Jewell), Б. Совакул (B. Sovacool), Г. Коутінго (G. Coutinho), Л. Міллер (L. Miller), А. Ловінс (A. Lovins), Д. Ванг (D. Wang) та ін.

Українські дослідники, зокрема Є. Бобров, Д. Васильківський, Л. Гораль, М. Диха, О. Дзюба, І. Думанська, М. Земляний, Ю. Кравчик, Т. Курбатова, В. Лойко, В. Лук'янова, І. Мазур, Г. Рябцев, І. Сотник, О. Суходоля, А. Сухоруков, Ю. Харазішвілі, Н. Швець, А. Шевцов, І. Щуров, О. Яценко та ін. зосередили свою увагу на низці аспектів щодо обґрунтування теоретико-методичних основ управління енергетичною безпекою, виявлення та оцінювання ризиків енергетичній безпеці, а також питаннях низьковуглецевого переходу,

розвитку відновлюваних джерел енергії, імплементації принципів «зеленої» економіки в енергетику та підвищення енергоефективності.

Попри значний науковий доробок концептуального висвітлення окремих компонентів енергетичної безпеки та сталого розвитку, залишається низка недостатньо розроблених аспектів, зокрема, щодо цілісних методичних підходів ідентифікації та оцінювання загроз енергосистеми в умовах війни та повоєнного відновлення, інтеграції smart microgrid у національну архітектуру енергопостачання, розробки адаптивних моделей управління енергетичною безпекою на основі принципів сталого розвитку, що комплексно враховуватимуть геополітичні, воєнні, технологічні, екологічні та соціоекономічні детермінанти трансформації енергетичного сектору України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до напрямків науково-дослідної теми кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі Хмельницького національного університету «Розвиток соціально-економічних систем та трансформація підприємницьких структур за умов глобальних викликів». У рамках теми досліджено теоретико-методичні засади управління енергетичною безпекою в умовах воєнних та поствоєнних трансформацій, обґрунтовано концептуальні основи формування інноваційної моделі управління енергетичною безпекою із застосуванням механізмів децентралізації, цифровізації та «зеленої» трансформації, інструментарій забезпечення стійкості енергетичної системи України на засадах сталого розвитку.

У рамках госпдоговірної науково-дослідної теми «Розробка моделі діагностики ризиків у системі економічної безпеки промислових підприємств в умовах зовнішніх викликів» (номер ДР 0123U104699) обґрунтовано основні ознаки ризику як багатоаспектної категорії, досліджено вплив чинників зовнішнього середовища на функціонування суб'єктів енергоринку. Обґрунтовано важливість належного виконання функцій та завдань Міністерством енергетики України з метою унеможливлення / нівелювання

імовірних негативних наслідків від ризиків для енергетичного ринку. Запропоновано авторське визначення поняття «ризик» енергоринку.

Метою дослідження є науково-теоретичне обґрунтування та розроблення методичних, організаційно-практичних рекомендацій щодо управління енергетичною безпекою України в умовах воєнних загроз та повоєнного відновлення на засадах сталого розвитку.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі було сформульовано та послідовно вирішено такі **завдання**:

- дослідити теоретичні основи забезпечення енергетичної безпеки, визначити її сутність та встановити місце у системі економічної/національної безпеки держави;
- обґрунтувати науково-методичні основи управління енергетичною безпекою на різних рівнях, встановити взаємозв'язки та особливості реалізації;
- проаналізувати світовий досвід управління енергетичною безпекою та визначити можливості його адаптації в Україні;
- дослідити економічні, історично-організаційні та технологічні передумови розвитку енергетичного комплексу України, проаналізувати основні індикатори його сучасного стану та ключові детермінанти сталого розвитку;
- ідентифікувати основні виклики та загрози для забезпечення енергетичної безпеки;
- удосконалити науково-методичні підходи до оцінювання рівня енергетичної безпеки, визначити індикатори, критерії та процедури ідентифікації загроз і пріоритетних напрямів управлінського реагування;
- обґрунтувати парадигму розвитку енергетичного сектора України на принципах сталості, визначити її концептуальні засади, структурні компоненти та механізми імплементації у повоєнний період;
- визначити організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки, обґрунтувати форми та інструменти її досягнення;
- запропонувати та обґрунтувати інноваційні підходи трансформації енергетичної системи та забезпечення енергетичної безпеки.

Об'єктом дослідження є процеси управління енергетичною безпекою України в умовах воєнних загроз, структурних трансформацій енергетичного сектора на засадах сталого розвитку.

Предметом дослідження є теоретичні, методичні та організаційно-управлінські засади формування, забезпечення та зміцнення енергетичної безпеки України на основі принципів сталого розвитку.

Методи дослідження. Теоретико-методичною, інформаційною базою дисертаційної роботи стали наукові праці провідних українських і зарубіжних учених з питань сталого розвитку та декарбонізації, енергетичної безпеки, управління енергетичними системами та цифрової трансформації енергетики, нормативно-правові акти України, матеріали Державної служби статистики України, Міністерства енергетики, Мінфіну України, Світового банку, Євростату; документи Європейського Союзу та міжнародних організацій (ІЕА, UNEP), що регламентують напрями забезпечення енергетичної безпеки та декарбонізації; офіційні звіти урядових і міжнародних організацій, аналітичні матеріали незалежних дослідницьких центрів, а також власні напрацювання автора.

Методи теоретичного узагальнення, наукової абстракції та системного аналізу – використовувалися для обґрунтування теоретико-методичних основ енергетичної безпеки, визначення її місця у системі національної безпеки та формування концептуальних положень сталого розвитку енергетичного сектору (п. 1.1, п. 1.2, п. 3.1). Діалектичний метод і метод теоретичного узагальнення – застосовано для опрацювання категоріально-понятійного апарату дослідження, зокрема дефініцій «економічна безпека», «енергетична безпека», «ризики», «управління ризиками» (п. 1.1, п. 1.2). Порівняльний аналіз і синтез – використано для дослідження методичних підходів управління енергетичною безпекою на різних рівнях (макро-, мезо-, мікро), а також для аналізу й узагальнення світового досвіду функціонування енергетичних систем та моделей управління енергетичною безпекою (п. 1.3). Методи системного та статистичного аналізу – застосовано для дослідження поточного стану

енергетичного сектора України, динаміки виробництва, імпорту й споживання енергії, розбудови відновлюваної енергетики, аналізу зношеності інфраструктури, а також ідентифікації проблем, спричинених воєнним станом та кризовими явищами (п. 2.1, п. 2.2). Методи ризик-орієнтованого аналізу, методи ідентифікації та ранжування загроз, включно з експертними й аналітичними методами, – застосовано для розроблення науково-методичних засад оцінювання ризиків енергетичній безпеці України, формування системи критеріїв та індикаторів і побудови моделі управління загрозами (п. 2.3). Таблично-графічний метод – використано для побудови схем, моделей, концептуальних парадигм, ланцюгів цінності, індикативних моделей стійкості smart microgrid, графіків, таблиць та структурних узагальнень (п. 1.1 – 3.3). Системний підхід – застосовано для визначення структури, взаємозв'язків та функціональних характеристик елементів енергетичної системи, механізмів забезпечення енергетичної безпеки та закономірностей впливу інноваційних технологій на стійкість енергетичного сектора (п. 1.2, п. 3.1 – 3.3). Методи моделювання та проєктного аналізу – використано для обґрунтування парадигми енергетичного сектора на принципах сталості, розроблення інноваційних механізмів управління енергетичною безпекою, побудови індикативної моделі smart microgrid у системі міської енергетики (п. 3.1, п. 3.3). Абстрактно-логічні методи – використано для постановки завдань, формування наукових узагальнень, обґрунтування висновків та пропозицій (п. 1.1 – 3.3).

Наукова новизна одержаних результатів. Основним науковим результатом дисертаційної роботи є розвиток теоретико-методичних засад та формування організаційно-практичного інструментарію щодо забезпечення енергетичної безпеки України на засадах сталого розвитку, що включає концептуалізацію резильєнтної парадигми розвитку енергетичного сектора, удосконалення підходів до ідентифікації та оцінювання загроз, а також розроблення інноваційних підходів щодо підвищення стійкості енергетичних систем у воєнний та повоєнний періоди. У дисертації отримано сукупність наукових результатів, які відображають різні рівні наукової новизни,

забезпечують комплексне вирішення визначених завдань та досягнення поставленої мети:

удосконалено:

- науково-методичний підхід оцінювання загроз енергетичній безпеці України, що синтезує сильні сторони індикативних систем, аналітичну рамку DPSIR (Drivers–Pressures–State–Impact–Response) та сучасні інтелектуальні методи обробки даних (ймовірнісні нейронні мережі, кластеризаційні алгоритми, статистичні класифікатори). Інтегрована модель, на відміну від традиційних підходів, забезпечує цілісне поєднання структурного аналізу, причинно-наслідкової діагностики та прогнозної аналітики. Це дозволяє розглядати загрози не як статичні індикатори ризику, а як динамічні, взаємопов'язані процеси, що еволюціонують під дією впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, та потребують адаптивного управління;

- комплексну модель інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків, яка системно поєднує технологічні, інституційні, економічні, екологічні параметри їх взаємодії, та базується на засадах циркулярної економіки, енергетичної автономності й стійкого регіонального розвитку. Удосконалена модель інтеграції додатково враховує принципи 4A (availability, accessibility, affordability, acceptability), що дозволяє оцінювати рівень доступності, економічної виправданості, технологічної прийнятності та соціальної підтримки впроваджуваних рішень. У взаємозв'язку з цим запропоновано систематизований набір заходів та засобів (інституційно-організаційні інструменти, економічні стимули та фінансові інструменти, техніко-технологічні заходи, управлінські та регуляторні заходи, соціально-комунікаційні інструменти, просторово-інфраструктурні заходи), реалізація яких створює умови для формування стійких виробничо-енергетичних екосистем на рівні територіальних громад, здатних забезпечувати енергетичну живучість, ресурсну циркулярність і довгострокову інвестиційну привабливість регіонів;

- індикативну модель стійкості smart microgrid, що передбачає формування цілісної, багаторівневої та системно орієнтованої методичної конструкції, яка

вперше поєднує структурно-організаційні передумови, технологічні інструменти та інтегровану систему індикаторів оцінювання у єдину логіку визначення рівня резильєнтності локальних енергетичних систем. Запропонована модель розглядає стійкість smart microgrid як множину взаємопов'язаних характеристик (енергетичну, технічну, кібернетичну, економічну, екологічну та соціально-управлінську), що дозволяє перейти від фрагментарного аналізу окремих параметрів до комплексної оцінки здатності системи функціонувати, адаптуватися та відновлюватися в умовах воєнних, природних і гібридних загроз. На відміну від існуючих моделей, які переважно зосереджуються на технічних аспектах роботи microgrid або на показниках енергоефективності, запропонований підхід інтегрує цифрові інструменти (DER, EMS, HESS, сенсорні мережі, P2P-платформи, цифрові двійники, Edge/AI-рішення), поєднує їх із контекстними умовами функціонування (інфраструктурними, політичними, регуляторними та фінансово-економічними), а також формує багатоаспектну систему оцінювання, що враховує вимоги сталості та післявоєнної відбудови. Практичне значення моделі полягає у можливості її використання як інструмента стратегічного та операційного планування для органів місцевого самоврядування, енергетичних компаній та органів державного управління: вона забезпечує виявлення вразливостей, порівняння альтернативних технологічних рішень, визначення пріоритетних напрямів інвестицій та оптимізацію управлінських рішень. Крім того, модель може бути застосована для проєктування локальних систем автономного енергозабезпечення, оцінювання програм модернізації інфраструктури та розроблення політик енергетичної стійкості, що робить її важливим інструментом у контексті енергетичного переходу та підвищення безпеки енергетичного сектора України;

– ланцюг створення цінності сталого розвитку енергетичного сектора, який відображає причинно-наслідкову послідовність формування стійкості енергосистеми на різних рівнях – від інституційної узгодженості до екологічної та ринкової результативності. На відміну від існуючих моделей, що переважно зосереджуються на окремих елементах енергетичної трансформації,

запропонований ланцюг цінності інтегрує управлінські, технологічні, безпекові, екологічні та економічні компоненти в єдину логічну конструкцію. Запропонований ланцюг цінності може слугувати методологічною основою для стратегічного планування розвитку енергетичного сектора в умовах воєнних та післявоєнних трансформацій, дозволяє оцінювати готовність енергосистеми до децентралізації, визначати пріоритети технологічної модернізації, встановлювати послідовність управлінських рішень та оптимізувати інвестиційні потоки. Він може бути використаний для формування державних програм розвитку енергетики, моделей оцінювання стійкості, розробки політик декарбонізації та кліматичної нейтральності, а також для імплементації принципів циркулярної економіки;

– теоретико-методичні основи забезпечення ефективного управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку шляхом обґрунтування цілісної системи структурних елементів парадигми розвитку енергетичного сектора (децентралізація, цифровізація, інтеграція ВДЕ та низьковуглецевих технологій, посилення фізичної та кібербезпеки, європейська інтеграція, інституційна модернізація, формування інфраструктури майбутнього) у поєднанні з групами інструментів досягнення кліматичної нейтральності (декарбонізація генерації, електрифікація та секторна інтеграція, smart grid і системи накопичення, воднева платформа, енергоефективність, циркулярна енергетика, ринкові та інституційні механізми). Це дозволило сформувати концептуальну модель сталого енергетичного переходу, у якій узгоджуються безпекові, кліматичні та інвестиційні пріоритети держави;

– організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України через формування багаторівневої системи, що інтегрує інституційно-ринкові, фінансово-економічні, управлінсько-функціональні та техніко-технологічні інструменти, включно з розвитком локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків, застосуванням інженерного менеджменту в поєднанні з ризик-орієнтованими підходами до управління, впровадженням цифрових систем моніторингу та аналітики. На відміну від існуючих підходів,

запропонована система розглядає енергетичну безпеку як результат взаємодії децентралізованих виробничо-енергетичних екосистем, ринкової інфраструктури та інструментів управління ризиками, що підвищує адаптивність і живучість енергетичного сектора в умовах довготривалих кризових впливів;

набуло подальшого розвитку:

– понятійно-категоріальний апарат теорії дослідження в частині поглиблення сутнісних характеристик понять: 1) поняття «енергетична безпека» визначено як динамічний стан захищеності національної енергетичної системи від внутрішніх і зовнішніх загроз, що забезпечує стабільне, економічно ефективне, технічно надійне, екологічно збалансоване та соціально прийнятне енергозабезпечення потреб суспільства й економіки у стабільних умовах функціонування, в умовах кризових ситуацій та трансформацій; передбачає інституційну спроможність держави до формування, реалізації та адаптації політики в енергетичній сфері з метою захисту національних інтересів і підтримки сталого розвитку. Такий підхід інтегрує системний, адаптивний і стратегічний підходи, фокусуючись на довготривалій стабільності та сталому розвитку, враховує інституційний вимір і політику безпеки, а також передбачає можливість подальшої операціоналізації через індикатори, стратегії та інструменти управління ризиками; 2) поняття «економічна безпека» визначено як збалансований та стійкий стан національної економіки, який досягається на основі ефективно функціонуючого механізму протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам (у т. ч. цілеспрямованим впливам), шляхом реалізації комплексу заходів, спрямованих на сталий розвиток країни у врівноважених вимірах (економічному, соціальному, екологічному); 3) «ризики» енергоринку визначено як імовірність виникнення певних наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспрямованих дій контрагентів; 4) «управління ризиками» в енергетичному секторі визначено як цілеспрямований, системний, проактивний та адаптивний процес ідентифікації та постійного моніторингу, оцінювання викликів та загроз (технічних, економічних,

екологічних, соціальних, кібернетичних та геополітичних) з використанням традиційних методів (страхування, диверсифікація, резервування, хеджування) та високим рівнем інформованості за рахунок використання цифрової аналітики, планування з метою оперативного реагування на динамічні виклики та упередження/ нівелювання/ мінімізації загроз.

– обґрунтування системи принципів забезпечення енергетичної безпеки шляхом доповнення її такими: системність та інтегрованість, гнучкість та адаптивність, інноваційність, прозорість та підзвітність, субсидіарність та багаторівневність управління, соціальна справедливість, що дало можливість вдосконалити концептуальні основи для узгодженості управлінських рішень із цілями сталого розвитку, формування стійкої моделі енергетичного розвитку та забезпечення енергетичної безпеки;

– обґрунтування ключових проблем, викликів та ризиків забезпечення енергетичної безпеки України з урахуванням сучасних реалій (воєнних загроз, технологічних трансформацій та вимог сталого розвитку), що дозволило ідентифікувати їх природу, масштаби та системні взаємозв'язки для подальшого формування ефективних управлінських рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Теоретичні висновки дисертаційної роботи доведені до рівня конкретних методичних положень, прикладних інструментів та управлінських рекомендацій, придатних для практичного застосування органами державної влади, органами місцевого самоврядування, енергетичними підприємствами та операторами критичної інфраструктури під час формування та реалізації політики енергетичної безпеки України на засадах сталого розвитку. Запропоновані у роботі концептуальні й аналітичні рішення враховують умови воєнного стану, необхідність повоєнного відновлення енергетичної системи та імплементацію європейських стандартів, визначених у Стратегії енергетичної безпеки України. Розроблена в дисертації парадигма розвитку енергетичного сектора на принципах сталості може бути використана як основа для оновлення державних та регіональних стратегічних документів: енергетичних стратегій, програм відновлюваної енергетики, планів

повоєнного відновлення, системи регіонального енергетичного планування. Запропонована індикативна модель оцінювання стійкості Smart Microgrid дає змогу визначати рівень готовності локальних енергетичних систем до воєнних, гібридних та техногенних загроз, формувати пріоритети інфраструктурної модернізації, а також обґрунтовувати необхідність інвестицій у децентралізовану генерацію, системи накопичення енергії, цифрові та кіберфізичні технології.

Практичну значущість та впровадження результатів дисертації, цінність наукового доробку для функціонування усіх галузей національної економіки та життєдіяльності людей засвідчили (довідки впровадження у Додатку А):

– Департамент економічного розвитку Хмельницької обласної військової адміністрації (довідка № 03.01-227/2025 від 29.12.2025 р.). Відзначено науковий доробок автора щодо обґрунтування комплексної моделі інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків в частині забезпечення реалізації на території області державної політики щодо створення і функціонування індустріальних (промислових) парків. Надані пропозиції будуть враховуватися в подальшій роботі, зокрема, під час розробки програм соціально-економічного розвитку області, Стратегії розвитку Хмельницької області та планів її реалізації, інших програм відповідно до визначених повноважень Департаменту;

– Департамент розвитку громад, будівництва та житлово-комунального господарства Хмельницької обласної військової адміністрації (довідка № 05/01-125 від 29.12.2025 р.). Відзначено пропозиції автора щодо забезпечення ефективного управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку шляхом обґрунтування цілісної системи структурних елементів парадигми розвитку енергетичного сектора у поєднанні з групами інструментів досягнення кліматичної нейтральності. Надані результати дисертаційної роботи проаналізовано, позитивно оцінено в цілому та будуть враховані Департаментом при розробці Програми підвищення енергоефективності Хмельницької області на 2027-2031 роки;

– Союз промисловців та підприємців Хмельницької області (довідка № С-71/-25 від 10.12.2025 р.). Відзначено цінність комплексної моделі інтеграції

локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків. Надані пропозиції автора були відзначені під час засідань Союзу промисловців і підприємців Хмельницької області, а також будуть використовуватися надалі у розробці регіональних Програм та при підготовці пропозицій промисловців та підприємців щодо вдосконалення нормативно-правової бази в частині регулювання енергетичного ринку та забезпечення енергетичної безпеки України;

– Хмельницька торгово-промислова палата (довідка № 22-05/1241 від 24.12.2025 р.). Основні положення дисертації були представлені для апробації на підприємствах – членах Хмельницької торгово-промислової палати, якими відзначено цінність розвитку концептуальних основ формування стійкої моделі енергетичного розвитку, зокрема, в частині застосування принципу адаптивності, важливості узгодженості управлінських рішень із цілями сталого розвитку та вимогами післявоєнної відбудови України. Надані пропозиції були відзначені під час засідань робочої групи з питань оновлення Стратегії регіонального розвитку на основі смарт-спеціалізації на період до 2027 р., а також будуть використані при підготовці планів реалізації Стратегій розвитку територіальних громад Хмельниччини, підвищення енергетичної незалежності бізнесу та територіальних громад, створення точок економічного зростання.

– Хмельницький національний університет (довідка № 035/169 від 26.12.2025 р.). Теоретичні положення та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, використовуються у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Економіка сталого розвитку», «Оцінювання ризиків при прийнятті управлінських рішень», «Соціально-економічна безпека бізнесу», «Управління проектами»; знайшли відображення у робочих програмах, змісті лекцій, кейсових завданнях, методичних матеріалах до самостійної роботи зазначених навчальних дисциплін.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є одноосібно виконаною науковою працею, у якій розв'язано наукове завдання розроблення науково-теоретичних, методичних та організаційно-прикладних підходів до

управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку в умовах воєнних та гібридних загроз, структурних трансформацій енергетичного сектора та повоєнного відновлення. Основні положення дисертації, наукові результати, висновки та рекомендації, що виносяться на захист, опубліковані у фахових наукових виданнях. З наукових праць, виконаних у співавторстві, у дисертаційній роботі використані лише ті результати, що належать особисто автору.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретико-методичні результати дослідження, практичні рекомендації були представлені автором та отримали позитивну оцінку на таких міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях²: Міжнар. наук.-практ. конф. «Сталі розумні міста та території: європейський досвід та можливості для України у повоєнний період» (20-21 травня 2025 р., Луцьк); X Міжнар. наук.-практ. конф. «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення» (10 квітня 2025 р., Бережани); VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство» (27-28 березня 2025 р., Київ); XI Міжнар. наук.-практ. конф. «Стратегії, моделі та технології управління економічними системами» (6 грудня 2024 р., Хмельницький); Міжнар. наук.-практ. конф. «Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація» (15-16 лютого 2024 р., Харків); IX Міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми управління соціально-економічними системами» (15 грудня 2023 р., Луцьк); II Międzynar. konferencja naukowa «Pedagogika, zarządzanie i inżynieria zarządzania wobec wyzwań współczesności» (14 listopada 2023 r., Wałbrzych); VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення» (18 жовтня 2023 р., Бережани); VI Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 125-річчю НУБіП України «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення» (26 квітня 2023 р., Бережани); XXI Міжнар. наук. сем. «Сучасні проблеми інформатики в

²розширений перелік участі у конференціях та представлення результатів дослідження за темою дисертації наведено у додатку М.

управлінні, економіці, освіті, подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи в умовах воєнного стану» (4-8 липня 2022 р., Київ – оз. Світязь); VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Інструменти регулювання національної економіки та національної безпеки в умовах сучасних глобальних викликів» (5 листопада 2021 р., Хмельницький); VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Розвиток України та її регіонів: реалії і перспективи» (20 жовтня 2021 р., Хмельницький).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 35 наукових праць. Основних – 22 публікації обсягом 8,73 д.а. (із публікацій у співавторстві враховано лише авторські частки), з них: 6 публікацій у фахових виданнях України, 1 навчальний посібник, 2 публікації у виданнях, які проіндексовані у наукометричних базах Scopus та Web of Science, 3 публікації у зарубіжних виданнях, 10 публікацій у збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає _299_ сторінок. Дисертація включає _27_ таблиць (з них _14_ таблиць займають _16_ повних сторінок), _29_ рисунків (з них _3_ рисунки займають _3_ повних сторінки), анотацію (на _8_ сторінках українською та англійською мовами), додатки (на _49_ сторінках), а також список використаних джерел із _337_ найменувань, що розміщений на _32_ сторінках.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ У СИСТЕМІ ЕКОНОМІЧНОЇ/НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

1.1. Сутність енергетичної безпеки та її місце у системі економічної/національної безпеки

Безпека є найважливішою цінністю суспільного буття людей, необхідною основою якісної життєдіяльності й подальшого розвитку людства. У науковій літературі є різні тлумачення поняття «безпека», проте традиційно прийнято виділяти три її категорії: безпека особистості/індивіда, безпека суспільства та безпека держави. Питання безпеки трактували мислителі, починаючи з античних часів. Аналіз поглядів філософів [130] дає підстави стверджувати, що суспільний договір, поява держави як інституції з функціями організуючого та регулюючого впливу на життєдіяльність людей та суспільні відносини обумовлювалася потребою в безпеці людей.

Необхідність підтримки стабільності та гарантій безпеки у суспільстві обумовило введення поняття «національна безпека» після закінчення Першої світової війни в рамках створення першої міжнародної та міждержавної організації «Ліга Націй». У 1919-1920 рр. на Паризькій мирній конференції було поставлене завдання щодо розвитку співробітництва та досягнення миру і безпеки між народами.

Дослідженню питань безпеки та управління нею, обґрунтуванню складових безпеки, з'ясуванню загроз та вагомості їх впливу на безпеку присвячено чимало публікацій зарубіжних та вітчизняних дослідників. Зокрема, серед наукових праць, які сприяли розвитку понятійно-категоріального апарату щодо сутності безпеки та основ її забезпечення є дослідження А. Уолферса, у якому запропоновано в середині минулого сторіччя визначення безпеки, яка «в об'єктивному контексті передбачає відсутність загроз набутим цінностям, у

суб'єктивному – відсутність страху стосовно того, що цим цінностям буде заподіяна шкода» [329, с. 148].

А. Качинський [67] визначає безпеку як стан захищеності життєво важливих інтересів особи, суспільства й держави, а також довкілля в різних сферах життєдіяльності від внутрішніх та зовнішніх загроз. У контексті трактування безпеки варто виокремити думку Я. Жаліло [58], який уточнює, що «стан захищеності» передбачає відсутність системоруйнівних загроз, які не можуть бути органічно подолані в рамках механізмів, іманентних даній соціально-економічній системі.

В. Ліпкан у публікації [72] приділяє увагу висвітленню питань наукового напряму безпекотворення, відзначаючи, що воно є основою ідеї безпеки, а безпека людини, суспільства, держави, навколишнього середовища у своїй органічній єдності є цілісною вартістю ідеї безпеки, основою сучасних безпекотворчих процесів. Автор трактує безпекознавство як своєрідну матрицю наук і наукових напрямів про безпеку, суспільну міждисциплінарну науку, в якій досліджуються загальні та специфічні закономірності організації та функціонування систем безпеки різного класу, розробляються на підставі їхнього пізнання загальні теоретичні положення, що спрямовані на підвищення ефективності їх функціонування.

Варто виокремити низку наукових публікацій, у яких обґрунтовано питання глобальної та національної безпеки, складові національної безпеки та проблеми її забезпечення. Зокрема, питанню безпеки у глобальному вимірі присвячено дослідження [15]. Проблеми світоцивілізаційної безпеки під призмою війни в Україні та роль України у системі міжнародної безпеки висвітлено у публікаціях [195; 197]. Г. Дарнопих досліджує складові елементи системи національної економічної безпеки [19]; методологічні аспекти, стан і тенденції розвитку національної безпеки висвітлено у праці [85].

В економічній енциклопедії [54, с. 537] національна безпека трактується як «сукупність зв'язків і відносин, що характеризують такий стан особи, соціальної групи, суспільства, держави, народу, коли гарантується їх стійке стабільне

існування, реалізація життєвих потреб, здатність до саморозвитку і прогресу, ефективного протистояння внутрішнім і зовнішнім загрозам».

У Законі України «Про національну безпеку України» [107], який ухвалено 21 червня 2018 р. на зміну попередньому, який втратив чинність у день прийняття діючого на сьогодні уже із змінами та доповненнями, прописано основи національної безпеки України. У Законі [107] національну безпеку України визначено як «захищеність державного суверенітету, територіальної цілісності, демократичного конституційного ладу та інших національних інтересів України від реальних та потенційних загроз».

Широкий спектр питань щодо сутності, стану та проблем забезпечення економічної безпеки як ключової складової національної безпеки висвітлено у працях Б. Губського [18], М. Дихи [48], В. Мунтіяна [84], А. Сухоруков та ін. [125], О. Шнипко [140] та ін. Питання моделювання економічної безпеки на макро-, мезо-, макрорівнях описано у праці [83].

Вагомими науковими доробками є ґрунтовні дослідження щодо висвітлення складових економічної безпеки. Зокрема, проблеми забезпечення фінансової безпеки знайшли відображення у працях О. Барановського [3], М. Єрмошенка [57]. Питання загроз енергетичній безпеці України й іншим країнам через залежність від російського газу, недостатню диверсифікованість джерел постачання енергоресурсів обґрунтовано у публікаціях [36; 191], які стали явними для країн цивілізованого світу, зокрема Німеччини, лише з початком повномасштабного вторгнення Росії на територію України. Спектр питань щодо забезпечення соціальної безпеки знайшли відображення у публікації [49], екологічної безпеки, – у публікаціях [47; 194].

Перші системні роздуми стосовно безпеки зустрічаються в працях Платона: «безпека – це відвернення шкоди», відсутність небезпеки для людини. У свою чергу Арістотель переконував, що суть безпеки полягає у самозбереженні: «...безпека визначається як природна властивість людини, природа наділила кожну істоту почуттям любові до себе...», тому й на сьогодні з точки зору філософії чи психоповедінкових особливостей людини можна вести

мову про інстинкти самозбереження. На думку Демокріта безпека є можливістю людини пристосуватися до умов проживання. При цьому цей представник античних часів стверджував, що потреба у підвищенні захищеності кожної особистості обумовлює виникнення суспільства. Відзначаємо доробок німецького філософа Г. Гегеля у трактування філософських основ безпеки індивіда, держави та власності. У роботі «Філософія права» Г. Гегель вводить одне з базових положень теорії безпеки – «загроза суспільній безпеці», а також відзначає головну роль держави в забезпеченні безпеки. Саме державі Г. Гегель відводить інтегральну функцію забезпечення безпеки індивіда, суспільства та держави. Відмова від цієї функції призводить до деградації усіх суспільних відносин, соціального устрою, що породжує спектр викликів та загроз для безпечного розвитку особи, соціальних груп і, власне, держави. Представники Нового часу (Б. Спіноза, Ж.Ж. Руссо, Т. Гоббс, Дж. Локк) у розуміння поняття «безпека» вкладали забезпечення безпечних умов життя особистості, її розвитку та самозбереження. Зокрема, Б. Спіноза головною метою «громадянського суспільства» вважав «мир та безпеку життя». Ж.Ж. Руссо однією із основних функцій держави називав «турботу про самозбереження». Т. Гоббс відзначав, що у природньому стані співіснування відбувається війна всіх проти всіх, яка породжує в людині страх перед загрозами власній безпеці. Такі загрози спонукають людину до об'єднання, до створення можливостей колективного захисту, передаючи державі для цього свої природні права. Дж. Локк стверджував, що «захист життя людини, її свободи та власного майна» є беззаперечним правом людини. Разом з тим, він зазначив, що у природньому стані такі права не завжди гарантовані, адже інші люди не завжди поважають права, свободи та прагнення окремих індивідумів. [130] Тому, для гарантування особистої безпеки, подолання загроз безпеці, люди створили державу.

Згідно ідеалістичного контексту «вічного миру» І. Канта модель міжнародних відносин і міжнародної безпеки має ґрунтуватися на дотриманні норм міжнародного договору та на діяльності федерації суверенних / незалежних і рівноправних держав, невторчання у політичний устрій і управління інших

держав; унеможливленні потенційних війн (дотримуючись мирних договорів державами) та ін. [130].

Еволюційно сформувалися дві основні концепції щодо забезпечення безпеки: 1) концепція Т. Гоббса; 2) концепція І. Канта. Філософи обґрунтовували концепції безпеки під призмою «природного стану» людини, що означає війну всіх проти всіх. Задля припинення війни автори вбачали необхідність встановлення безпечного стану, який умовно можна позначити як «громадянський». Проте, способи та інструменти забезпечення безпеки різняться. Т. Гоббс обґрунтовував, що держава або суверен є інструментом створення такого громадянського стану, у якому може забезпечуватися безпека кожного індивіда. Згідно концепції безпеки Т. Гоббса людина/людська спільнота має відмовитися від свого «права на все» та делегувати частину власних повноважень державі, яка і виступає представником людини (спільноти) та гарантує людині (спільноті) захист від свавілля за допомогою апарату державного примусу. Страх перед загрозами особистій безпеці, необхідність пошуку способів та засобів захисту обумовив доцільність колективного захисту від загроз, передумови формування держави. І. Кант, навпаки, обґрунтовував соціальний підхід до забезпечення безпеки, вважаючи, що інструментом забезпечення безпеки можуть бути лише внутрішні (моральні) зобов'язання індивідів. Тобто людина як соціальна істота повинна жити у суспільстві/спільноті на основі спільно вироблених умов/правил життя для вільного співіснування один із одним. У той же час, І. Кант висував тезу необхідності створення колективних систем безпеки, формою реалізації якої по суті можна вважати і державу. [32; 130]

Термін «безпека» як спокійний стан духу людини, яка вважала себе захищеною від будь-якої небезпеки, почав використовуватися з 1190 р.. У XVII-XVIII ст., коли практично в усіх країнах утверджувалася точка зору, що головною функцією держави є забезпечення безпеки, термін «безпека» трактувався як стан, ситуація спокою, яка виникає в результаті відсутності реальної небезпеки. Певний рівень (стан) безпеки обумовлюється економічними,

політичними умовами, а також діяльністю відповідних державних органів та організацій, що сприяють формуванню такої ситуації/стану, здійснюють регуляторні функції.

Кризові явища у світовій і в національних економіках посилювали увагу до питань економічної безпеки держав та її складових. Зокрема, у процесі пошуку кардинальних рішень, здатних вивести американську економіку з глибокої економічної кризи 1929-1933 рр., президентом США Ф. Рузвельтом вперше було застосовано поняття «економічна безпека». У кінці ХХ ст. поняття «економічна безпека» зайняло особливе місце в низці загальносистемних категорій, що характеризують стан суспільства і держави. Каталізатором підвищення інтересу до вивчення економічної безпеки послужили глобалізація та інтернаціоналізація світового господарства. На 40-й сесії Генеральної Асамблеї ООН (1985 р.) була прийнята резолюція «Міжнародна економічна безпека», у якій відзначалась необхідність сприяння забезпеченню міжнародної економічної безпеки з метою соціально-економічного розвитку і прогресу кожної країни.

Етапи еволюційного становлення системи забезпечення безпеки держави представлено у таблиці Б.1 додатку Б. Зазначаємо, що лише у ХХ-му ст. науковці почали розвивати понятійно-категоріальний апарат з питань безпеки, виділяючи економічну безпеку у системі забезпечення безпеки на різних рівнях (держави, суб'єкта господарювання) та складові економічної безпеки.

Потреба в безпеці належить до базових, першочергових потреб людини, соціальних спільнот. На відміну від багатьох інших потреб, потребу у безпеці неможливо повністю задовольнити, оскільки загрози безпеці існують постійно. Тому розвиток теоретико-методичних основ забезпечення економічної безпеки сприятиме формуванню дієвих механізмів щодо її забезпечення. На сьогоднішній день проблеми економічної безпеки перебувають в центрі уваги зарубіжних і вітчизняних науковців. Досягнення певного рівня розробок і результатів досліджень проблем економічної безпеки сприяло розширенню горизонтів наукового пізнання, систематизації знань у даній сфері, напрацюванню

теоретико-методологічних основ та підґрунтя для забезпечення економічної безпеки в сучасних реаліях.

Аналізуючи сутність поняття «економічна безпека» доцільно зауважити про наявність численних класифікаційних підходів до його трактування: ресурсно-функціонального, захисного, стійкісного, інформаційного, фінансового, інвестиційного, інноваційного, конкурентного, гармонізаційного, економіко-правового. Виокремлення таких підходів обумовлюється у значній мірі відповідними складовими економічної безпеки (фінансова, енергетична, демографічна, продовольча, зовнішньоекономічна, соціальна) [48]. Загалом на сьогоднішній день є кілька десятків визначень поняття «економічна безпека». Деякі з них наведено у таблиці Б.2 додатку Б. Сутність поняття «економічна безпека» дослідники розглядають:

- як стан захищеності життєво важливих інтересів від внутрішніх і зовнішніх загроз;
- як недопущення переходу окремих параметрів безпеки за граничні значення;
- з позиції функціонального та відтворювального підходів до забезпечення економічної безпеки.

Розкриваючи сутність економічної безпеки дослідники по різному трактують сутність поняття «економічна безпека», поєднують підходи до визначення, акцентують увагу на певних аспектах.

Авторський колектив [2], визначаючи економічну безпеку як «здатність економічної системи країни протистояти негативному впливу об'єктивних та суб'єктивних чинників...», по суті вкладає у її зміст необхідність формування стану захищеності; з іншого боку «... досягнення макроекономічних цілей розвитку на рівні постіндустріальних держав» спрямовує розуміння економічної безпеки у контекст досягнення певних значень або досягнення певних параметрів безпеки», проте останні також носять узагальнений / «розмитий» характер.

Г. Дарнопих [19], характеризуючи економічну безпеку як «здатність підтримувати послідовну реалізацію інтересів, стійку дієздатність господарчих

суб'єктів, нормальні умови життєдіяльності населення», по суті окреслює недопущення переходу окремих параметрів безпеки за граничні значення. Проте, доцільним є визначення відповідних параметрів безпеки, розуміння того, що вважати «нормальними умовами».

Зазначимо, що у працях науковців досить чітко відслідковується функціональний підхід у висвітленні питань безпеки, що виражається у формулюваннях щодо нейтралізації реальних та потенційних загроз; забезпеченні захищеності від небезпек; створенні сприятливих умов розвитку та забезпеченні захисту життєво важливих національних інтересів. Функціональний підхід до трактування сутності економічної безпеки у значній мірі корелюється із визначеннями сутності «національна безпека» як категорії безпеки вищого ієрархічного рівня.

«Відтворювальний» підхід до трактування сутності поняття «економічна безпека» прописаний такими науковцями: О. Білорус і Д. Лук'яненко [15], М. Диха [48], М. Єрмошенко [57], Я. Жаліло [58], В. Мунтіян [84].

М. Диха [48], М. Єрмошенко [57], В. Мунтіян [84], А. Сухоруков [125], В. Шлемко та Г. Бінько [139] вкладають також у зміст поняття «економічна безпека» необхідність формування стану захищеності (економіки, економічних відносин, суб'єктів господарювання) від загроз. Варто звернути увагу на важливості системи превентивних заходів з недопущення загроз, про які описано у публікації М. Диха [48].

Б. Губський у публікації [18, с. 13] також зауважує, що основним критерієм економічної безпеки є здатність економіки країни зберігати або, принаймні, швидко поновлювати критичний рівень суспільного відтворення в умовах зменшення поставок ресурсів, товарів, послуг, технологій або в умовах кризових ситуацій внутрішнього характеру.

Варто зауважити, що у трактуванні «економічної безпеки» Г. Пастернак-Таранушенко [99, с. 99] прослідковується соціальна спрямованість, адже відповідний стан автор прямо корелює із розвитком умов для плідного життя населення та зростанням добробуту її мешканців.

Результатом наукових досліджень у сфері економічної безпеки стало законодавче закріплення цієї складної та багатогранної категорії. Відповідно до наказу Міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 1277 від 29 жовтня 2013 р. «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України»: економічна безпека – це стан національної економіки, який дає змогу зберігати стійкість до внутрішніх та зовнішніх загроз, забезпечувати високу конкурентоспроможність у світовому економічному середовищі і характеризує здатність національної економіки до сталого та збалансованого зростання [106].

Узагальнюючи результати досліджень вважаємо, що до трактування сутності поняття «економічна безпека» та її забезпечення необхідно підходити системно. Окреслення «економічної безпеки» у рамках певного підходу обумовлює «втрату» / імовірність неврахування важливих складових, звужує її значимість та важливість забезпечення. Управління економічною безпекою з урахуванням лише окремих контекстів призведе до проблем її забезпечення через неврахування певних необхідних складових, які впливають на неї.

Враховуючи вище викладене вважаємо, що економічну безпеку варто розглядати під призмою її забезпечення, створення умов досягнення належного рівня безпеки, а не лише з позиції констатації існуючого її рівня та відповідних здатностей національної економіки.

Таким чином, поняття «економічна безпека» ми трактуємо як збалансований та стійкий стан національної економіки, який досягається на основі ефективно функціонуючого механізму протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам (у т. ч. цілеспрямованим впливам), шляхом реалізації комплексу заходів, спрямованих на сталий розвиток країни у врівноважених вимірах (економічному, соціальному, екологічному). Орієнтація на систему цілей сталого розвитку, яка сформована за принципом «нікого не залишити осторонь», сприятиме сталому розвитку економіки; створенню передумов для покращення рівня життя громадян, включаючи створення умов та реалізацію системи заходів щодо

забезпечення безпеки підсистем (зокрема, енергетичної, фінансової, зовнішньоекономічної тощо).

Енергетична безпека є ключовою складовою економічної безпеки, оскільки забезпечує стабільне, надійне та доступне постачання енергоресурсів для функціонування національної економіки. Вона безпосередньо впливає на стійкість виробничих процесів, конкурентоспроможність підприємств і здатність держави реагувати на внутрішні та зовнішні економічні виклики. Таким чином, у системі стратегічного управління національною безпекою енергетична безпека займає особливе місце як базовий елемент економічної стійкості.

Енергетична безпека виступає підсистемою економічної безпеки, яка, у свою чергу, є однією з ключових складових національної безпеки. Від рівня енергетичної стабільності залежить здатність економіки функціонувати безперебійно, що забезпечує стійкість держави перед внутрішніми й зовнішніми загрозами, та сприяє збереженню суверенітету, добробуту населення й стратегічної автономії.

Співвідношення понять «національна безпека», «економічна безпека» та «енергетична безпека» визначається їх взаємозалежністю (рис. 1.1). Значимість енергетичної безпеки у системі забезпечення економічної безпеки, ієрархію енергетичної безпеки у системі рівнів (глобального, національного, регіонального, локального) наочно проілюстровано на рис. Б.1, Б.2 додатку Б.

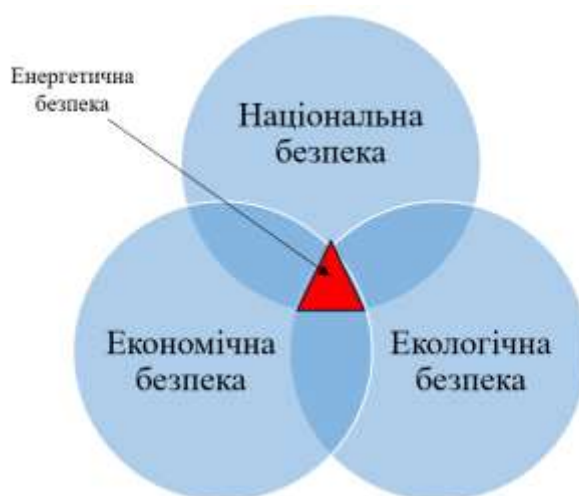


Рис. 1.1. Місце енергетичної безпеки у системі національної безпеки, [203].

Міжнародне енергетичне агентство (ІЕА) визначає енергетичну безпеку як «безперебійну доступність енергетичних ресурсів за прийнятною ціною» [238], що означає здатність суспільства стабільно забезпечувати себе енергією без загрози її раптової втрати. Досягнення енергетичної безпеки має надзвичайно важливе значення, оскільки енергія є фундаментальною основою функціонування економіки, інфраструктури та добробуту населення.

У науковому дискурсі спостерігається поступова еволюція підходів до визначення поняття «енергетична безпека», що відображає зміну пріоритетів, контекстів та чинників, які впливали на його тлумачення у різні історичні періоди. Трамбування поняття «енергетична безпека» систематизовано у хронологічному порядку у таблиці 1.1.

Перші спроби концептуалізації поняття енергетичної безпеки розпочинається з 1970-х рр. (після енергетичної кризи 1973 р.). Одне з перших визначень належить М. Вілрічу [328], який трактував енергетичну безпеку як «гарантію достатнього постачання енергії для забезпечення функціонування національної економіки у політично прийнятний спосіб».

Таблиця 1.1

**Еволюційний контекст трактування поняття «енергетична безпека»
у зарубіжній літературі***

Хронологічний етап	Рік	Автор / інституція	Ключові акценти	Основні виміри
1	2	3	4	5
1. Початкове формулювання (1970-ті рр.)	1976	Willrich M., [328]	Гарантія достатнього постачання енергії для функціонування національної економіки у політично прийнятний спосіб	Економіка, політика, доступність, національний рівень
	1979	Deese D., [186]	Енергетична безпека як стан, а не політика; акцент на державі, а не індивідах	Державна система, ресурсна доступність
2. Початок мультимірного підходу (1980-1990 рр.)	1981	Lovins A., Lovins L., [265]	Необхідно враховувати більше вимірів, не лише наявність постачання нафти	Мультимірильність, не лише нафта
	1993	Bohi D., Toman M., [169]	Визначення від протилежного: втрата добробуту через цінові коливання	Соціально-економічна стабільність, вплив цін
	1997	Neff T., [277]	Акцент на поєднанні енергетичної, національної та регіональної безпеки	Національна, регіональна безпека

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
3. Інституціо- налізація та екологізація (2000-2005 рр.)	2000	UNDP, [317]	Додано нові поняття: локальність, постачання, імпорт	Доступність, імпортозалежність, локальний рівень
	2001	IEA, [238]	Фізична доступність постачання	Фізична наявність ресурсів
	2004	UNDP, [317]	Додано вимір екологічної безпеки	Довкілля, ризики, сталість
	2005; 2006	Onamics GRC, [283]; Jan K, Goldwyn D., [240]; Gawdat B., [218]; Dorian J. et al., [187]	Визначення охоплюють інфраструктуру, національну енергетичну потужність та сталий розвиток	Інфраструктура, суверенітет, сталість
4. Поглиблення концептуального підходу (2006-2010 рр.)	2006– 2009	Hughes L. [233], Bruusgaard K. [173], Yergin D. [333], Jansen J. [241]	Визначення доповнюються роллю державної політики, впливом на національний суверенітет, доступності та вартості, подальшою екологізацією, забезпеченням енергетичної ефективності	Політика, екологія, ефективність, військовий аспект, вартість, загрози
	2007	Rutherford J. et al., [302]	Електроенергія визначається як ключовий ресурс	Заміна нафти на електроенергію, системність
5. Сучасний етап (2011- ...)	2012	Johansson T., Nakićenović N. [245]	Універсальний підхід до визначення енергосистеми (нафта, газ, електрика)	Гнучкість, ризики, послуги (з боку споживача)
	2013	Čehulić L. at al., [175]	Свобода від збоїв у постачанні енергії з будь- яких причин	Універсальність, спрощення, акцент на постачанні
	2013	Jewell J. at al. [242, 243]	Низька вразливість життєво важливих енергетичних систем	Системність, загрози, потреба у конкретизації
	2015	Kucharski J., Unesaki H., [259]	Оцінювання різних типів ризиків у енергетичній системі	Ризики, системна оцінка, процесний підхід
	2011	Valentine S., [321]	Посилення ролі відновлюваних джерел енергії	Пріоритет розвитку чистої енергетики
	2020	Azzuni A. et al., [161]		

*систематизовано автором.

Попри акцент на економічному, політичному та ресурсному аспектах, у його праці розглядались і інші складові. Аналогічний підхід до трактування енергетичної безпеки застосували Л. Міллер та співавтори [268], однак із меншою глибиною опрацювання змістових вимірів. Подальший внесок у

розуміння енергетичної безпеки здійснив Д. Діс [186], який наголосив, насамперед, на стані енергетичної безпеки, а не політичних аспектах, що її супроводжують, на першочерговій ролі держави, а не індивідуумів у системі забезпечення енергетичної безпеки.

У 1980-х рр., на тлі певної глобальної стабілізації, спроб сформулювати нові визначення було небагато. Зокрема, А. Ловінс та Л. Ловінс [265] вказували на необхідність розширити трактування енергетичної безпеки виключно як забезпечення безперервного постачання нафти, підкреслюючи її багатовимірність.

У 1990-х рр., після війни в Перській затоці, Д. Бохі та М. Томан [169] запропонували визначати енергетичну безпеку від зворотнього: як втрату добробуту внаслідок змін у цінах (наприклад, через конфлікти). У цей період Т. Нефф [269] акцентував увагу на поєднанні енергетичної, національної та регіональної безпеки.

На початку XXI ст. інституційний інтерес до проблематики енергетичної безпеки активізувався. Програмою розвитку ООН (UNDP) [317] було додано нові елементи у визначення, зокрема – локальність, імпортозалежність та фізична доступність. Міжнародне енергетичне агентство (IEA) також зосередилось на фізичній наявності енергоресурсів [238], однак було зазначено, що навіть їх надмірна наявність може мати негативні наслідки, відомі як «енергетичне прокляття». У подальшому до визначень було додано надійність постачання як здатність протистояти зовнішнім шокам [166], а також безпечність – як відсутність ризиків і збоїв [165, 260], що стало особливо актуальним на тлі військових дій в Іраці та Афганістані. UNDP [317] доповнено визначення ще однією характеристикою – екологічною складовою.

У 2005 р. концепція енергетичної безпеки була розширена за рахунок включення інфраструктурного забезпечення [283], національної енергетичної потужності [240] та сталого розвитку [218]. У період 2006-2010 рр. відбулося помітне поживавлення наукових досліджень. Так, Л. Хьюгз визначає енергетичну безпеку як «...дії чи політику уряду, що забезпечують доступ громади до

надійних та безпечних джерел енергії за розумною ціною...» [233]. Д. Єргін додає геополітичний вимір, стверджуючи, що енергетична безпека – це «...гарантія адекватного, надійного постачання енергії за розумною ціною та таким чином, щоб не ставити під загрозу основні національні цінності та цілі...» [333]. Дж. Доріан відзначає, що «...енергетична безпека стосується рівня безпеки потужності національної або регіональної енергетичної системи для адекватного постачання енергії за розумними та прийнятними цінами...» [187].

Отже, характерною рисою цього етапу стало послідовне доповнення поняття «енергетична безпека» новими складовими: роль державної політики (Л. Хьюгз [233]), національний суверенітет (К. Бруусгаард [173]), доступність та вартість енергоресурсів (Д. Єргін [333]), часова динаміка [256], екологічний вплив [272], енергетична ефективність [241], воєнна складова [295]) тощо. У визначення поняття «енергетичної безпеки» складову «сталості» було вперше інтегровано як самостійний концепт у публікації [162].

Із часом у трактуванні енергетичної безпеки електроенергія почала витісняти домінуючий раніше енергоресурс – нафту [302]. Після 2010 р. вчені продовжили розширення поняття, прагнучи охопити максимальну кількість вимірів [198; 230, 255; 285], що, однак, ускладнило семантичну конструкцію сприйняття поняття енергетичної безпеки.

Відносно універсальний підхід був запропонований Т. Йоганссоном та Н. Накиченовичем [245], які сформулювали визначення, яке може бути використане для будь-якої енергосистеми (нафта, газ, електроенергія), але з обмеженням урахуванням виробничого аспекту. Інша спроба, – визначення від Л. Чехуліча та співавторів [175]: «...свобода від збоїв у постачанні енергії з будь-яких причин...», зосереджене на постачанні. Дж. Джевелл та співавтори [242, 243] запропонували концепцію «низької вразливості життєво важливих енергетичних систем», що вимагає уточнення понять «вразливість», «життєво важливий». У цьому ж контексті Дж. Кучарські й Х. Унесакі [259] окреслили енергетичну безпеку як «...оцінювання різних типів ризиків у енергетичній системі..», підкреслюючи динамічний характер цього феномену. Водночас це визначення

лише частково охоплює зміст поняття, адже оцінка ризиків – лише одна з функцій у межах ширшої системи забезпечення енергетичної безпеки.

У контексті подальшої еволюції розвитку енергетичної системи відновлювані джерела енергії набувають дедалі більшого значення у трактуванні енергетичної безпеки. А. Азуні та співавтори наголошують, що система електроенергетики, яка базується на відновлюваних джерелах енергії (на відміну від поточного енергетичного балансу, що базується переважно на нафті та природному газі), значно покращить енергетичну безпеку за такими аспектами, як доступність, вартість, навколишнє середовище та здоров'я, а також збереже постійний рівень диверсифікації енергоресурсів [161].

Аналіз еволюції визначень енергетичної безпеки в зарубіжній літературі засвідчив багатовимірність цього поняття та наявність різних підходів до його тлумачення залежно від історичного контексту, геополітичних умов і пріоритетів розвитку.

Також проаналізуємо праці вітчизняних науковців, аби простежити, наскільки національна дослідницька традиція відображає або відрізняється від світових концептуальних підходів до визначення енергетичної безпеки. Результати узагальнення існуючих підходів до трактування поняття «енергетична безпека» у працях українських вчених (таблиця 1.2) показують, що енергетична безпека інтерпретується не лише як гарантія стабільного енергопостачання, а й як важливий чинник енергетичної незалежності держави, економічної стабільності, національної безпеки, екологічної прийнятності. Аналіз визначень поняття «енергетична безпека» засвідчує наявність широкого спектра підходів до його трактування: від функціонально-технічних, економічних до організаційно-просторових, політико-інституційних. Більшість авторів розглядає енергетичну безпеку як стан захищеності від внутрішніх і зовнішніх загроз, здатність до надійного енергозабезпечення, а також як важливий інструмент реалізації національних інтересів. У фокусі уваги перебувають поняття надійності, незалежності, ефективності, технічної безпеки, екологічної прийнятності та політичної автономії.

Таблиця 1.2

**Підходи до трактування поняття «енергетична безпека»
у працях українських вчених***

Автор	Визначення поняття	Складові
1	2	3
Шидловський А., Ковалко М., [96]	Енергетична безпека як одна із найважливіших складових економічної безпеки проявляється, по-перше, як стан забезпечення держави паливно-енергетичними ресурсами, що гарантують її повноцінну життєдіяльність і, по-друге, як стан безпеки енергетичного комплексу та здатність енергетики забезпечити нормальне функціонування економіки, енергетичну незалежність країни. Політична і енергетична незалежність є взаємообумовленими	Енергетична незалежність, економічна стабільність, безпека ПЕК
Микитенко В., [79]	Енергетична безпека – система поєднання потенціалів – економічного, політичного, техніко-технологічного, ресурсного і, власне, енергетичного, а також факторів наукового, географічного, організаційного, управлінського тощо, без урахування яких аналіз будь-якої безпеки неможливий	Комплексність, мультидисциплінарність, системність
Суходоля О., Харазішвілі Ю., Бобро Д. [123]	Енергетична безпека – спроможність країни технічно надійним та безпечним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом забезпечити: задоволення потреб суспільства в енергоресурсах; стале функціонування національної економіки в нормальних і кризових умовах; незалежність країни у формуванні та здійсненні політики захисту національних інтересів	Стійкість, ефективність, екологічність, незалежність
Земляний М., [62]	Енергетична безпека країни – стан її захищеності від загроз енергетичного характеру	Загрози, вразливість
Сухін Є., [122]	Енергетична безпека – спроможність держави забезпечити максимально надійне, технічно безпечне, екологічно прийнятне та обґрунтовано достатнє енергозабезпечення економіки й населення, а також гарантоване забезпечення можливостей керівництва держави у формуванні і здійсненні політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без надмірного зовнішнього та внутрішнього тиску в сучасних та прогнозованих умовах	Надійність, стратегічна автономія, політична безпека
Бобров Є., [5, с. 20]	Енергетична безпека являє собою захищеність у енергозабезпеченні держави, захищеність держави в енергетичній сфері, а також захищеність систем енергозабезпечення в різних умовах	Обороздатність енергетичної системи
Лойко В., [71]	Енергетична безпека – стан захищеності держави або регіону в енергетичній сфері від наявних і потенційних загроз внутрішнього та зовнішнього характеру шляхом диверсифікації джерел постачання енергоресурсів, забезпечення безпеки енергетичної інфраструктури, впровадження нових технологій для зниження залежності від імпорту енергоресурсів за рахунок розвитку нетрадиційної енергетики	Диверсифікація, технологічне оновлення, регіональний вимір

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Мочерний С. та ін., [53, с. 354]	Енергетична безпека – наявність економічного суверенітету країни у забезпеченні себе паливно-енергетичними ресурсами	Суверенітет, самозабезпечення
Шевцов А. та ін., [137, с. 41]	Енергетична безпека – стан готовності ПЕК країни щодо максимально надійного, технічно безпечного, екологічно прийнятного, економічно ефективного та достатньо обґрунтованого енергозабезпечення економіки держави й населення, а також щодо гарантованого забезпечення можливості керівництва держави у формуванні і здійсненні політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без зовнішнього і внутрішнього тиску	Ефективність, керованість, безпека
Прокіп А., [113, с. 11]	Енергетична безпека у вузькому розумінні – незагрозливий рівень залежності країни від зовнішніх постачальників енергоресурсів, який убезпечує функціонування національної економіки та її енергетичного сектору від можливості зовнішнього політичного тиску; у широкому розумінні – охоплює всі сфери життя людини, з якими пов'язана енергетика	Геополітична вразливість, гуманітарний контекст
Енергетична Стратегія України [111]	Енергетична безпека – це захищеність національних інтересів у сфері забезпечення доступу до надійних, стійких, доступних і сучасних джерел енергії технічно надійним, безпечним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом в нормальних умовах і в умовах особливого або надзвичайного стану	Стратегічне планування, збалансованість, державна політика
Методика розрахунку рівня економічної безпеки України [106]	Енергетична безпека – це стан економіки, що сприяє ефективному використанню енергетичних ресурсів країни, наявності на енергетичному ринку достатньої кількості виробників та постачальників енергії, а також доступності, диференційованості та екологічності енергетичних ресурсів	Національна безпека, функціональна готовність
Диха В., авторське визначення	<i>Енергетична безпека – це динамічний стан захищеності національної енергетичної системи від внутрішніх і зовнішніх загроз, що забезпечує стабільне, економічно ефективне, технічно надійне, екологічно збалансоване та соціально прийнятне енергопозабезпечення потреб суспільства й економіки у стабільних умовах функціонування, в умовах кризових ситуацій і трансформацій; передбачає інституційну спроможність держави до формування, реалізації та адаптації політики в енергетичній сфері з метою захисту національних інтересів і підтримки сталого розвитку</i>	<i>Інтегрує системний, адаптивний і стратегічний підходи, фокусуює на стабільності та сталому розвитку, враховує інституційний вимір і політику безпеки, передбачає можливість подальшої операціоналізації через індикатори, стратегії та інструменти управління ризиками.</i>

*систематизовано автором.

Більшість авторів розглядає енергетичну безпеку як стан захищеності від внутрішніх і зовнішніх загроз, здатність до надійного енергозабезпечення, а також як важливий інструмент реалізації національних інтересів. У фокусі уваги перебувають поняття надійності, незалежності, ефективності, технічної безпеки, екологічної прийнятності та політичної автономії.

Разом з тим, виявлено низку концептуальних прогалин. Насамперед, в обґрунтуваннях визначень науковцями недостатньо висвітлено структурну динаміку енергетичних систем, аспекти цифровізації, розвитку децентралізованих технологій (зокрема, смарт-мереж), ролі інновацій, сучасних механізмів управління ризиками, а також питання декарбонізації, поводження з відходами енергетичного сектору. Відсутній чіткий акцент на адаптивності системи енергетичної безпеки до процесів довготривалих трансформацій, таких як енергетичний перехід, кліматична політика, геоекономічні зрушення.

Крім того, в обґрунтуванні більшості визначень недостатньо представлені індикативно-оцінювальні підходи, які б дозволяли операціоналізувати поняття енергетичної безпеки в контексті конкретних стратегій, політик і вимірюваних показників. Недостатньо уваги приділено також інституційним та соціальним чинникам, зокрема, ролі участі громад, складовим корпоративної відповідальності, інституційної спроможності держави та довіри до управлінських структур у сфері енергетики.

Таким чином, для комплексного й релевантного розуміння енергетичної безпеки в умовах сучасних викликів доцільно розширити існуючі підходи до трактування дефініції «енергетична безпека» шляхом врахування новітніх викликів, багаторівневого контексту, а також інструментів оцінювання енергетичної безпеки та управління нею. Це сприятиме переходу від декларативного до стратегічно-прикладного тлумачення цього поняття.

З урахуванням узагальнення зарубіжних і вітчизняних наукових підходів до висвітлення поняття «енергетична безпека», сучасних викликів, а також необхідності стратегічної орієнтованості й операціоналізації поняття,

енергетичну безпеку ми трактуємо як динамічний стан захищеності національної енергетичної системи від внутрішніх і зовнішніх загроз, що забезпечує стабільне, економічно ефективне, технічно надійне, екологічно збалансоване та соціально прийнятне енергозабезпечення потреб суспільства й економіки у стабільних умовах функціонування, в умовах кризових ситуацій та трансформацій; передбачає інституційну спроможність держави до формування, реалізації та адаптації політики в енергетичній сфері з метою захисту національних інтересів і підтримки сталого розвитку.

Запропоноване визначення енергетичної безпеки інтегрує системний, адаптивний і стратегічний підходи, що дозволяє охопити як структурні характеристики енергетичної сфери, так і її динамічну здатність реагувати на внутрішні й зовнішні виклики. Воно акцентує увагу на досягненні довготривалої стабільності та забезпеченні сталого розвитку як ключових орієнтирах у формуванні сучасної політики безпеки. Окрім того, таке бачення включає інституційний вимір, враховує роль державної політики у сфері енергетичної безпеки, а також є відкритим до подальшої операціоналізації через формування відповідних індикаторів, стратегій та інструментів управління ризиками.

1.2. Науково-методичні основи управління енергетичною безпекою

Незважаючи на численні наукові розвідки, дотепер не сформовано універсальної та загальноприйнятої концепції управління енергетичною безпекою. На основі огляду наукової літератури, можна виділити такі концептуальні підходи до управління енергетичною безпекою, які найчастіше використовуються в академічному дискурсі та на практиці:

1) підходи, засновані на кількісній оцінці різних аспектів енергетичної безпеки з використанням індексів, показників, систем статистичного моніторингу;

2) концепції, орієнтовані на безпеку енергопостачання, що структуруються через рамкову модель 4A (availability, accessibility, affordability, acceptability);

3) концепції, які інтегрують міжгалузеві взаємозв'язки, ризики та інституційні параметри управління.

Аналіз зазначених підходів створює підґрунтя для розробки науково-методичних основ управління енергетичною безпекою на макро-, мезо- та мікрорівнях, що і стане предметом подальшого розгляду.

Підходи, засновані на кількісній оцінці різних аспектів енергетичної безпеки, ґрунтуються на використанні індексів, систем показників і методик статистичного моніторингу, які дозволяють об'єктивно вимірювати рівень захищеності енергетичної системи за окремими параметрами, що буде детальніше розглянуто у п.п. 2.3 роботи. Такі інструменти активно використовуються в аналітичній та управлінській практиці для оцінювання динаміки ризиків, ефективності політик і порівняння між країнами.

Управління енергетичною безпекою у багатьох країнах та регіонах світу тривалий час ґрунтується на підходах, розроблених національними та транснаціональними агентствами, зокрема Міжнародним енергетичним агентством, ОПЕК, Європейським Союзом, APERC і МАГАТЕ. Значна частина цих стратегій інтегрує так звану рамкову модель 4А, яка розглядається у літературі як традиційний концептуальний інструмент формування політики безпеки енергопостачання [157; 159; 162; 313]. Згідно з цією моделлю, ефективне управління енергетичною безпекою повинно охоплювати такі ключові складові [159; 178]:

- доступність (availability) – управлінська спроможність гарантувати стабільне, безперебійне та достатньо містке постачання енергії, що передбачає фізичну наявність ресурсів в енергетичній системі на довгостроковий період. Це вимагає стратегічного прогнозування енергобалансу та розвитку інфраструктури;

- доступність за ціною (affordability) – реалізація цінової політики, яка забезпечує прийнятний рівень витрат на енергію для економіки та домогосподарств. В управлінському сенсі йдеться про контроль тарифів, зниження енергомісткості ВВП та стимулювання інвестицій в енергоефективність;

– прийнятність (acceptability) – здатність управлінських рішень у сфері енергетики відповідати екологічним стандартам і соціальним очікуванням. Це включає впровадження механізмів соціальної підтримки, прозорого обґрунтування енергетичних проєктів і поступову декарбонізацію через стимулювання відновлюваної енергетики;

– підзвітність (accountability) – інституційне забезпечення відповідальності усіх учасників енергетичного сектору за прийняті рішення та наслідки їх реалізації. У рамках управління це означає формування прозорих процедур, контроль за дотриманням стратегій безпеки та забезпечення рівного доступу до енергоресурсів через збалансовану політику диверсифікації.

Таким чином, модель 4А в управлінні енергетичною безпекою слугує базовим орієнтиром для розробки державної політики, індикативного планування та мінімізації ризиків порушення енергетичного балансу, особливо на макrorівні. У підході 4А управління енергетичною безпекою розглядається як багатовимірне завдання, що не повинне зводитися лише до забезпечення фізичного доступу до енергії. Ефективна управлінська політика у цій сфері вимагає врахування широкого спектра чинників: соціальних, економічних, екологічних, технологічних та геополітичних. Така системна інтеграція дозволяє формувати збалансовані стратегії, проте в науковій літературі дедалі частіше підкреслюється, що навіть комплексність підходу 4А не гарантує його достатності в умовах динамічних трансформацій енергетичних ринків.

Управлінська практика показує, що залежно від цілей і контексту можуть застосовуватись модифіковані підходи, до прикладу, концепції 3А [151; 311] або 2А [183], що акцентують увагу лише на ключових елементах, зокрема доступності та економічній досяжності. Наприклад, І. Кокс підкреслює, що саме ці два компоненти мають критично важливе значення для забезпечення енергетичної стабільності в коротко- і середньостроковій перспективі [183]. Натомість інші дослідники, зокрема, Д. Штреймікене та ін., пропонують управлінські рішення, які базуються на аналізі окремих показників енергетичної безпеки для гнучкого реагування на специфічні загрози [307]. Парадигма

енергетичної безпеки» Д. фон Гіппеля та ін. [184] містить шість вимірів, а В. Вівода [323] додає ще п'ять. У свою чергу Б. Совакул [306] запропонував 20 вимірів енергетичної безпеки, які включають фізичну та цінову доступність. В останні роки можна побачити чітку тенденцію до додавання більшої кількості показників, пов'язаних з впливом на навколишнє середовище.

Сучасне розуміння енергетичної безпеки значно розширилося, включаючи екологічні, соціальні та технологічні виміри. У науковому дискурсі дослідники дедалі більше зосереджені на необхідності трансформації енергетичних систем у напрямі декарбонізації, забезпечення універсального доступу до чистої енергії та досягнення цілей сталого розвитку [280]. Зміни клімату та глобальні виклики спричинили трансформацію стратегічних пріоритетів енергетичної політики – від домінування економічних цілей у 2010-х р. до пріоритету кліматичних і екологічних завдань у поточному десятилітті [213]. Зі збільшенням викидів CO₂ у поєднанні зі зміною клімату зростає тиск на політичних діячів щодо впровадження технологій чистої та відновлюваної енергетики. Енергетичний перехід може не тільки зменшити викиди парникових газів, але й потенційно підвищити енергетичну безпеку та стимулювати економічне зростання [207]. Відновлювальні джерела енергії мають особливе значення для країн із низьким рівнем розвитку, де вони можуть забезпечити енергетичну автономію, зменшити вуглецевий слід та сприяти соціально-економічному зростанню. Поряд з енергетичною безпекою та економічною стабільністю, екологічна стійкість розглядається як один з вимірів енергетичного сектору [293]. Все більше дослідників підкреслюють, що умовою створення фундаментальної основи для процвітання та конкурентоспроможності є балансування трьох аспектів енергії: доступності, енергетичної безпеки та екологічної стійкості [249].

Зростання цін на викопне паливо та екологічні ризики змістили акценти енергетичної політики на підвищення енергоефективності [164; 229], яка дедалі частіше визнається одним із головних механізмів забезпечення енергетичної безпеки, зокрема через здатність зменшити споживання ресурсів, знизити витрати та сприяти структурним економічним змінам.

Ключову роль у цій взаємодії відіграють технології. Вони не лише формують нові можливості для генерації, зберігання та розподілу енергії, а й змінюють саме поняття енергетичної системи. Розвиток електролізу, інтелектуальних мереж, електромобільності, блокчейн-рішень вказує на тренд децентралізації та цифровізації енергетики [222; 158]. Це відкриває нові горизонти для підвищення енергоефективності, зменшення викидів і підсилення стійкості систем, але також породжує нові ризики, зокрема, пов'язані з безпекою даних, сумісністю компонентів та регулюванням.

Сталий розвиток виступає ключовим критерієм оцінки ефективності енергетичної політики, адже він враховує одночасно потреби сьогодення та вимоги майбутніх поколінь. Відтак, екологічна стійкість все частіше інтегрується в концепцію енергетичної безпеки, зумовлюючи потребу в довгостроковому стратегічному плануванні та гармонізації економічних і природоохоронних пріоритетів [293; 244].

Еволюція енергетичних систем вимагає не лише технічних інновацій, але й нових моделей управління. Зростає потреба в ефективному глобальному енергетичному управлінні, здатному координувати зусилля країн, міжнародних організацій та приватного сектору в умовах посилення геополітичної конкуренції та глобальних екологічних викликів [322; 320]. У цьому контексті енергетична безпека розглядається як глобальне суспільне благо, що потребує узгоджених дій на міждержавному рівні. Сучасні виміри концепції енергетичної безпеки представлено у таблиці 1.3.

Управління енергетичною безпекою у сучасних умовах потребує докорінного переосмислення традиційних моделей і переходу до гнучких, адаптивних підходів, що враховують динаміку середовища, технологічні трансформації, екологічні виклики та соціальні наслідки.

Таблиця 1.3

Основні виміри концепції енергетичної безпеки у сучасній літературі*

Вимір	Аспект
Наявність	Ресурси, транспортні засоби, інфраструктура, енергетичні ринки, різноманітність ресурсів, різноманітність технологій, перетворення палива, вартість енергії (доступність), споживачі енергії, часові рамки (довгострокова/короткострокова безпека), мережа взаємозв'язків енергетичних систем
Стійкість	Адаптивна здатність енергетичних систем
Енергоефективність	Ефективність енергетичної системи, енергозбереження, енергомісткість
Екологічні проблеми	Швидкість розвідки ресурсів, вплив змін навколишнього середовища
Технології	Технологічний прогрес, технологічний прогрес, інтеграція енергетичного сектору на основі електроенергетики
Енергетичний перехід	Перехід на відновлювані джерела енергії, технології відновлюваної електроенергії
Безпека енергетичної інфраструктури	Збої в інфраструктурі, вартість забезпечення безпеки енергетичної системи, вартість збоїв, терористичні атаки
Кібербезпека інфраструктури	Кібератаки на інфраструктуру, ІТ-навички, збої програмного забезпечення
Економіка	Вплив енергетичної безпеки на економічне зростання та розвиток, рівень безробіття, економічну конкурентоспроможність
Соціальні проблеми	Соціальний вплив на виробництво та споживання енергії, моделі споживання та спосіб життя, соціальне сприйняття змін у моделях розвитку, грамотність, соціальні трансформації та перехід до «дезростання»
Військові	Енергія як ресурс для військових цілей, енергія як «зброя»
Політика	Управління, регулювання, політична система, енергетична політика, вуглецевий податок, ціноутворення на вуглець
Геополітика та глобальне управління енергетикою	Географічне розташування джерел енергії, розселення населення, інтенсивність промисловості, суперечливі політичні інтереси держав

*систематизовано автором на основі [308].

В умовах зростання геополітичних ризиків особливого значення набуває формування багаторівневої системи управління, в якій політика безпеки реалізується через взаємодію на глобальному, національному (макрорівень), регіональному (мезорівень) та локальному (мікрорівень) рівнях.

Енергетична безпека все більше інтегрується з ідеологією сталого розвитку, що вимагає від управлінських структур комплексного бачення та координації дій на різних щаблях управління. Ефективне управління в цій сфері

передбачає не лише розробку стратегій та політик, а й створення інституційних умов, інструментів моніторингу, механізмів участі зацікавлених сторін та відповідної нормативно-правової бази.

Кожен з рівнів управління енергетичною безпекою має власну систему суб'єктів, інструментів, функцій і викликів, які в сукупності формують цілісний каркас управлінського впливу в сфері енергетичної безпеки [141]. У цьому контексті доцільним є детальний розгляд специфіки управління енергетичною безпекою на кожному з рівнів (глобальному, макро-, мезо- та мікрорівнях) із акцентом на їхні функції, механізми координації, ключові суб'єкти впливу та актуальні виклики. Такий аналіз дозволить виявити потенціал для інтеграції стратегічних підходів, запобігання конфліктам інтересів та посилення загальної ефективності системи енергетичної безпеки.

Логіка управління енергетичною безпекою представлена як ієрархічна структура цілей, де цілі вищого рівня поетапно деталізуються та конкретизуються на рівні підцілей, що забезпечує узгодженість управлінських рішень на макро-, мезо- та мікрорівнях (таблиця 1.4).

Глобальний рівень управління охоплює діяльність міжнародних організацій, транснаціональних корпорацій та міждержавних союзів, які формують рамкові підходи до досягнення енергетичної стабільності, розробляють загальні принципи переходу до чистої енергетики та визначають обов'язкові або рекомендовані параметри розвитку [91]. Організації, на кшталт Міжнародного енергетичного агентства (IEA), Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), ООН, G7, G20 або ЄС, відіграють провідну роль у формуванні глобального енергетичного порядку денного. Вони розробляють індикатори енергетичної безпеки, здійснюють моніторинг, координують дії в рамках кліматичних угод (зокрема, Паризької угоди [97]), Європейського зеленого курсу [56] (рис. Б.3 додатку Б), Плану дій [95]) та забезпечують міждержавне партнерство. Проте, управління на глобальному рівні стикається з низкою викликів, серед яких домінує геополітична поляризація,

конкуренція за ресурси, економічна асиметрія та енергетичний націоналізм, що ускладнює формування єдиного підходу до вирішення проблем.

Таблиця 1.4

Структура системи управління енергетичною безпекою за рівнями*

Рівень управління	Ключові суб'єкти	Функції та завдання	Механізми реалізації	Зв'язок із іншими рівнями
Глобальний	Міжнародні організації (ООН, МАГАТЕ, IRENA, IEA, G7, G20 тощо), транснаціональні корпорації	Формування глобальних стратегій, стандартів, кліматичних ініціатив; контроль за дотриманням міжнародних угод	Міжнародні договори, санкційні механізми, рамкові політики, міждержавне партнерство	Координація та нормативне регулювання для національного та регіонального рівнів
Макрорівень (національний)	Парламент, уряд, міністерства, національні компанії	Розробка стратегій енергетичної безпеки, енергетичної політики, регуляторна діяльність, стратегічне планування	Закони, державні програми, енергетичні стратегії, бюджети, наглядові органи	Реалізація глобальних вимог, забезпечення умов для ефективного функціонування регіональних та місцевих ініціатив
Мезорівень (регіональний)	Обласні адміністрації, районні адміністрації, територіальні енергетичні агентства, інвестори	Регіоналізація політики енергетичної безпеки, координація між локальними акторами, адаптація стратегій до умов регіону	Регіональні програми, публічно-приватне партнерство, планування розвитку територій	Передача завдань із макрорівня та зворотний вплив на його коригування; підтримка мікрорівня
Мікрорівень (локальний)	Місцеві громади, підприємства, домогосподарства/ ОСББ, локальні енергоініціативи	Реалізація енергоефективних практик, децентралізація енергопостачання, участь у розвитку ВДЕ, енергетичне самозабезпечення	ЕСКО-контракти, гранти, муніципальні ініціативи, освітні кампанії	Реалізація політик, переданих згори; джерело зворотного зв'язку для вищих рівнів

*систематизовано автором.

На макрорівні, тобто на рівні національної економіки, визначальну роль відіграють органи державної влади, які відповідають за розробку енергетичної політики, затвердження стратегічних документів, реалізацію регуляторної та нормативної діяльності. В Україні такими інституціями є, зокрема, Верховна Рада України, Міністерство енергетики, Міністерство економіки, НКРЕКП, Державне агентство з енергоефективності, які формують нормативно-правову базу енергетичної безпеки, реалізують державні програми модернізації енергетичної інфраструктури, забезпечують інвестиційну привабливість енергетичного сектору [129]. Основні завдання макрорівня включають зменшення енергетичної залежності від імпорту, диверсифікацію джерел енергопостачання, розвиток ВДЕ, зниження енергомісткості економіки. Серед ключових викликів – політична турбулентність, нерівномірність реформ, корупційні ризики, високий ступінь зношеності інфраструктури, вплив воєнного конфлікту. Успішна реалізація макрорівневих політик потребує тісної взаємодії з глобальними партнерами та адаптації до європейських стандартів енергетичної політики.

Так, місією Міністерства енергетики України є надійне забезпечення споживачів чистою, безпечною, доступною енергією; функції та завдання Міністерства енергетики України представимо на рис. 1.2.

Мезорівень – це проміжна ланка між центром і громадами, яка охоплює діяльність обласних державних адміністрацій, регіональних енергетичних агентств, муніципалітетів та субрегіональних кластерів. На цьому рівні відбувається адаптація державної енергетичної політики до регіонального контексту: враховується структура споживання енергоресурсів, рівень розвитку локальної інфраструктури, потенціал до впровадження альтернативної енергетики, кадрове забезпечення [79]. Зазвичай регіони здійснюють реалізацію цільових програм з енергоефективності, впроваджують енергетичний менеджмент, ініціюють публічно-приватні партнерства.



Рис. 1.2. Функції та завдання Міністерства енергетики України, сформовано автором на основі [81].

Основними проблемами на цьому рівні є обмеженість бюджетних ресурсів, низька інституційна спроможність, фрагментарність регіональної політики та відсутність автономії у прийнятті рішень. Водночас регіональний рівень відіграє ключову роль у зворотному зв'язку, транслуючи центральній владі реальні потреби й бар'єри на шляху впровадження політик [138].

Мікрорівень управління енергетичною безпекою охоплює безпосередніх споживачів і виробників енергії: домогосподарства / ОСББ, підприємства, муніципалітети, громади, локальні енергетичні кооперативи. Вони реалізують енергозберігаючі заходи, впроваджують системи відновлюваної енергетики, беруть участь у державних та міжнародних грантових програмах, формують культуру енергетичної свідомості [141]. Зокрема, впровадження механізмів ЕСКО-контрактів, стимулювання енергетичного самозабезпечення, енергоаудиту, громадського моніторингу дає змогу зміцнювати енергетичну безпеку знизу. Проблемами цього рівня є низька технічна обізнаність населення,

слабка підтримка з боку держави, обмеженість інвестицій. Водночас саме мікрорівень є ключовим у досягненні результатів у сфері енергоефективності, оскільки без залучення кінцевих споживачів до управління ресурсами політика стає декларативною.

Отже, ефективне управління енергетичною безпекою потребує координації усіх рівнів, що дасть змогу забезпечити як стратегічну стійкість енергетичного сектора, так і гнучкість його адаптації до локальних умов. Для забезпечення цілісності такого управління особливо важливим є виокремлення системи принципів, які б виступали фундаментом у формуванні політики енергетичної безпеки, дозволяючи узгодити управлінські підходи між різними рівнями, зберегти їх наступність і забезпечити збалансованість між цілями безпеки, ефективності, екологічної відповідальності та соціальної справедливості. Принципи виконують роль методологічної та ціннісної основи, на якій базується прийняття рішень, визначення пріоритетів та оцінювання результативності заходів, що в сукупності дозволяє сформувати адаптивну та стійку систему енергетичного управління.

У сучасній науковій літературі представлені такі ключові принципи управління енергетичною безпекою: гарантованість та надійність забезпечення енергоресурсами, енергоощадність, узгодженість відновлювальної енергетики з невідновлюваними ресурсами, диверсифікація джерел енергії, урахування вимог екологічної безпеки, а також створення економічних умов для стимулювання розвитку паливно-енергетичного комплексу. Ці засади відображають базові орієнтири формування сталого та безпечного енергетичного середовища.

Трансформаційні процеси в енергетичній сфері, зумовлені викликами глобалізації, зміною клімату та геополітичними загрозами, розвитком цифровізації, актуалізують необхідність розширення принципів управління енергетичною безпекою. Тому пропонуємо доповнити існуючу базову систему принципів (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5

Принципи управління енергетичною безпекою

Принцип	Стислий опис
Гарантованість та надійність	Забезпечення стабільного й повного постачання енергоресурсів для економіки та населення, з урахуванням кризових сценаріїв
Енергоощадність	Рациональне використання енергоресурсів, запобігання втратам, впровадження енергоефективних технологій
Відновлюваність	Темпи споживання викопних ресурсів мають узгоджуватись із впровадженням альтернативних джерел енергії
Диверсифікація джерел енергії	Зменшення залежності від окремих енергоносіїв, постачальників та маршрутів
Екологічна збалансованість	Гармонізація розвитку енергетики з вимогами екологічної безпеки та охорони довкілля
Економічна мотивація	Формування стимулів для модернізації ПЕК, розвитку ВДЕ та інновацій через фінансові, податкові й регуляторні важелі
<i>Системність та інтегрованість</i>	<i>Координація між органами влади, бізнесом, наукою та громадськістю задля спільного досягнення енергетичної безпеки. Гармонізація політики з нормами та вимогами ЄС, участь у спільних енергетичних проєктах</i>
<i>Адаптивність та гнучкість</i>	<i>Гнучкість управління в умовах змін (технологічних, політичних, кліматичних, кризових) та адаптація до нових умов</i>
<i>Інноваційність</i>	<i>Підтримка цифровізації, smart технологій, розвиток нових джерел енергії та методів її збереження</i>
<i>Прозорість та підзвітність</i>	<i>Відкритість процесу управління, доступність інформації, громадський контроль</i>
<i>Субсидіарність і багаторівневе управління</i>	<i>Оптимальний розподіл повноважень між рівнями управління (глобальний, національний, регіональний, локальний)</i>
<i>Соціальна справедливість</i>	<i>Забезпечення доступності енергії для усіх категорій населення, захист вразливих груп</i>

*сформовано автором на основі [76; 80]; принципи, виділені курсивом, – запропоновано автором.

– системність та інтегрованість – передбачає цілісність / комплексний характер управлінських рішень і взаємозв'язок між усіма елементами; (у т. ч. спрямованість на гармонізацію з енергетичною політикою Європейського Союзу та імплементація відповідних стандартів);

– адаптивність і гнучкість – гнучке реагування системи управління на динамічні зовнішні та внутрішні зміни з метою швидкої адаптації до нових умов;

– інноваційність – стимулювання впровадження новітніх технологій, цифрових рішень і smart інфраструктур у сфері енергетики;

- прозорість та підзвітність – відкритість процедур прийняття рішень, забезпечення доступу до інформації та участі громадськості;
- субсидіарність і багаторівневе управління – розподіл повноважень і відповідальності між усіма рівнями управління для ефективнішої реалізації енергетичної політики;
- соціальна справедливість – гарантування рівного доступу до енергетичних ресурсів і захист соціально вразливих категорій населення;

Отже, визначення основних принципів управління енергетичною безпекою є важливим кроком у створенні ефективної системи забезпечення стабільності та розвитку енергетичного сектору. Доповнення системи базових принципів запропонованими, сприятиме формуванню більш цілісної, динамічної та орієнтованої на сталий розвиток системи управління енергетичною безпекою. Однак, для реального впровадження цих принципів необхідно використовувати комплекс методів та інструментів регуляторного впливу. Саме вони формують механізм, який забезпечує дієвий контроль за функціонуванням енергетичного ринку, коригує поведінку його учасників і знижує потенційні ризики.

Складовими механізму забезпечення енергетичної безпеки держави є методи та інструменти регуляторного впливу. Адміністративні, економічні, організаційні та соціально-психологічні інструменти мають свою специфіку і відповідну роль у формуванні стабільної та ефективної роботи енергетичної системи. Методи та інструменти взаємодіють, обумовлюючи певний рівень енергетичної безпеки. Нами було доповнено систему методів та інструментів регуляторного впливу на забезпечення енергетичної безпеки, що сприятимуть ефективному управлінню енергетичними ризиками та впровадженню інноваційних технологій у галузь, які представлені у таблиці 1.6.

Необхідною умовою забезпечення стійкості енергетичного сектору, запобігання критичним сценаріям є ефективна система управління ризиками.

Таблиця 1.6

**Методи та інструменти регуляторного впливу
на забезпечення енергетичної безпеки***

Адміністративні	Економічні
<p>Видача державою гарантій суб'єктам господарської діяльності щодо підтвердження походження електричної енергії.</p> <p>Встановлення тарифів на електричну та теплову енергію.</p> <p>Проведення державних закупівель, замовлень і тендерів.</p> <p>Надання дозволів на введення в експлуатацію об'єктів ПЕК.</p> <p>Проведення енергетичних аудитів і нагляду.</p> <p>Встановлення квот на споживання та виробництво відновлюваної енергії.</p> <p>Контроль за обсягами використання енергетичних ресурсів та точністю звітності.</p> <p>Встановлення лімітів на стратегічні запаси енергетичних ресурсів.</p> <p>Ліцензування різних видів діяльності на ринку енергетики.</p> <p>Нагляд за технічним станом об'єктів ПЕК та відповідність вимогам технічної експлуатації.</p> <p>Обмеження або зупинення діяльності підприємств за порушення законодавства.</p> <p>Стандартизація ефективності енергоспоживання і якості енергетичних ресурсів.</p>	<p>Бюджетні субсидії на науково-дослідні роботи в галузі енергозберігаючих технологій.</p> <p>Відшкодування збитків за порушення законодавства.</p> <p>Введення «зеленого» тарифу для виробників електроенергії з відновлювальних джерел.</p> <p>Митні пільги для імпорту енерго обладнання.</p> <p>Підвищені норми амортизації для енергозберігаючих основних фондів.</p> <p>Встановлення екологічного податку за забруднення навколишнього середовища.</p> <p>Пільгове кредитування для реалізації енергозберігаючих та енергоефективних проєктів.</p> <p>Податкові пільги для підприємств, що виробляють енергозберігаюче обладнання або використовують відновлювані джерела енергії.</p> <p>Регулювання ціноутворення на ринку електроенергії та теплопостачання.</p> <p>Житлові субсидії для населення на оплату комунальних послуг.</p> <p><i>Інвестиції у розвиток відновлювальних джерел енергії, зелені облігації, фонди, спрямовані на підтримку чистих технологій.</i></p>
Організаційні	Соціально-психологічні
<p>Включення питань енергетичної безпеки до державних і регіональних програм соціально-економічного розвитку.</p> <p>Створення системи навчання та підвищення кваліфікації державних службовців, що відповідають за енергетичну безпеку.</p> <p><i>Розвиток освітніх програм і кампаній для формування енергозберігаючої та екологічної свідомості серед широких верств населення та професійних груп.</i></p> <p><i>Співпраця з міжнародними організаціями, містами-побратимами тощо.</i></p> <p><i>Організація впровадження найкращих практик та технологій на рівні громад.</i></p> <p><i>Створення національних енергетичних платформ.</i></p> <p><i>Моніторинг та контроль енергетичних потоків, що дозволяють зібрати інформацію про всі енергетичні системи та їхній вплив на економіку та навколишнє середовище.</i></p>	<p>Виховання енергозберігаючого мислення та соціальної відповідальності серед суб'єктів господарювання.</p> <p>Проведення соціального діалогу з питань енергозбереження, енергоефективності, освоєння відновлюваних джерел енергії.</p> <p><i>Просвітницькі кампанії для підвищення обізнаності громадян щодо важливості енергозбереження, екологічної грамотності та використання відновлювальних джерел енергії.</i></p>

* доповнено автором на основі [76; 102], інструменти виділені курсивом – запропоновано автором.

У наукових публікаціях представлені різні підходи до висвітлення поняття «ризик», окремі із них представлено у таблиці Б.3 додатку Б, в основу яких закладається трактування ризику як [25]:

- усвідомленої небезпеки виникнення в будь-якій системі небажаної події з певними в часі та просторі наслідками;
- ймовірності несприятливих наслідків; ймовірності позитивних наслідків;
- невизначеності, пов'язаної з можливістю виникнення у ході реалізації проєкту несприятливих ситуацій і наслідків, а також сприятливих подій та сприятливого збігу обставин;
- об'єктивно-суб'єктивної категорії, що пов'язана з подоланням невизначеності та конфліктності в ситуації неминучого вибору і відображає міру досягнення сподіваного результату, невдачі та відхилення від цілей з урахуванням впливу контрольованих та неконтрольованих чинників за наявності прямих та зворотних зв'язків.

Ризик як багатоаспектна категорія характеризується різними ознаками [25]:

- відсутність впевненості у досягненні поставленої мети;
- доцільність зміни стратегії діяльності, відхилення від раніше визначеної мети, потреба корегування раніше визначених завдань тощо;
- імовірність загроз внаслідок прийняття певного рішення, імовірність виникнення небажаних наслідків, загроз/невдач від реалізації певного варіанту/певної стратегії діяльності; імовірність матеріальних, моральних та інших втрат від реалізації ідеї/рішення/проєкту;
- імовірність виникнення сприятливих обставин у ході реалізації прийнятого рішення за невизначених умов; сприятливий вплив чинників у ході реалізації певного варіанту/певної стратегії діяльності;
- імовірність досягнення бажаного результату.

Проаналізувавши існуючі підходи до визначення ризику, *підтримуючи об'єктивно-суб'єктивний контекст ризику як економічної категорії, ризик ми визначаємо як імовірність виникнення певних наслідків від результатів дій (або*

бездіяльності) суб'єктів, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспямованих дій контрагентів. Зміст і характерні ознаки ризиків у різних сферах діяльності різняться, що значною мірою обумовлюється впливом специфічних для функціонування галузей чинників.

У контексті теми дослідження звертаємо увагу на визначення ризику суб'єктів енергетичного ринку, яке трактується «як об'єктивно-суб'єктивна категорія, пов'язана з імовірністю виникнення небажаних подій (загроз) в умовах невизначеності та конфлікту економічних інтересів різних груп суб'єктів енергетичного ринку, яка відображає міру їх втрат (збитків) внаслідок неузгоджених дій даних суб'єктів» [64, с. 137]. На нашу думку, таке визначення є громістким, проте не характеризується системністю щодо природи виникнення та імовірних наслідків ризиків для функціонування енергоринку.

З урахуванням контексту сучасних реалій ризику енергетичного ринку визначаємо як імовірність виникнення певних наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспямованих дій контрагентів.

Ризики для енергетичного ринку / загрози від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку можуть виникати на різних рівнях. Тому важливим є кваліфікованість, фаховість при прийнятті управлінських рішень представниками відповідних суб'єктів енергоринку та при їх виконанні.

Зазначаємо, що внутрішній устрій суб'єктів енергоринку є контрольованим, керованим вищим менеджментом, регуляторними інституціями підконтрольних рівнів. Щодо чинників зовнішнього середовища (політико-правове, макроекономічне, соціокультурне, техніко-технологічне, природно-географічне (макросередовище); постачальники, посередники, конкуренти, споживачі, контактні групи (мікросередовище)), то їх вплив необхідно враховувати суб'єктам господарської діяльності. Зокрема, забезпечення можливостей безперебійного функціонування галузі ускладнюється через заборгованість споживачів за спожиту енергію.

Вплив чинників зовнішнього середовища та функціонування енергоринку є не лише прямим, а й з огляду на специфіку функціонування галузі, – високий ступінь зворотнього впливу. Функціонування енергоринку у значній мірі обумовлює макроекономічне середовище та умови функціонування усіх інших галузей. Функціонування суб'єктів енергоринку має стратегічне значення; орієнтири розвитку атомної енергетики, відновлювальних джерел енергії тощо визначаються у документах державного рівня.

Ризики цілеспрямованих впливів на суб'єкти господарювання потенційно можуть бути від внутрішніх контрагентів (працівників галузі/підприємств), так і від зовнішніх контрагентів. Наприклад, негативного впливу та, відповідно, збитків може зазнати компанія внаслідок промислового шпionaжу, хакерських атак тощо.

У системі управління ризиками/прийняття рішень імовірними варіантами є:

- уникнення ризику (підбір надійних партнерів, відмова від ризикових проєктів); попередження ризиків (стратегічне планування, прогнозування, цілеспрямовані заходи, внесення змін у проєкти);
- зниження ризиків (страхування, факторинг, хеджування, диверсифікація);
- прийняття ризиків (наявність можливостей вирішувати потенційні проблеми/завдання, наявність ресурсів фінансувати потенційні видатки, самострахування, створення спеціального резервного фонду).

Рішення щодо забезпечення енергетичної безпеки необхідно ухвалювати, спираючись на імовірні варіанти наслідків від застосування методів управління ризиками, які представлені у таблиці Б.4 додатку Б.

Серед чинників, які усе більше будуть впливати на управління ризиками у системі енергетичної безпеки визначаємо такі:

- штучний інтелект, який все ширше буде використовуватися для автоматизації процесів прогнозування та оцінки ризиків. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних та виявляти тенденції, які можуть вказувати на потенційні ризики.

- цифровізація та збільшення кількості кібератак на бізнеси, що обумовлює доцільність посилення кібербезпеки та вжиття заходів для захисту даних своїх та клієнтів;

- розширення спектру оцінювання ризиків, зростання уваги до етичного та соціального вимірів управління ризиками, а в енергетиці насамперед, зростання уваги до екологічного виміру;

- використання інтернету речей (IoT) в управлінні ризиками. Наприклад, сенсори можуть бути встановлені на обладнанні для моніторингу його стану та попередження про можливі проблеми, що сприятиме вчасному реагуванню на ризики зупинки обладнання тощо.

Ефективне управління ризиками в енергетичному секторі потребує системних, проактивних та адаптивних рішень, має спиратися не лише на традиційні методи управління ними (страхування, диверсифікацію, резервування, хеджування), але й на сучасні цифрові інструменти, стратегічне планування та здатність до оперативного реагування на виклики та загрози.

Отже, управління ризиками в енергетичному секторі ми визначаємо як цілеспрямований, системний, проактивний та адаптивний процес ідентифікації та постійного моніторингу, оцінювання викликів та загроз (технічних, економічних, екологічних, соціальних, кібернетичних та геополітичних) з використанням традиційних методів (страхування, диверсифікація, резервування, хеджування) та високим рівнем інформованості за рахунок використання цифрової аналітики, планування з метою оперативного реагування на динамічні виклики та упередження/нівелювання/мінімізації загроз енергетичній безпеці та стабільному функціонуванню галузі.

1.3. Світовий досвід управління енергетичною безпекою

Кожна держава прагне до ефективної реалізації власної цілісної та взаємопов'язаної системи заходів із забезпечення енергетичної безпеки, орієнтованої на національні інтереси та стратегічні пріоритети. У цьому

контексті важливим є формування незалежної, послідовної та адаптивної енергетичної політики як складової парадигми гарантування суверенітету, економічної стійкості та геополітичної суб'єктності держави. Така політика має визначати напрями розвитку енергетичного сектору, механізми реагування на зовнішні та внутрішні загрози, а також забезпечувати інтеграцію країни у глобальні енергетичні процеси на засадах паритету, взаємовигоди та безпеки.

Зарубіжний досвід управління енергетичною безпекою та визначення базових інструментів, які можуть бути адаптовані у вітчизняній енергетичній системі, сприятимуть підвищенню стійкості енергетичного сектора України, розбудові ефективної системи державного управління та формуванню довгострокової стратегії забезпечення енергетичної незалежності в умовах глобальних викликів [200].

Енергетична безпека Китайської Народної Республіки набуває дедалі більшої актуальності в умовах нестабільності світових енергетичних ринків, зокрема з огляду на різкі коливання цін на нафту. У цьому контексті одним із ключових стратегічних пріоритетів енергетичної політики Китаю є розробка збалансованих підходів до забезпечення енергетичної безпеки, які передбачають диверсифікацію джерел постачання, впровадження інноваційних технологій та зменшення залежності від імпорту енергоносіїв.

З огляду на обмеженість традиційних запасів енергоносіїв у світі, держава активно спрямовує ресурси на розвиток альтернативної та відновлюваної енергетики, зокрема гідроенергетики, біоенергетики та атомної енергетики. Це визначає вектор формування інтегрованої концепції енергетичної безпеки, що базується на принципах технологічної модернізації, екологічної стійкості та енергетичної незалежності [336].

Розвиток енергетичного сектору в Китаї має низку специфічних особливостей, серед яких головною виступає стійке зростання попиту на енергоресурси. За даними Національного бюро статистики КНР [273], очікується, що середньорічне зростання споживання енергії становитиме щонайменше 7,5% упродовж наступних двох десятиліть. Така динаміка

зумовлена високими темпами економічного зростання та промислового розвитку Китаю.

Китай активно інвестує у розробку та впровадження сучасних технологій переробки вугілля у рідке паливо, одночасно акцентуючи увагу на зміні енергетичної парадигми. Зокрема, держава реалізує масштабні ініціативи, спрямовані на зменшення нераціонального споживання енергії, підвищення енергоефективності та формування культури енергозбереження в суспільстві. Політика КНР у сфері енергопостачання ґрунтується на принципах безпеки, екологічності та технологічного прогресу. Уряд країни вживає заходів щодо підтримки ефективного використання традиційних джерел енергії, паралельно розвиваючи відновлювані джерела, зміцнюючи національні енергетичні мережі та інфраструктуру зберігання енергії. Суттєву увагу приділяється впровадженню інновацій у сфері енергетичних технологій, що дозволяє забезпечити поступовий перехід до «зеленої» економіки та знизити вуглецеву місткість національного виробництва.

Китай демонструє прагнення до створення ринково-орієнтованої, інноваційної, конкурентної та екологічно стійкої енергетичної системи. Модернізація відбувається шляхом удосконалення механізмів державного регулювання, реформування енергетичного законодавства та формування ефективної інституційної структури управління енергетичною безпекою.

Основою енергетичної стратегії Німеччини є концепція *Energiewende* – «енергетичного повороту», яка передбачає відмову від ядерної енергетики до 2023 р., збільшення частки ВДЕ до 80% в електроенергетиці до 2050 р. та скорочення викидів CO₂ на 95% порівняно з 1990 р. [318]. Одним із ключових елементів цієї політики є підтримка децентралізованого виробництва електроенергії, залучення домогосподарств до процесу генерації енергії та розвиток *smart grids*. Німеччина фокусувалася на поступовій відмові від ядерної та вугільної енергетики на користь масштабного впровадження відновлюваних джерел енергії, що має на меті не лише енергетичну незалежність, а й зниження викидів парникових газів.

Варто підкреслити, що новий уряд Німеччини на чолі з Ф. Мерцем більше не блокуватиме визнання атомної енергетики «зеленою» в ЄС, відмовившись від попередньої жорсткої позиції, яка передбачала, що до екологічної енергетики належать лише відновлювані джерела, які у 2024 р. забезпечили понад 60% споживання електроенергії в країні. Нині Німеччина планує вкладати кошти в сучасні ядерні технології, зокрема малі модульні реактори та ядерний синтез, проте не має наміру відновлювати традиційні АЕС [87].

14 червня 2023 р. було оприлюднено першу в історії всеохоплюючу Національну стратегію безпеки Німеччини під назвою «Інтегрована безпека для Німеччини» [300]. Документ ґрунтується на трьох ключових засадах: стійкість («захист миру і свободи»), резильєнтність («збереження цінностей через внутрішню силу») та сталий розвиток («охорона національних ресурсів»). Враховуючи контекст триваючої агресивної війни Росії проти України та турбулентність на енергетичних ринках, енергетична безпека посідає чільне місце серед питань, висвітлених у Стратегії. Стратегія також акцентує увагу на запобіганні новим залежностям і забезпеченні безпеки постачань, зокрема щодо нових джерел енергії та відновлюваної енергетики. Забезпечення «надійного та сталого постачання сировини й енергії» віднесено до державних цінностей. Питання енергетичної безпеки розглядаються у контексті зміцнення стійкості держави. Декларуються заходи, спрямовані на зменшення односторонньої залежності, диверсифікацію та гарантування безпеки постачань енергоносіїв.

Серед цих заходів передбачено: співпрацю уряду з бізнесом; створення стратегічних резервів; впровадження технологічних інновацій; пошук надійних постачальників; відповідальний видобуток сировини та ефективне використання енергії; реалізацію принципів циркулярної економіки; врахування безпекових аспектів при запуску нових проєктів видобутку сировини; посилення процедур кризового управління у сфері енергетичної безпеки; а також сприяння формуванню безпечної та сталої енергетичної системи.

Одночасно «зелена» енергетична трансформація розглядається як захід подвійної дії: з одного боку – задля підвищення стійкості до кліматичних змін, а

з іншого, – як засіб зменшення залежності від енергоносіїв. Важливими пріоритетами Німеччини визначено також інвестування в критичну інфраструктуру, її захист і зміцнення її стійкості.

У 2023 р. вперше було досягнуто покриття понад половини загального споживання електроенергії в Німеччині за рахунок відновлюваних джерел енергії. Найважливішим джерелом електроенергії у 2023 р. стала наземна вітроенергетика, частка якої у виробництві електроенергії перевищила 22% [318]. Енергетичний перехід у Німеччині визначається як ключовий чинник стимулювання енергоефективності, модернізації, інновацій та цифровізації в електро- та теплопостачанні. Ці процеси охоплюють не лише промисловість, а й сільське господарство та транспортний сектор. Водночас уряд наголошує на необхідності збереження міжнародної конкурентоспроможності країни як важливого промислового регіону.

Важливою складовою стратегії є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Протягом періоду з 2008 по 2017 рр. споживання первинної енергії в Німеччині скоротилося на 5,5%, що свідчить про успішність реалізації заходів з енергозбереження [318]. Цілі та конкретні кроки в цьому напрямі систематизовано у спеціальних досьє з енергоефективності. Особливу увагу приділено енергетичному переходу у будівельному секторі, який споживає близько 35% загальної кінцевої енергії, переважно для опалення та гарячого водопостачання. З метою підтримки цієї сфери Федеральне міністерство економіки та клімату забезпечує консультативну допомогу та фінансові стимули, спрямовані на впровадження енергоефективних технологій і заходів [318].

Реалізація енергетичного переходу неможлива без активної участі усіх суб'єктів: споживачів, підприємств, муніципалітетів. З цією метою здійснюється інформаційна кампанія «Енергетичний перехід», яка має на меті підвищення обізнаності та мотивації до раціонального споживання енергії.

Законодавчі ініціативи, зокрема Закон про сприяння виробництву електроенергії для орендарів, спрямовані на залучення мешканців багатоквартирних будинків до процесу енергетичного переходу. Фінансування

охоплює проекти з встановлення сонячних систем, введених в експлуатацію після прийняття закону, що стимулює розповсюдження відновлюваних джерел енергії у житловому секторі [220].

Інновації в електропостачанні, пов'язані з децентралізованим виробництвом відновлюваної електроенергії, породжують нові виклики, зокрема щодо транспортних мереж. Наприклад, електроенергія, вироблена вітровими установками на півночі країни, потребує транспортування до споживачів на півдні. Тому модернізація надрегіональних мереж передачі та локальних розподільчих систем є пріоритетом для забезпечення надійності та ефективності енергосистеми. Водночас підвищення гнучкості споживання та традиційного виробництва енергії вимагає цифровізації, зокрема впровадження інтелектуальних лічильників. Ці технології сприяють більш збалансованому співвідношенню між виробництвом і споживанням, розкриваючи додаткові можливості для енергозбереження та оптимізації роботи системи.

Таким чином, на відміну від Китаю, де основний акцент робиться на централізованому регулюванні та стратегічному управлінні, енергетична політика Німеччини значною мірою базується на ринкових механізмах, участі громадськості та прозорості прийняття рішень. Важливе місце займає екологічна компонента, що обумовлено сильним громадським запитом на сталий розвиток.

Норвегія стабільно входить до числа світових лідерів за рівнем виробництва електроенергії на одну особу, що зумовлено високою питомою потужністю гідроелектростанцій, невеликим обсягом внутрішнього споживання та ефективним використанням природних ресурсів у поєднанні з експортною орієнтацією енергетичного сектору (рис. 1.3), а виробництво енергії на одну особу за джерелами генерації відображено на рис. В.1 додатку В.

Унікальна енергетична структура країни ґрунтується на багатстві гідроенергетичних ресурсів, значних запасах нафти та природного газу, а також на активному розвитку нових відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова енергетика і біомаса. Важливим аспектом є повна відсутність використання

ядерної енергетики в національній енергетичній системі, що відображає пріоритетність екологічної стійкості у стратегічних рішеннях Норвегії [279].



Рис. 1.3. Виробництво енергії на одну особу за країнами, кіловат-годин на особу, [289].

Протягом останніх десятиліть Норвегія цілеспрямовано впроваджує політику підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, що дозволило знизити енергоспоживання на одну особу при зростанні економічної активності (рис. 1.4). Ключовими заходами в Норвегії стали модернізація енергетичної інфраструктури, впровадження енергоощадних технологій у промисловості та побуті, а також стимулювання розвитку чистої енергетики, зокрема вітрової енергетики на морських та наземних об'єктах [279].

За підсумками 2019-2020 рр. Норвегія посідала дев'яте місце у світі за обсягами чистого експорту нафти та нафтопродуктів і третє місце за експортом природного газу, що підкреслює значущість країни як одного з провідних енергетичних постачальників на міжнародному ринку. Водночас, нафта і газ відіграють відносно невелику роль у внутрішньому енергоспоживанні Норвегії: понад 95% видобутого природного газу та більше 75% нафти експортуються, що

свідчить про орієнтацію країни на експортний напрямок та високий рівень енергоефективності у внутрішньому споживанні [205].

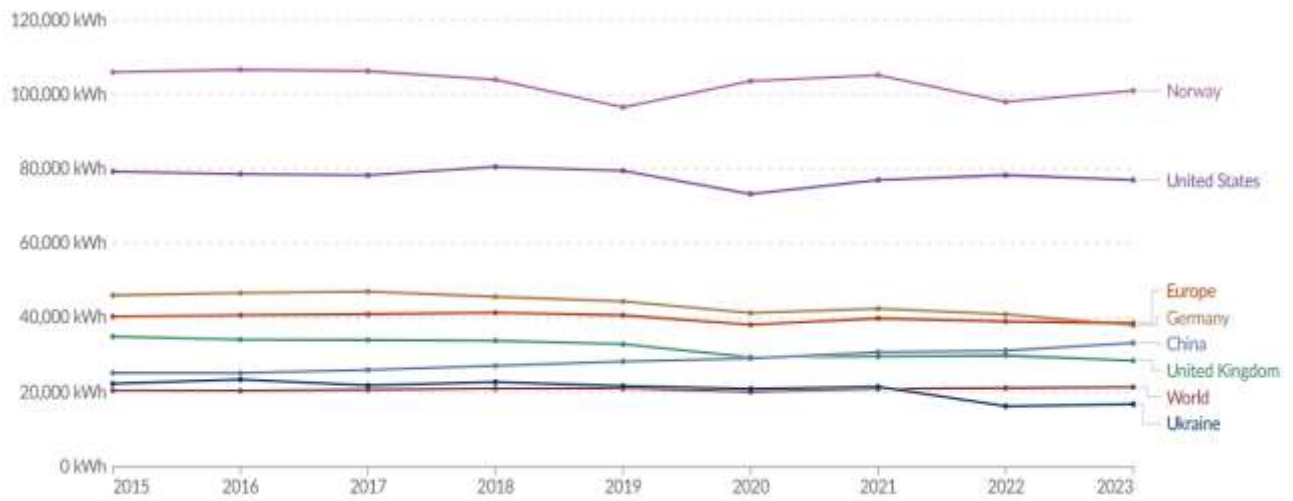


Рис. 1.4. Споживання енергії на особу за країнами, кіловат-годин на особу, [289].

Аналіз енергетичного балансу Норвегії демонструє, що домінуючу частку у виробництві електроенергії становить гідроенергетика. У Норвегії є понад 1240 гідроелектростанцій загальною потужністю 87 ТВт·год. 30 найбільших водосховищ забезпечують приблизно половину потужності. Загальна потужність водосховищ відповідає 70% річного споживання електроенергії в Норвегії. Цей вид відновлюваної енергетики не лише забезпечує більшість внутрішнього споживання, але й є стратегічним напрямком розвитку, у який країна вкладає значні інвестиції та технологічні ресурси. Гідроенергетика характеризується високою стабільністю та екологічною чистотою, що відповідає загальнодержавним пріоритетам збереження навколишнього середовища (рис. В.2, додаток В).

На початку 2023 р. у Норвегії нараховувалося 65 вітрових електростанцій із встановленою потужністю 5073 МВт. Це відповідає приблизно 16,9 ТВт·год (рис. В.3, додаток В). На початку 2023 р. загальна встановлена потужність сонячної енергетики в Норвегії становила 299 МВт. У 2023 р. понад 90% встановленої потужності було підключено до норвезької енергосистеми. Близько 5% сонячної енергії у Норвегії у 2023 р. мали встановлену потужність понад 50

кВт (рис. В.4, додаток В). У 2023 р. більша частина сонячної енергії в Норвегії встановлювалася на дахах житлово-комунальних господарств та промислових об'єктів, і переважно покривала власне споживання. Енергетичний баланс виражає зв'язок між виробництвом та споживанням і вказує, чи є норвезька енергосистема чистим експортером чи імпортером у певний рік. Існують значні коливання з року в рік. Як правило, споживання коливається залежно від температури, а виробництво – залежно від притоку води та вітрових умов (рис. В.5, додаток В).

У цілому, енергетична політика Норвегії є прикладом збалансованого підходу до забезпечення енергетичної безпеки, екологічної стійкості та економічного зростання, що базується на раціональному використанні природних ресурсів та впровадженні інноваційних технологій.

Франція є одним із ключових гравців на енергетичному ринку Європейського Союзу, демонструючи високий рівень енергетичної незалежності, насамперед завдяки розвиненому сектору ядерної енергетики. Близько 70% електроенергії у Франції виробляється на атомних електростанціях, що є одним з найвищих показників у світі [238] (рис. 1.5).

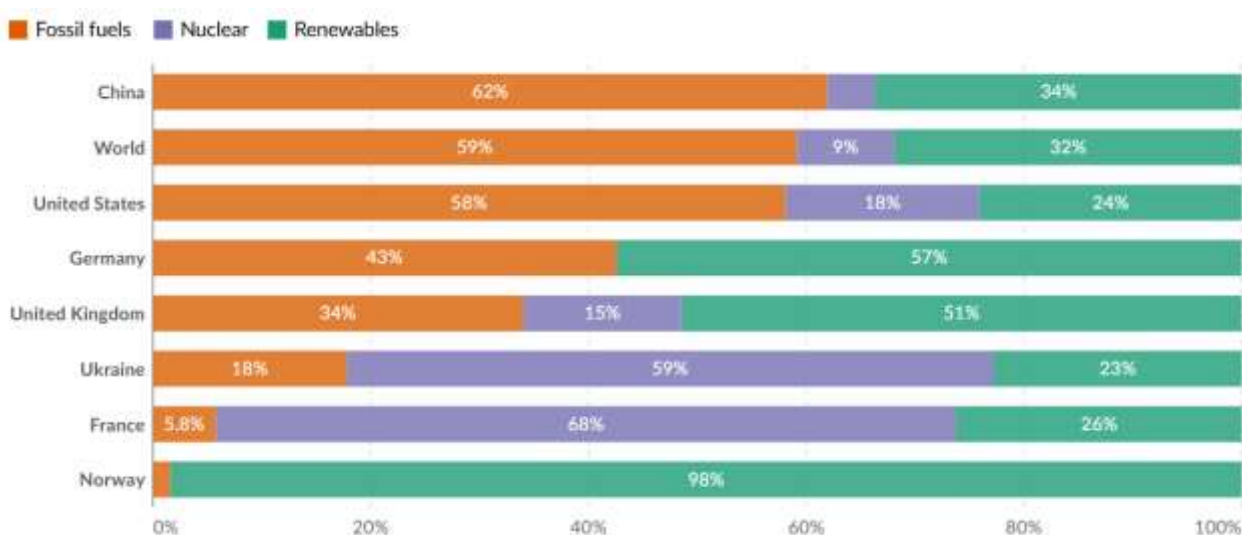


Рис. 1.5. Частка виробництва електроенергії на особу з викопного палива, ядерної та відновлюваної енергії у 2024 р., [287].

Така модель енергогенерації дозволила країні мінімізувати залежність від імпорту викопного палива та водночас досягти низького рівня викидів парникових газів у секторі електроенергетики.

Разом із тим, енергетична безпека Франції у XXI ст. трансформується під впливом нових викликів. Насамперед ідеться про необхідність модернізації атомного парку, більшість об'єктів якого було збудовано ще у 70-80-х рр. XX ст. Уряд Франції ухвалив рішення продовжити термін експлуатації існуючих реакторів, а також інвестувати в нові проєкти малих модульних реакторів (SMR) та реакторів покоління EPR-2 [127].

Крім того, відповідно до Національного плану з енергетики та клімату (PPE), Франція поступово розширює частку відновлюваних джерел енергії. Станом на 2023 р. їх частка у валовому кінцевому споживанні електроенергії перевищила 26%, з них основними джерелами є гідроенергетика (майже 50% ВДЕ), вітрова (близько 35%) та сонячна енергетика (понад 10%) (рис. В.6, додаток В).

Національна стратегія безпеки Франції викладена у формі Національного стратегічного огляду [275], який було представлено Президентом Республіки Е. Макроном 9 листопада 2022 р.. Необхідність оновлення попереднього документа 2021 р. була зумовлена змінами у сфері безпеки, спричиненими агресією Росії проти України. Французький Національний стратегічний огляд 2022 р. зосереджено на досягненні десяти стратегічних цілей, пов'язаних з [275]: 1) ядерним стримуванням, 2) стійкістю держави, 3) економічною безпекою, 4) кіберстійкістю, 5) євроатлантичним співробітництвом, 6) розвитком європейської стратегічної автономії, 7) міжнародною безпековою співпрацею, 8) забезпеченням автономності оцінювання та ухвалення рішень, 9) обороною у гібридних сценаріях, 10) веденням військових операцій.

У стратегічному плані Франція акцентує велику увагу на стабільності постачання газу. Країна активізувала розширення LNG-інфраструктури та зміцнення енергетичних інтерконекторів з Іспанією, Німеччиною та Італією. Також розглядається можливість підвищення гнучкості системи за рахунок smart

grids та акумулюючих систем зберігання енергії, що особливо актуально в умовах зростаючої ролі нестабільних ВДЕ. Ключовим викликом для Франції залишається баланс між ядерною стратегією та кліматичною політикою ЄС, яка передбачає посилення ролі відновлюваної енергетики. Франція послідовно виступає за визнання атомної енергетики як «зеленої» у таксономії ЄС, що дає змогу залучати фінансування на відповідні проєкти [127].

Великобританія демонструє послідовну трансформацію енергетичної системи, спрямовану на підвищення рівня енергетичної безпеки, зменшення залежності від імпорту викопного палива та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р.. Енергетична політика держави базується на інтегрованому підході, який поєднує декарбонізацію, інноваційний розвиток технологій та забезпечення надійності постачань.

Станом на 2024 р. понад 50% електроенергії у Великобританії виробляється з відновлюваних джерел, причому найбільшу частку займають вітрова енергетика (як наземна, так і офшорна), а також сонячна енергія та біомаса (рис. 1.5). Великобританія є світовим лідером в офшорній вітроенергетиці: загальна встановлена потужність офшорних вітрових електростанцій перевищує 14 ГВт, і уряд має на меті досягти 50 ГВт до 2030 р. [20]. Водночас значущу роль у забезпеченні енергетичної стабільності продовжують відігравати газові електростанції, які слугують гнучким резервом в умовах нестабільності виробництва з ВДЕ. Природний газ займає близько третини в структурі генерації електроенергії, однак його використання поступово скорочується у відповідності до цілей декарбонізації. Ядерна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні базового навантаження системи. Уряд Великобританії затвердив стратегію з розширення ядерної генерації: заплановано спорудження нових великих реакторів (Hinkley Point C, Sizewell C), а також впровадження малих модульних реакторів (SMR) у партнерстві з національними та міжнародними компаніями [6].

Після енергетичної кризи 2021-2022 рр. Велика Британія значно активізувала заходи щодо диверсифікації джерел імпорту газу, посиливши

співпрацю з Катаром, США та Норвегією. Уряд також надає перевагу розбудові інфраструктури гнучкого ринку, включаючи smart grids, системи накопичення енергії та цифрову інтеграцію споживачів до енергосистеми.

Відповідно до урядового документа British Energy Security Strategy (2022), країна зосереджена на ключових напрямках [171]:

- розширення внутрішніх потужностей ВДЕ, зокрема вітру, сонця і водню;
- розвиток ядерної генерації як довгострокового джерела стабільного постачання;
- підвищення енергоефективності будівельного сектору через модернізацію систем опалення;
- зміцнення інфраструктури газового зберігання та LNG-терміналів як засобу захисту від зовнішніх шоків.

Оновлений комплексний огляд безпеки Великої Британії 2023 р. визначає чотири ключові стратегічні напрями [236]: 1) формування міжнародного середовища задля підтримки стабільного світового порядку та захисту глобальних суспільних благ; 2) стримування, захист і конкуренція в усіх сферах; 3) зміцнення стійкості до внутрішніх і зовнішніх вразливостей; 4) посилення конкурентних переваг в умовах геополітичної нестабільності.

Стратегія 2023 р. спирається на положення Комплексного огляду 2021 р. та доповнюється низкою функціональних стратегій, зокрема в енергетичній сфері [221]. Водночас зазначається, що Європа стикається з наймасштабнішим військовим конфліктом з часів Другої світової війни, спровокованим російською агресією та загостреним міграційною та енергетичною кризами. Ці події спричинили серйозні порушення на глобальних енергетичних ринках і посилили напруження навколо доступу до енергоресурсів. У Великій Британії наслідком стало різке зростання цін на енергоносії, що вимагало державного втручання через запровадження Гарантії цін на енергоносії та інших програм підтримки [236].

Перехід до чистої енергетики розглядається як стратегічне рішення, здатне забезпечити довгострокову енергетичну безпеку, хоча він супроводжується

низкою викликів, пов'язаних із доступом до нових технологій та рідкісних корисних копалин.

У рамках реалізації першого стратегічного напрямку – формування міжнародного середовища – енергетика разом із кліматичними, екологічними та економічними питаннями визначається пріоритетною сферою міжнародної співпраці, зокрема в євроатлантичному та індо-тихоокеанському регіонах. Серед ключових ініціатив Великої Британії у сфері енергетичної безпеки – діяльність Групи енергетичного співробітництва Північного моря (Бельгія, Данія, Франція, Німеччина, Ірландія, Люксембург, Європейська комісія), а також проведення двосторонніх самітів, таких як Велика Британія – Франція. В Індо-Тихоокеанському регіоні стратегія передбачає співпрацю в рамках програм «Партнерство за справедливий енергетичний перехід» (з Індонезією та В'єтнамом) і «Кліматичні дії заради стійкої Азії» [236]. Особливу увагу приділено ролі Китаю як найбільшого джерела викидів вуглецю та водночас провідного інвестора у сталу енергетику.

У рамках другого напрямку – стримування, захист і конкуренція – особливу увагу акцентовано на розвитку ядерного енергетичного сектору, який розглядається як важливий інструмент зміцнення енергетичної безпеки, забезпечення кліматичних цілей, економічного зростання та інноваційного поступу. Очікується, що до 2050 р. потужність британської атомної енергетики становитиме 24 ГВт [236]. Для досягнення цієї мети уряд інвестує у проєкти Hinkley Point C, Sizewell C та розвиває інституційну інфраструктуру через створення «Great British Nuclear, Future Nuclear Enabling Fund та Nuclear Fuel Fund». Енергетика також є складовою стратегії протидії впливу Росії у світі, зокрема через обмеження її здатності перетворювати енергоресурси на інструмент примусу [267].

У рамках третього стратегічного напрямку – забезпечення стійкості – підкреслюється необхідність зниження вразливості енергопостачання Великої Британії до зовнішніх загроз та цінової волатильності. Для цього передбачено диверсифікацію джерел постачання, зменшення залежності від імпорту з Росії,

активізацію міжнародного співробітництва, зокрема з країнами Перської затоки, США, Францією та державами Північного моря. Довгострокові заходи включають розвиток морських вітрових електростанцій, низьковуглецевої водневої енергетики, атомної енергетики та інноваційних технологій. Координація зусиль здійснюватиметься новоствореним Міністерством енергетичної безпеки та нульового рівня викидів на основі відповідних стратегічних планів [236].

Четвертий стратегічний напрям передбачає інтеграцію енергетичної безпеки у політику «зеленого» зростання через розвиток екологічних технологій, інновацій та покращення інвестиційного клімату, що направлене на посилення конкурентоспроможності. Це має сприяти як внутрішньому розвитку (створення нових робочих місць, енергетична незалежність), так і зміцненню міжнародних позицій Великої Британії у сфері відновлюваної енергетики [236].

Значущим чинником, що визначає сучасну енергетичну політику США, є стратегічне прагнення до енергетичної незалежності, яке посилюється після енергетичних криз 1970-х рр. і набуло особливої актуальності в умовах геополітичної нестабільності початку XXI ст.. Починаючи з 2010-х рр., завдяки активному розвитку технологій гідророзриву пласта та горизонтального буріння, США суттєво збільшили видобуток нафти та природного газу, перетворившись на одного з найбільших світових виробників енергоресурсів.

У 2019 р. США вперше за кілька десятиліть стали нетто-експортером енергії, тобто обсяги експорту енергоресурсів перевищили обсяги імпорту [319]. У 2022-2023 рр. країна посідає перше місце у світі за видобутком природного газу та перше місце за експортом зрідженого природного газу (LNG), що є важливим елементом геоенергетичної стратегії Вашингтона в умовах енергетичної кризи в Європі [239].

Згідно з даними U.S. Energy Information Administration (EIA), станом на 2023 р. структура первинного споживання енергії в США виглядає так: нафта складає близько 38%, природний газ – 33,85%, відновлювані джерела енергії – 13%, вугілля – 8,69%, ядерна енергія – 7,77% [291]. Хоча викопні джерела

залишаються домінантними, питома вага відновлюваних джерел зросла вдвічі за останнє десятиліття, особливо завдяки розвитку сонячної та вітрової генерації. Федеральна енергетична політика США дедалі більше орієнтується на декарбонізацію та розвиток чистої енергетики.

Ключовим викликом для США залишається необхідність забезпечення надійності та гнучкості електроенергетичних систем в умовах зростаючої децентралізації та інтеграції нестабільних джерел енергії. Для цього впроваджуються smart grids, цифрові технології управління попитом та інтелектуальні системи прогнозування енергоспоживання.

Стратегія національної безпеки США є ключовим програмним документом, який визначає національні інтереси, основні загрози та виклики безпеці, а також стратегічні підходи до їх подолання [274]. Стратегія чітко позиціонує енергетичну безпеку в контексті глобальної кліматичної кризи, яку визначено як «екзистенційний виклик нашого часу». Вона підкреслює необхідність енергетичної трансформації, що має зменшити «колективну залежність» від авторитарних держав, які використовують енергетичні ресурси як інструмент геополітичного тиску (зокрема, йдеться про Росію та її спробу перетворити експорт нафти й газу на зброю).

У відповідь на загострення енергетичної кризи документ передбачає реалізацію «відповідального глобального енергетичного переходу», стабілізацію енергетичних ринків і впровадження інноваційних технологій у сфері енергетики. Водночас стратегія визнає нагальну необхідність прискорити перехід від викопного палива, зазначаючи, що довгострокова енергетична безпека прямо залежить від розвитку чистої енергетики.

Технології відновлюваної та низьковуглецевої енергетики визначено як інвестиційний пріоритет промислової та інноваційної політики. Відповідні заходи реалізуються через [274]:

- інвестиції в енергетичну інфраструктуру та розвиток технологій чистої енергії;

- скорочення викидів вуглецю відповідно до національної ініціативи з біотехнологій і біовиробництва;
- стимулювання внутрішнього енергетичного виробництва згідно із законом про зниження інфляції.

Особлива увага у Стратегії приділяється інтеграційним підходам у сфері безпеки (військової, цивільної, у т. ч. енергетичної). Документ наголошує на важливості поглибленої співпраці з регіональними партнерами та союзниками, що має на меті зміцнення колективної енергетичної безпеки та формування спільного реагування на сучасні транснаціональні виклики.

Аналіз зарубіжного досвіду засвідчує, що переважна більшість країн світу все ще значною мірою залежить від викопних джерел енергії, зокрема вугілля та природного газу, які формують основу глобального енергетичного виробництва. Загалом у світі понад третина електроенергії генерується з низьковуглецевих джерел.

Підвищення енергоефективності та перехід на відновлювані джерела енергії, як це передбачено європейськими механізмами, дозволить знизити залежність від зовнішніх постачальників енергії [8]. Лідером низьковуглецевої генерації є Норвегія, Франція. Частка електроенергії, виробленої з низьковуглецевих джерел, представлена на рис. 1.6.

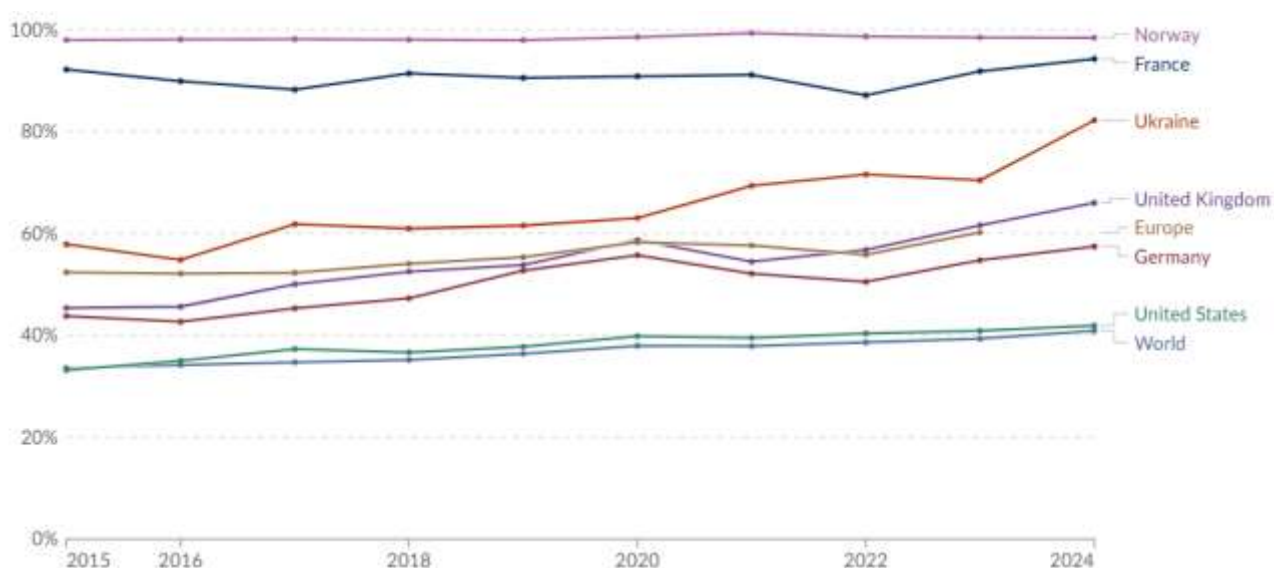


Рис. 1.6. Частка електроенергії, виробленої з низьковуглецевих джерел, [287].

Глобальні тенденції у сфері ядерної енергетики відображають суттєві відмінності у національних енергетичних стратегіях. У той час, як низка країн згорнули атомну генерацію (Німеччина), інші держави навпаки, роблять ставку на її розвиток як надійного джерела низьковуглецевої енергії.

Високі обсяги виробництва ядерної електроенергії мають США, Китай, Франція, Росія та Південна Корея (таблиця В.1 додатку В). Незважаючи на незначне зниження загальної встановленої потужності, виробництво електроенергії на атомних електростанціях у 2023 р. зросло на 2%. Водночас, цей показник все ще залишався на 58 ТВт год нижчим за докризовий рівень генерації 2019 р. та на 2% меншим за історичний максимум, зафіксований у 2006 р. У Європі спостерігалось зниження обсягів виробництва ядерної енергії на 1%, що зумовлено, з одного боку, поступовим відновленням ядерного парку Франції після масштабних збоїв у 2022 р., а з іншого, – виведенням з експлуатації трьох останніх атомних енергоблоків у Німеччині на початку 2023 р.. Китай залишається світовим лідером за темпами розбудови ядерної генерації: з 2000 р. у цій країні було збудовано близько 60% усіх нових ядерних енергоблоків у світі. Наприкінці 2023 р. у Китаї розпочалась комерційна експлуатація першого у світі демонстраційного малого модульного реактора, що працює на основі технологій четвертого покоління та оснащений вбудованими системами пасивної безпеки.

Після аварії на АЕС «Фукусіма» у 2011 р. Японія поступово відновлює роботу своїх атомних електростанцій. У 2023 р. виробництво ядерної енергії в країні зросло на 50%, що свідчить про активізацію національної політики енергетичної стабілізації. У США рівень виробництва залишався стабільним, загальний обсяг ядерної генерації був співрозмірним із сукупним виробництвом Китаю та Франції – країн, що посідають друге та третє місця у світі за обсягами ядерної генерації.

Аналізуючи структуру, зазначимо, що лідером атомної генерації у загальній структурі генерації енергії є Франція (рис. 1.7).

У глобальному масштабі приблизно 10% електроенергії виробляється на атомних електростанціях. Упродовж останніх десятиліть загальний баланс між

викопними (вугілля та природний газ) та низьковуглецевими джерелами (гідроенергетика та атомна енергетика, вітрова й сонячна генерація) залишався відносно стабільним. Зниження обсягів ядерної генерації в певні роки майже відповідало приросту виробництва з відновлюваних джерел.

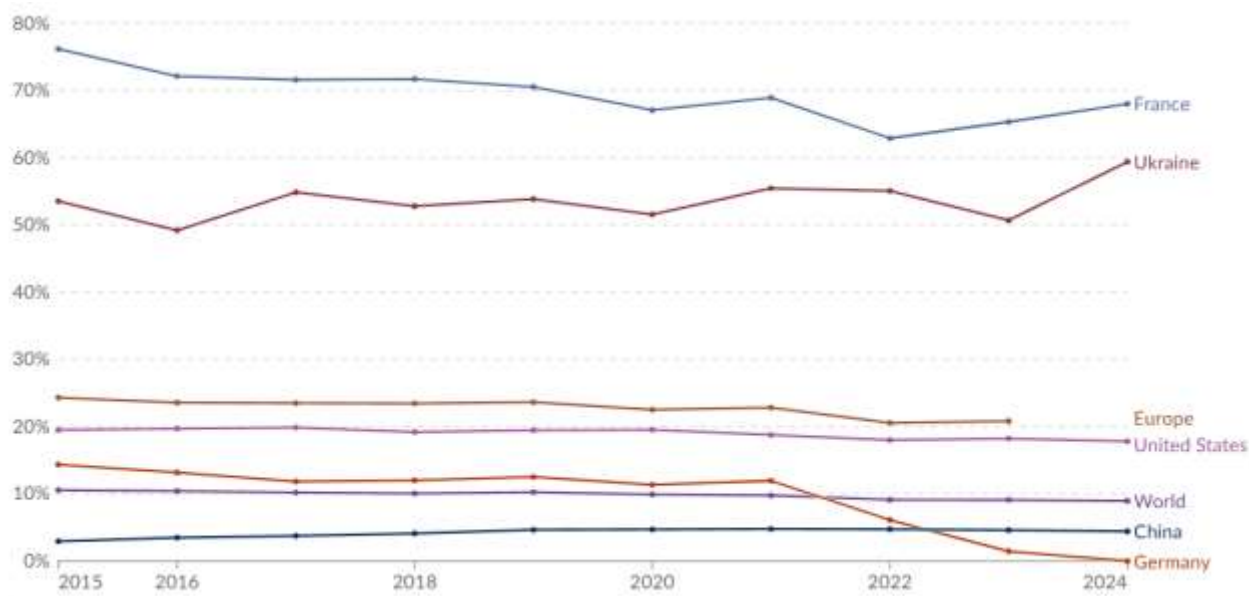


Рис. 1.7. Частка виробництва електроенергії з атомної енергії у загальному обсязі генерації енергії, [290].

Вуглецемісткість електроенергії вимірює кількість CO₂ (грам), що виробляється на одиницю (кВт·год) електроенергії. Країни, у яких значна частка електроенергії виробляється з низьковуглецевих джерел енергії (відновлюваних та ядерних), мають нижчу вуглецеву інтенсивність. Рис. 1.8. демонструє вуглецемісткість генерації електроенергії. Спостерігається тренд на збільшення частки низьковуглецевої генерації, зокрема з відновлюваних джерел енергії (вітрової, сонячної, гідроенергетики, рис. 1.6) та атомної енергетики певних країн (рис 1.7, таблиця В.1 додатку В).

Розвиток цих джерел енергії дозволяє знижувати вуглецеву інтенсивність електроенергетики, що є критично важливим в контексті боротьби зі змінами клімату та забезпечення сталого енергетичного майбутнього.

Аналіз ключових аспектів, закладених у стратегіях щодо забезпечення енергетичної безпеки провідних держав світу, дозволяє виявити спільні

пріоритети та відмінності у національних підходах, що формуються під впливом геополітичних реалій, енергетичних викликів, рівня енергозалежності, технологічного розвитку та участі в міжнародних ініціативах.

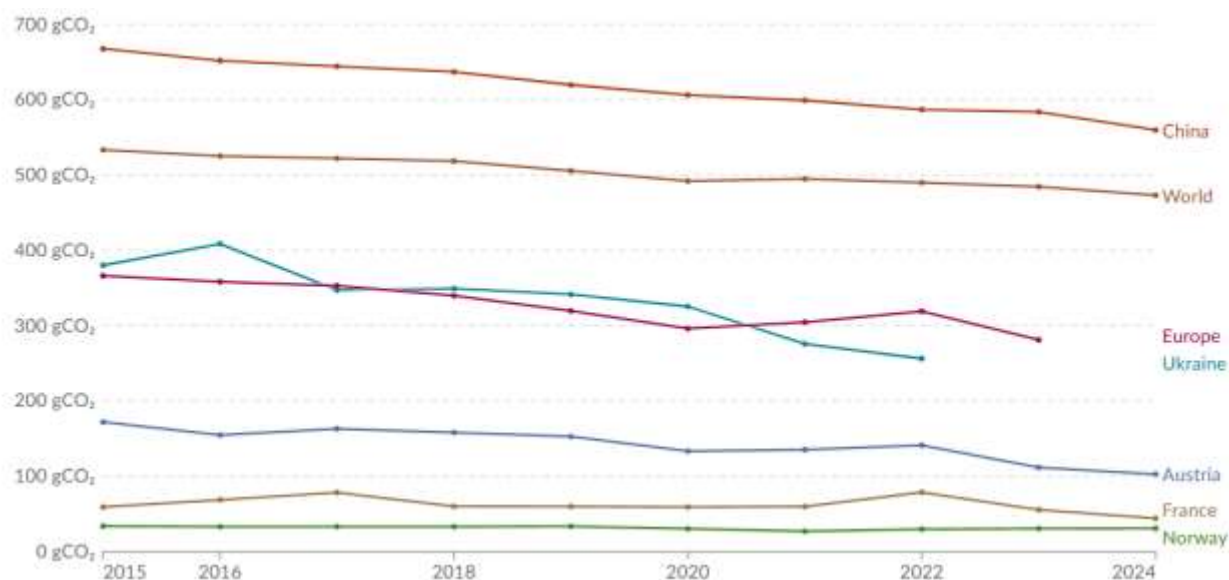


Рис. 1.8. Вуглецемісткість виробництва електроенергії, [287].

У таблиці 1.7. нами наведено характеристики основних компонентів енергетичної безпеки, інтегрованих у стратегії національної безпеки США, Великої Британії, Франції, Німеччини та Норвегії.

Порівняльний аналіз стратегій енергетичної безпеки дозволяє окреслити пріоритети та підходи провідних держав до формування стійких енергетичних систем. Акценти зроблено на таких параметрах, як геостратегічна роль енергії, реакція на енергетичну кризу, спричинену агресивною енергетичною політикою Росії, заходи зі стабілізації ринку, диверсифікація джерел постачання, розвиток інфраструктури, підтримка сталого енергетичного переходу та інноваційні технології.

Отримані результати вказують, що успішна реалізація енергетичної трансформації у зарубіжних країнах значною мірою залежить від стратегічного бачення державної політики, інвестицій у новітні технології, максимально ефективного використання природного потенціалу, а також від ефективного управління критичною енергетичною інфраструктурою. Особливе значення має

диверсифікація джерел постачання, зміцнення національної енергетичної безпеки та стимулювання розвитку інновацій у сфері «зеленої» енергетики.

Таблиця 1.7

Ключові аспекти енергетичної безпеки,
інтегровані у стратегіях національної безпеки провідних країн*

Ключові аспекти енергетичної безпеки	США	Велика Британія	Франція	Німеччина	Норвегія
Енергія як геостратегічний інструмент	✓				✓
Енергетична криза, спричинена використанням Росією енергоносіїв як зброї	✓	✓	✓	✓	✓
Збої на енергетичних ринках та напруженість щодо доступу до джерел енергії	✓	✓	✓	✓	✓
Міжнародне співробітництво у сфері енергетичної безпеки	✓	✓			✓
Роль енергетичної безпеки в забезпеченні стійкості держави	✓	✓	✓	✓	✓
Стабілізація енергетичних ринків	✓	✓			✓
Диверсифікація джерел енергії	✓		✓		✓
Захист критичної енергетичної інфраструктури	✓	✓	✓	✓	✓
Поліпшення енергетичної інфраструктури		✓			✓
Підтримка конкурентоспроможності виробництва електроенергії			✓		✓
Використання ядерної енергії		✓			
Сталий енергетичний перехід та зелені інвестиції	✓	✓	✓	✓	✓
Інноваційні енергетичні технології / технології зеленої енергетики	✓	✓	✓		✓

*систематизовано автором.

Використання прогресивного досвіду реалізації європейських механізмів енергоефективності може сприяти зниженню енерговитрат та підвищити економічну стійкість національної економіки. З огляду на результати дослідження зарубіжного досвіду, доцільним є врахування кращих практик при формуванні національної стратегії забезпечення енергетичної безпеки, орієнтованої на підвищення енергетичної незалежності, зменшення вуглецевого

слідую та забезпечення стабільності енергетичного сектора в умовах глобальних викликів.

Висновки до першого розділу

1. Безпека є фундаментальною категорією суспільного розвитку, яка еволюціонувала від філософських роздумів про самозбереження людини до сучасного системного розуміння національної безпеки як комплексного стану захищеності держави, суспільства й громадян від внутрішніх та зовнішніх загроз. Економічна безпека є базовою складовою національної безпеки, адже саме вона забезпечує стійкість економічної системи, здатність держави ефективно функціонувати та розвиватися в умовах глобальних викликів.

Поняття «економічна безпека» ми визначаємо як збалансований та стійкий стан національної економіки, який досягається на основі ефективно функціонуючого механізму протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам (у т. ч. цілеспрямованим впливам), шляхом реалізації комплексу заходів, спрямованих на сталий розвиток країни у врівноважених вимірах (економічному, соціальному, екологічному).

Енергетична безпека, своєю чергою, є ключовою складовою економічної безпеки, оскільки стабільне, безперебійне та доступне постачання енергії є основою функціонування усіх галузей економіки (промисловості, транспорту, сфери послуг, інфраструктури тощо) та забезпечення життєдіяльності людей. Рівень енергетичної безпеки безпосередньо визначає здатність держави зберігати економічну стійкість, забезпечувати стратегічну автономію та протистояти зовнішньому тиску, зокрема енергетичній залежності. Еволюція розуміння контексту енергетичної безпеки демонструє перехід від вузького (ресурсно-постачального) його розуміння до комплексного, що включає економічні, політичні, соціальні, екологічні та технологічні аспекти.

Поняття «енергетична безпека» ми визначаємо як динамічний стан захищеності національної енергетичної системи від внутрішніх і зовнішніх

загроз, що забезпечує стабільне, економічно ефективне, технічно надійне, екологічно збалансоване та соціально прийнятне енергозабезпечення потреб суспільства й економіки у стабільних умовах функціонування, в умовах кризових ситуацій та трансформацій; передбачає інституційну спроможність держави до формування, реалізації та адаптації політики в енергетичній сфері з метою захисту національних інтересів і підтримки сталого розвитку.

2. Обґрунтовано науково-методичні основи управління енергетичною безпекою на різних рівнях. Сучасна практика підтверджує доцільність багаторівневої системи управління, у якій на глобальному рівні забезпечується координація міжнародних політик, моніторинг виконання кліматичних угод і формування спільних стандартів; макрорівень (національний) відповідає за стратегічне планування розвитку, нормативно-правове забезпечення та регуляторну діяльність; мезорівень (регіональний) адаптує загальнодержавні стратегії до специфіки регіонів, забезпечуючи зв'язок між державними політиками та локальними потребами; мікрорівень (локальний) реалізує практичні заходи щодо енергоефективності, розвитку ВДЕ, енергетичного самозабезпечення та формування енергетичної культури.

Базові принципи управління енергетичною безпекою доповнені принципами системності та інтегрованості, адаптивності та гнучкості, інноваційності, прозорості та підзвітності, субсидіарності та багаторівневого управління, соціальної справедливості, які загалом слугують методичним підґрунтям для забезпечення енергетичної безпеки. З урахуванням контексту сучасних реалій «ризиків» енергоринку визначено як імовірність виникнення певних наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспрямованих дій контрагентів.

Ефективне управління ризиками в енергетичному секторі потребує системних, проактивних та адаптивних рішень, має спиратися на традиційні методи управління ними та використовувати сучасні цифрові інструменти, стратегічне планування та здатність до оперативного реагування на виклики та

загрози. «Управління ризиками» в енергетичному секторі визначено як цілеспрямований, системний, проактивний та адаптивний процес ідентифікації та постійного моніторингу, оцінювання викликів та загроз (технічних, економічних, екологічних, соціальних, кібернетичних та геополітичних) з використанням традиційних методів (страхування, диверсифікація, резервування, хеджування) та високим рівнем інформованості за рахунок використання цифрової аналітики, планування з метою оперативного реагування на динамічні виклики та упередження/ нівелювання/ мінімізації загроз.

3. Досвід економічно-розвинених країн свідчить, що кожна з країн реалізує власну модель розвитку енергетики та забезпечення енергетичної безпеки, адаптовану до національних ресурсів, економічних можливостей і геополітичних реалій та прийнятих стратегічних рішень на національних рівнях. Зокрема, США, Франція, Китай є світовими лідерами за обсягами виробництва атомної генерації, в той час, як Німеччина відмовившись від експлуатації АЕС, на сьогодні уже переглянула це рішення. Норвегія потужно використовує потенціал відновлювальних джерел енергії. Загалом відзначаємо сталий тренд на збільшення частки низьковуглецевої генерації, зокрема відновлюваних джерел енергії (вітрової, сонячної, гідроенергетики), а також започатковуються проєкти генерації енергії з використанням малих модульних атомних реакторів. Проте, впродовж останніх десятиліть загальний баланс між викопними та низьковуглецевими джерелами залишався відносно стабільним. Скорочення виробництва атомної енергії у низці країн частково нівельоване позитивною динамікою у впровадженні відновлюваних технологій генерації енергії.

Розглянуті моделі США, країн ЄС, Великої Британії, Азії засвідчують різні підходи до збалансування енергетичних, економічних та екологічних пріоритетів. Провідні міжнародні практики включають диверсифікацію енергоресурсів, інтеграцію відновлюваних джерел, розвиток транскордонних енергетичних об'єднань та формування стратегічних резервів. Ключовою особливістю сучасного розвитку енергетики є орієнтація на сталий розвиток та досягнення кліматичної нейтральності.

Успішні міжнародні практики управління енергетичною безпекою, підвищення енергетичної незалежності, зменшення вуглецевого сліду та забезпечення стабільності енергетичного сектора в умовах глобальних викликів доцільно адаптувати до національних умов.

У той же час, Україна згенерувала власний практичний досвід забезпечення функціонування енергетичної системи в умовах війни та безпосередніх цілеспрямованих ракетних атак РФ по її об'єктах енергетики. Такий досвід є цінним для країн світу в контексті реагування на масштабні виклики та загрози енергетичній безпеці.

Основні наукові результати опубліковані у таких авторських працях: [25; 30; 31; 35; 40; 195; 197; 199; 201; 202].

РОЗДІЛ 2

СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ У СИСТЕМІ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

2.1. Основні макроекономічні показники та детермінанти розвитку енергетичного комплексу України

Війна РФ проти України негативно вплинула на макроекономічні показники України. У таблиці Г.1 додатку Г представлено дані про номінальний валовий внутрішній продукт України протягом 2021-2024 рр. У 2022 р. навіть попри суттєве зростання цін, валовий внутрішній продукт (ВВП) зменшився у фактичних цінах до 5 191 028 млн грн (на 4,9% відносно його рівня у 2021 р.). У 2023 р. та 2024 р. номінальний ВВП зростав відносно рівня попередніх років (на 25,9% та на 17,1% відповідно). У реальному ВВП враховується, в якій мірі зростання ВВП є реальним зростанням виробництва, а не зростанням цін (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Номінальний та реальний ВВП України*

Рік	Номінальний ВВП (у фактичних цінах), млн грн	Реальний ВВП (у цінах попереднього року), млн грн	Абсолютне відхилення реального ВВП від номінального, млн грн	% відхилення реального ВВП від номінального
2021	5 459 574	4 363 582	-1 095 992	-20,1
2022	5 191 028	3 865 780	-1 325 248	-25,5
2023	6 537 825	5 518 062	-1 019 763	-15,6
2024	7 658 659	6 821 088	-837 571	-10,9

*складено автором за даними [82].

Найбільший рівень відхилення реального ВВП від номінального був у 2022 р., що було обумовлено інфляційним «стрибком». У 2023-2024 рр. динаміка відхилення реального ВВП України від номінального уповільнилася. Валовий внутрішній продукт у розрахунку на одну особу з 2022 р. в Україні не

здійснюється через значну міграцію населення, а також через неоприлюднення даних щодо чисельності населення України в умовах воєнного стану.

Головним загальнодержавним фондом централізованих коштів є державний бюджет, дефіцит якого у 2022 р. зріс майже у 5 разів (з 3,63% до ВВП у 2021 р. до 17,62% до ВВП у 2022 р.). У 2023 р. дефіцит бюджету України збільшився до рівня 20,39% ВВП; у 2024 р. – зменшився і склав 17,74% до ВВП (таблиця Г.2 додатку Г). Дані таблиці Г.3 додатку Г свідчать про суттєві зміни у розподілі видатків державного бюджету України з 2022 р., що обумовлено насамперед потребами оборони України. Видатки на оборону з державного бюджету України зросли з 8,56% у 2021 р. до 42,24% у 2022 р., а в 2023-2024 рр. вони перевищили 50% від загальної суми видатків державного бюджету України.

Великі потреби фінансування обороноздатності країни, а також потреби фінансування поточних видатків на освіту, охорону здоров'я, соціальний захист тощо обумовили посилення залежності України від зовнішньої підтримки партнерів. Обсяги державного боргу України зростають (таблиця Г.4 додатку Г), особливо доцільно звернути увагу на зовнішній державний борг України, який зріс з 83,3% у 2021 р. до 95,5% у 2024 р. (таблиця Г.5 додатку Г). Боргове навантаження, умови кредиторів обумовлюють ризики зовнішньої фінансової вразливості України. На рис. 2.1 представлено дані державного боргу та ВВП України.

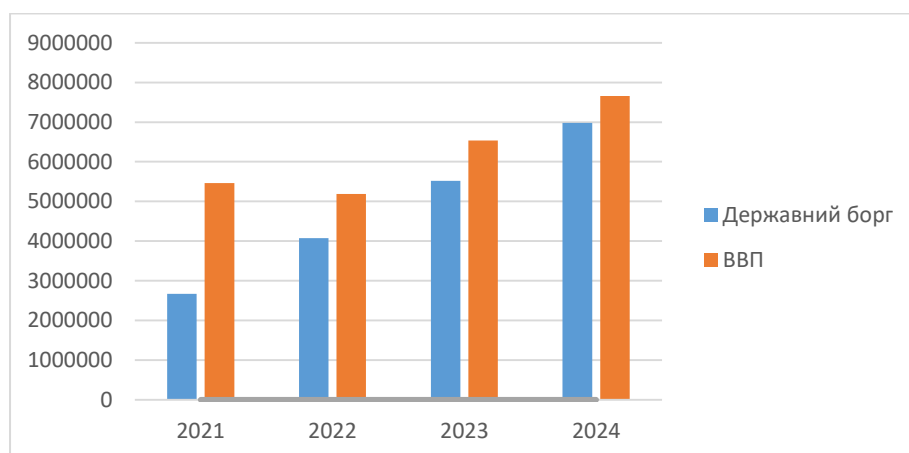


Рис. 2.1. Державний борг України та номінальний ВВП України, млн грн, побудовано автором на основі даних [82].

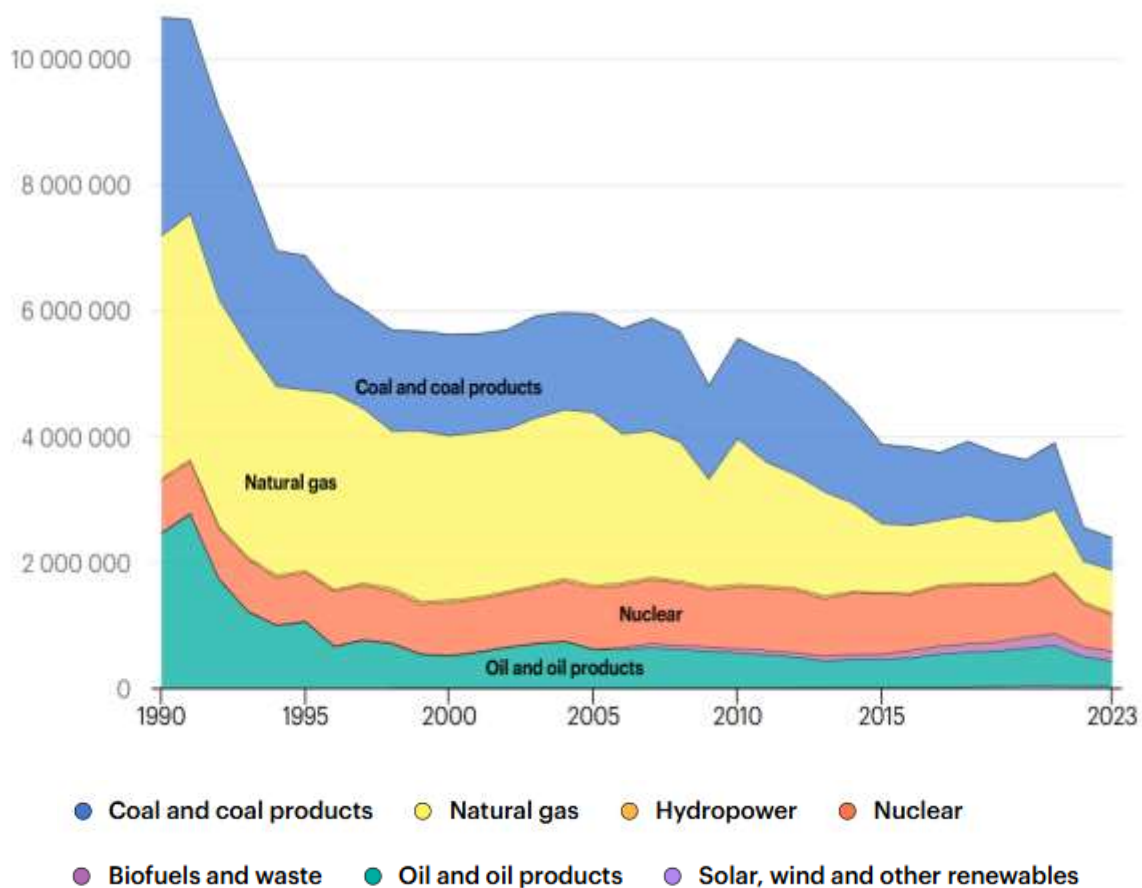
Високі темпи зростання державного та гарантованого державою боргу України обумовили критично високу його частку до ВВП України. Зіставлення цих даних свідчить, що державний борг України зріс з 48,9% ВВП у 2021 р. до 91,2% ВВП на кінець 2024 р., що свідчить про складну ситуацію із рівнем фінансової безпеки України.

Також суттєво погіршилося сальдо зовнішньоторговельного балансу України протягом 2021-2024 рр. (таблиця Г.6 додатку Г), що свідчить про погіршення зовнішньоекономічної безпеки та параметрів економічної безпеки загалом.

Основу енергетичної безпеки у системі економічної та національної безпеки становить надійне та ефективне функціонування паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) – системи підприємств електроенергетики, вугледобувної, паливної та нафтопереробної промисловості. ПЕК справляє вирішальний вплив на економіку і рівень життя населення. При цьому об'єднана енергетична система України формує єдиний технологічний комплекс виробників і споживачів енергії.

Ключову роль у структурі ПЕК відіграють нафта, природний газ і вугілля, які забезпечують понад 67% первинного енергоспоживання держави (рис. 2.2). Саме від стану їхнього видобутку, імпорту, транспортування та переробки значною мірою залежить стійкість національної енергетичної системи.

Вугільна промисловість, попри поступову трансформацію, залишається одним із базових елементів енергетичної системи, що забезпечує енергетичну незалежність у кризових умовах. Вугілля є основним паливом, що використовується для виробництва електроенергії в усьому світі. Ф'ючерси на вугілля активно торгуються, зокрема, на Нью-Йоркській товарній біржі (NYMEX) та на Міжконтинентальній біржі (ICE). Динаміка світових біржових цін на вугілля (проілюстрована на рис. 2.3 протягом жовтня 2022 р. – вересня 2025 р.; по місяцях 2025 р. – на рис. Д.1 додатку Д), ґрунтуються на котируваннях з урахуванням позабіржових угод (ОТС) та контрактів на різницю цін (CFD); ціна на вугілля розраховується у дол США за тону.



*вугілля та вугільні продукти; природний газ; гідроенергетика; атомна енергетика; біопаливо та відходи; нафта та нафтопродукти; сонячна, вітрова та інші відновлювані джерела енергії.

Рис. 2.2. Загальне енергопостачання за джерелами, ТДж, Україна, [59].



Рис. 2.3. Динаміка світових біржових цін на вугілля протягом жовтня 2022 р. – вересня 2025 р., дол США за тонну, [82].

Нафтова промисловість охоплює видобуток, транспортування та переробку сировини, яка є стратегічним ресурсом для стабільного функціонування економіки. Залежно від родовищ нафта характеризується різним складом вмісту сірки, вмісту груп алканів, наявності домішок та ін. Тому для спрощення торговельних операцій використовуються еталонні / маркерні сорти нафти. Стандартом для світових цін є марки нафти WTI (використовується переважно для західної півкулі землі і як орієнтир для інших сортів нафти) та Brent (використовується здебільшого для ринків Європи та країн ОПЕК). Для російської нафти маркерним є сорт Urals (створюється змішуванням у системі трубопроводів різних видів нафти, що видобуваються в Росії). На рис. 2.4 наведено динаміку цін на маркерні сорти нафти (Brent, WTI, Urals) за останні три місяці 2025 р. (на рис. Д.2 додатку Д – за грудень 2025 р.).

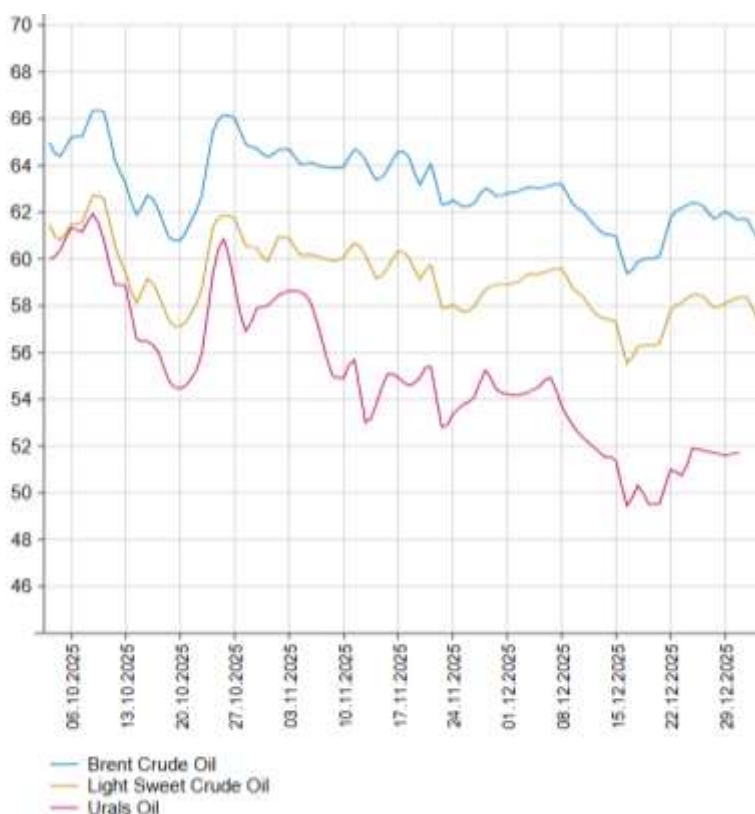


Рис. 2.4. Динаміка цін на маркерні сорти нафти (Brent, WTI, Urals) протягом жовтня-грудня 2025 р., дол за барель³, [82].

³ головною світовою одиницею виміру обсягу нафти є американський нафтовий барель, рівний 42 галонам / 158,988 літрам.

Газова галузь, своєю чергою, має системоутворююче значення, адже природний газ виступає універсальним енергоресурсом для промисловості, житлово-комунального сектору та електрогенерації. Одним з найбільших газових хабів Європи є газовий хаб TTF (Title Transfer Facility) у Нідерландах. Дана віртуальна торгова точка надає можливість проводити біржові операції. Торгівля газом на TTF здійснюється в євро за МВт·год. Ціни на природний газ, за якими він торгується на Лондонській біржі ICE також істотно впливають на європейські і світові ринки газу (встановлюється в пенсах Великобританії, пенс дорівнює 1/100 фунта стерлінга за один терм (GB p / thm)). На Нью-Йоркській товарній біржі NYMEX (New York Mercantile Exchange – провідна американська ф'ючерсна товарно-сировинна біржа) торгується еталонний сорт газу Henry Hub, який є основою для цін на газ в Західній півкулі землі, й істотно впливає на ціноутворення в усьому світі. Ціни на газ на NYMEX встановлюються у дол США (дол США / MMBtu)⁴.

Динаміка цін на природний газ на газовому хабі TTF представлена на рис. 2.5 та на рис Д.3-Д.4 додатку Д. Як бачимо, була здебільшого тенденція до зниження цін на газ на газовому хабі TTF та на Лондонській біржі, але впродовж листопада – перша половина грудня, – підвищення цін на Нью-Йоркській товарній біржі.

На функціонування та розвиток ринку вугілля, газу та нафти впливають глобальні, політичні, ринкові, технологічні та інші чинники.

Вплив глобальних чинників на розвиток газового ринку розкрито у публікації О. Дзьоби та І. Кінаш [50]. Широкий спектр параметрів функціонування енергетичної галузі висвітлюється на офіційному сайті Міністерства енергетики України [81]. Стан, проблеми та перспективи газовидобування в Україні досліджено у публікації М. Дихи [46].

⁴ при перерахунку одиниць об'єму для природного газу можна застосовувати такі співвідношення:
 $1000 \text{ м}^3 \approx 10,49 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$, або $1 \text{ МВт} \cdot \text{год.} \approx 95,31 \text{ м}^3$;
 $1 \text{ thm} = 100000 \text{ Btu}$. $1000 \text{ м}^3 \approx 358 \text{ thm}$, або $1 \text{ thm} \approx 2,7933 \text{ м}^3$;
 $1000 \text{ м}^3 \approx 35\,800\,000 \text{ Btu}$ (британська теплова одиниця) або $1\,000\,000 \text{ Btu} \approx 27,933 \text{ м}^3$.



Рис. 2.5. Динаміка цін на природний газ на газовому хабі TTF протягом 2025 р., євро за МВт·год, [82].

Видобуток природного газу в Україні здійснюється потужностями АТ «Укргазвидобування», ПАТ «Укрнафта» та низки приватних компаній. У публікації [46] обґрунтовано необхідність збільшення потужностей власного видобутку газу, напрями розвитку газовидобування (у т. ч. із залученням іноземних компаній з їх новітніми технологіями для розробки родовищ) в контексті реалізації стратегії «Від видобувної компанії – до національного оператора енергетичних сервісів» Групи компаній Нафтогазу України, зважаючи, з одного боку, на глобальні виклики та загрози енергетичній безпеці, з іншого, – враховуючи існуючі поклади природного газу в Україні. Розподіл запасів природного газу по адміністративних областях України представлено на рис. Д.5 додатку Д. Найбільші запаси газу зосереджені у районі Дніпровсько-Донецької западини на території Харківської та Полтавської областей [88]. На балансі НАК «Нафтогаз України» нараховувалося близько 2,3 тис газових свердловин експлуатаційного фонду, які не використовувалися з різних причин (технічних, технологічних та суто формальних). Наявні поклади газу в Україні геологами оцінюються на рівні 1,3 трлн м³ при річній потребі 32 млрд м³ газу. Найбільшою

кількістю свердловин в Україні володіє АТ «Укргазвидобування» (близько 2,5 тис перебувають в активному фонді), однак, 95% цих родовищ виснажені на понад 87%. Обсяги видобутку газу та структура газовидобування в Україні представлена у таблиці Д.1 та на рис. Д.6 додатку Д, яка свідчить про лідируючу позицію у даній сфері АТ «Укргазвидобування» (70% валового видобутку газу в Україні у 2020 р.). Надходження іноземного капіталу обумовлювало зростання видобутку газу приватними компаніями (частка видобутку якими складала менше 20% у 2015 р., а в 2020 р. – понад 24% валового видобутку газу в Україні) [46; 88].

За 2023 р. «Укрнафта» всього видобула 1,41 млн тонн нафти з конденсатом та 1,1 млрд м³ газу природного і нафтового, що більше на 3% і 6% відповідно до показників видобутку 2022 р. (1,37 млн тонн нафти, 1,037 млрд м³ газу) [100].

Характерною ознакою теперішнього часу стала помітніша роль держави як регулятора та як акціонера, що в сучасних умовах пов'язано з військовою необхідністю, та є логічним. Держава отримала частки в багатьох компаніях через націоналізацію (АТ «Мотор Січ», ПрАТ «АвтоКрАЗ» та ПрАТ «Запоріжтрансформатор»), а також у ПАТ «Укртатнафта». На підставі Закону України «Про передачу, примусове відчуження або вилучення майна в умовах правового режиму воєнного чи надзвичайного стану» [108] були ухвалені рішення та з 6 листопада 2022 р. здійснені акти примусового відчуження акцій низки компаній ПАТ «Укртатнафта», що обумовлено їх значимістю в енергетиці, постачанні пального, оборонній логістиці. Зазначимо, що ПАТ «Укрнафта» не погодилась з рішенням націоналізації та звернулась до суду з відповідним позовом, аргументуючи, що процедура примусового відчуження акцій здійснена з порушеннями та є протиправною. Суди попередніх інстанцій у задоволенні позову відмовили. Касаційний господарський суд у складі Верховного Суду у Постанові про визнання права власності, витребування майна з володіння та зобов'язання вчинити дії [103] погодився з рішеннями судів попередніх інстанцій, тобто залишив їх без змін [41].

На жаль, об'єкти ПЕК України (нафтової та газової інфраструктури, об'єкти енергогенерації) [51; 100] як стратегічно важливі у системі національної економіки, зазнають руйнівних цілеспрямованих атак РФ та втрат. Зокрема, згідно інформації офіційного сайту ДТЕК [51], ТЕС ДТЕК були обстріляні понад 200 разів. Загалом Росія застосувала по українській енергетиці більше 2,3 тис ракет та дронів; від початку повномасштабної війни група ДТЕК відновила електропостачання для до 17 млн осіб станом на березень 2025 р. [51].

Для забезпечення нормальної життєдіяльності населення та галузей економіки енергією важливим є стабільна її генерація у необхідних обсягах та подача енергії до споживачів. Раціональне планування та прогнозування споживання енергії потребують врахування як сезонних, так і добових коливань у попиті. Саме динаміка енергоспоживання виступає індикатором енергетичного ринку, дозволяючи визначати пікові навантаження, оптимізувати роботу генеруючих потужностей і балансувати енергосистему. Україна промислово займає лідируючу позицію щодо енергоспоживання, тому розробка та впровадження енергоефективних рішень для вітчизняної економіки є пріоритетним завданням [7].

Зазначимо, що обсяги споживання енергії в Україні по місяцях року (рис. Д.7, Д.8 додатку Д) свідчать про певний патерн поведінки попиту на генерацію енергії. Зростання обсягів споживання енергії у березні об'єктивно пояснюється більшою кількістю днів у цьому місяці, ніж у лютому, а також, зазвичай, холодним початком весни в Україні; збільшення обсягів споживання енергії у липні-серпні – спекотною погодою та споживанням енергії пристроями для охолодження повітря, які активно використовують суб'єкти бізнесу, зокрема сфери торгівлі; також побутові споживачі використовують кондиціонери, що обумовлює зростання попиту на енергію. Також відзначаємо коливання в попиті на енергію впродовж дня. Традиційно пік споживання енергії припадає на 20-22 год., а мінімальні запити на споживання енергії з 2 до 4 год.

З урахуванням потреб / попиту на енергію здійснювалася генерація енергії та її експорт (такими потужностями володіла Україна, поки їх не було окуповано

та зруйнувано російськими масштабними ракетно-дроновими ударами по об'єктах енергетики). Після синхронізації української енергосистеми з європейською, Україна імпортує енергію в періоди ремонтних робіт з відновлення енергооб'єктів після їх пошкоджень зазначеними вище атаками).

У 2023 р. Україна виробила на сім ТВт год менше електроенергії порівняно з 2022 р. через скорочення виробництва атомної енергії, через руйнування генеруючих потужностей (рис. 2.6).

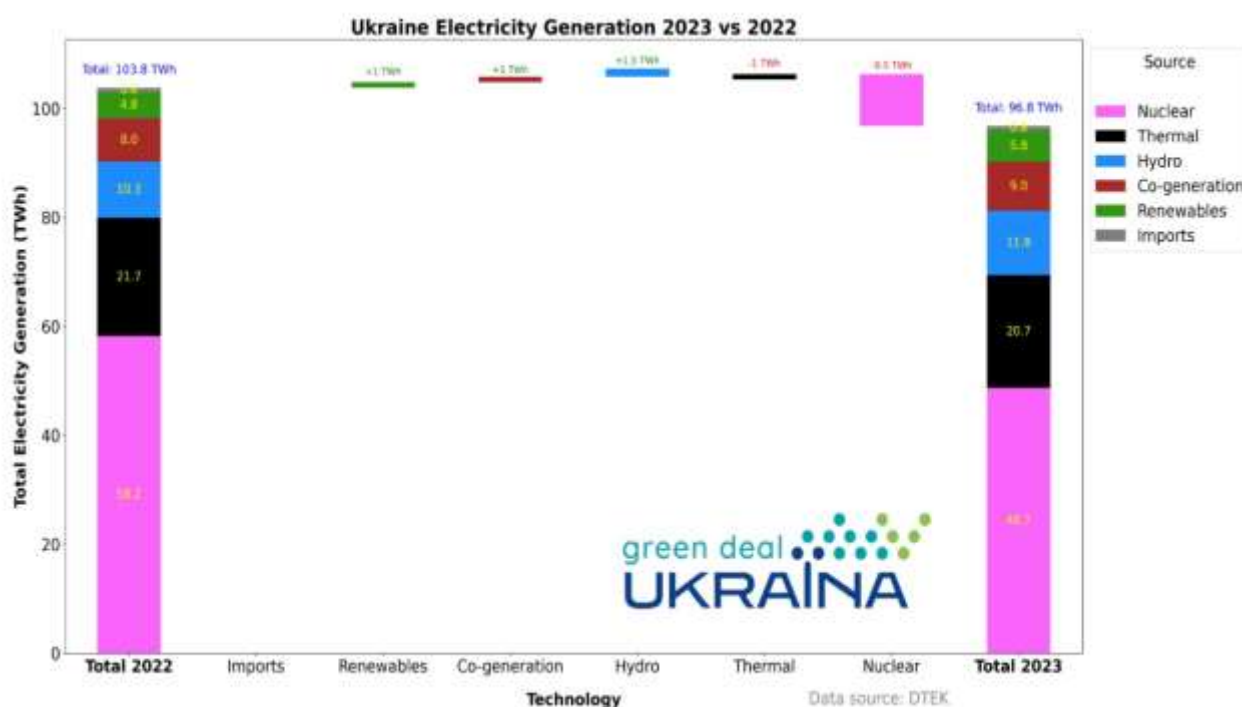


Рис. 2.6. Виробництво електроенергії в Україні у 2023 р. порівняно з 2022 р., [9].

Опишемо характерні ознаки генерації енергії в розрізі видів.

Насамперед, атомні електростанції, які на сьогодні генерують найвищу частку енергії у загальному обсязі генерації. Їх зведення – це довготривалий та коштовний процес проєктування і будівництва. Так, зведення п'яти нових енергоблоків на Хмельницькій АЕС в проєкті коштує понад 30 млрд дол та розраховане на 35 річний процес будівництва. Але на сьогодні розробляються нові типи реакторів та архітектур АЕС. Зокрема, компанія Westinghouse Electric розробляє мобільний мікрореактор потужністю 15 МВт, строк розгортання

якого лише 30 днів. Даний тип реактора дозволить не тільки надшвидко нарощувати потужності, але й оперативно реагувати на «провали»/нестачу енергії в мережі і закривати їх.

Питання безпеки АЕС актуалізувалося в усіх контекстах у зв'язку з захопленням ЗАЕС російськими військами та небезпекою її підризу. Постає необхідність створення безпеки, протоколів реагування/дій на міжнародному рівні на загрози функціонування в ускладнених умовах, штучно створених загрозах. Узагальнено небезпеки, пов'язані з АЕС, такі:

- загроза витоку радіації. Досвід Чорнобиля (Україна), Фукусіма (Японія) показує радіаційні загрози, які можуть відбуватися з багатьох причин: конструкторські прорахунки, непрофесійність дій, недосконала система забезпечення безпечного функціонування, вплив стихійного лиха і т. д. Також потенційно реактор може розтопитися внаслідок неправильного функціонування охолоджувальної системи. Результатом стане взаємодія радіоактивного розплаву з залізобетонним перекриттям і його просочення у ґрунти;

- зростаюча небезпека через продовження термінів експлуатації та підвищення потужності вище номінальних значень, на сьогодні 12 енергоблоків перевищили тридцятирічний запланований термін і працюють понаднормово. І хоча проводиться модернізація АЕС, але вона не передбачає заміни ключових елементів, таких як корпус реактора;

- небезпеки при поводженні з відходами ядерного циклу;

- використання АЕС як ядерної зброї або інструмента терору. Як спостерігаємо, МАГАТЕ, хоч і має обов'язки з убезпечення АЕС від використання в такому контексті, проте, не має впливу на країни, які не дотримуються принципів та норм міжнародного права; або й недопрацьовує свої завдання та функції;

- небезпека виникнення надзвичайних ситуацій в залежності від людського чинника. Вище зазначені небезпеки також обумовлені людським чинником. Проте, характер негативного впливу людського чинника може бути різним. Від

несвідомих помилок до цілеспрямованих дій, направлених на завдання шкоди різного характеру.

Забезпечення безпечності, стабільності функціонування АЕС полягає в нівелюванні небезпек, які описані вище.

АЕС проєктно передбачають роботу з постійною потужністю, тобто, техніко-технологічно не можуть швидко адаптуватися до змін попиту протягом дня. Саме тому важливими є:

- наявність балансуючих потужностей – станцій, що можуть швидко і безпечно нарощувати і зменшувати потужності, які дозволять скомпенсувати негнучкість атомної генерації;

- продумана структура генерації та план її використання, балансування пропозиції і попиту електроенергії. Це важливо, адже при великій частці генерації енергії АЕС у загальній структурі генерації енергії може виникнути необхідність зменшувати потужність реакторів, що потенційно може призвести до аварій та нештатних ситуацій.

На сьогоднішній день, атомна енергетика залишається головним джерелом генерації в енергосистемі України (рис. 2.7). До повномасштабного вторгнення працювали чотири АЕС загальною потужністю 13 835 МВт (15 реакторів). Після 2022 р. галузь повністю відмовилася від російського ядерного палива та комплектуючих. Після окупації Запорізької АЕС – найпотужнішої станції (6000 МВт, 43% атомної генерації України, близько 25% загального виробництва електроенергії до 2022 р.) – у розпорядженні України залишилося дев'ять реакторів на трьох АЕС.

Балансуючою, але неекологічною генерацією є генерація тепловими станціями, що працюють на вугіллі і т. п. Теплоелектростанції (ТЕС) та теплоелектроцентралі (ТЕЦ) генерують електроенергію шляхом спалення палива (вугілля, газу). Попри адаптивність даного виду генерації енергії, останніми роками її частка у загальній структурі генерації скорочувалася як по причині високих цін на природний газ і недостатню кількість вугілля, так і через неекологічність генерації енергії в такий спосіб.

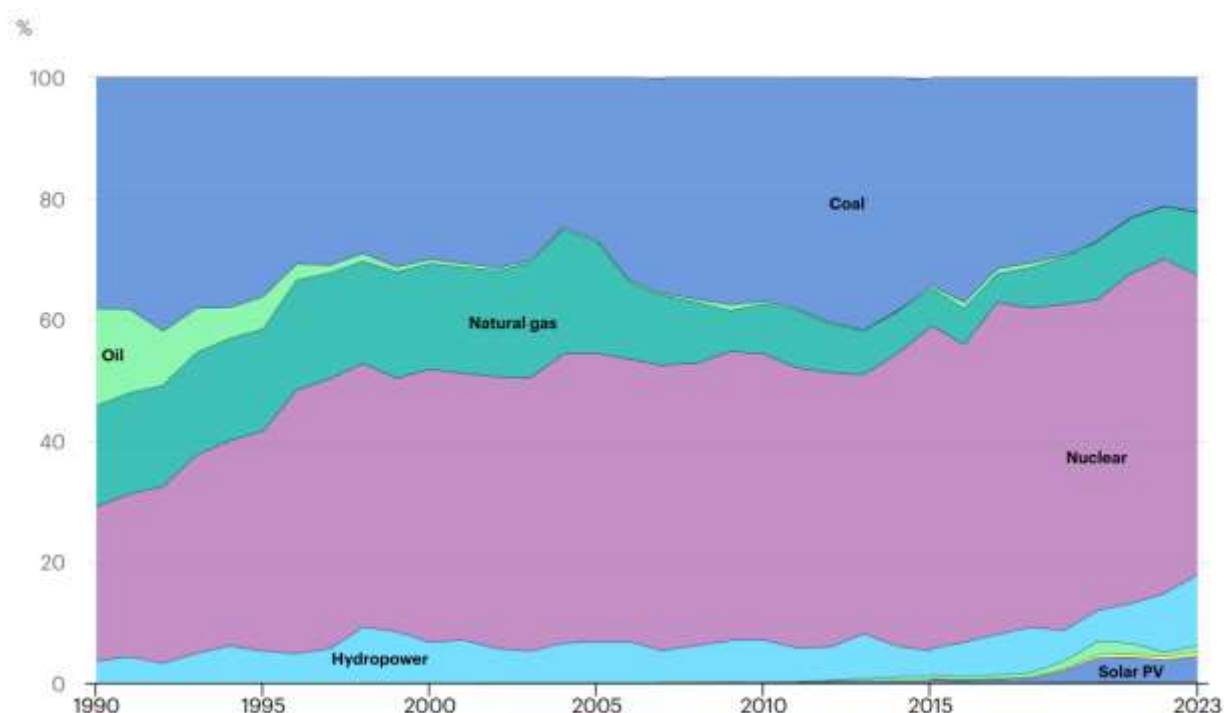


Рис. 2.7. Внутрішнє виробництво енергії за джерелами, Україна, % [13].

У 2024 р. саме теплова генерація, як важливий маневровий ресурс, стала мішенню для російських обстрілів енергетичної інфраструктури. На початок входження у літній сезон в Україні майже не залишилося великих ТЕС без пошкоджень: кожний такий об'єкт зазнав різного ступеня ушкоджень. Із загальної встановленої потужності теплової генерації, яка складала близько 30,5 ГВт, в роботі залишилося лише близько 4-5 ГВт. За оцінками DiXi Group, втрати теплової генерації (ТЕС та ТЕЦ) з початку повномасштабної війни перевищують 85% її потужності, а доступна потужність у 2025 р. не перевищить 2,5 ГВт [309].

Гідроелектростанції (ГЕС) при виробництві електроенергії не створюють шкідливих викидів, тому таку енергію вважають «зеленою». Але деякі види ГЕС негативно впливають на навколишнє середовище. Можна виділити види ГЕС, які характеризуються різною ефективністю, та способи використання енергії води, які не передбачають зведення станцій.

Види ГЕС та способи використання енергії води:

– великі ГЕС. Виробництво електроенергії передбачає загреблення річки для отримання запланованого об'єму води на певній висоті. Найбільшу

ефективність ГЕС такого виду показують при істотних перепадах висоти, до прикладу, в гірській місцевості. В Україні найвищою є Теребле-Ріцька ГЕС з перепадом висоти 45,8 м, а більшість великих ГЕС України є рівнинними з малими перепадами висоти. ДніпроГЕС має перепад близько 40 м, Київська ГЕС лише 10. У той же час зведення рівнинних ГЕС супроводжується затопленням великих площ родючих земель, придатних для агро використання. Крім того, зведення / будівництво греблі суттєво змінює поведінку ґрунтових вод, адже навколо затоплених територій рівень ґрунтових вод суттєво піднімається, що може призвести до заболочення, а от нижче греблі – рівень ґрунтових вод падає з протилежними наслідками. Будівництво греблі призводить до суттєвої зміни рельєфу, а також до зміни рози вітрів. Крім того, водосховища України мають невелику глибину, що дозволяє воді прогріватися на значну глибину і створює умови для розмноження сіро-зелених водоростей, які активно споживають кисень із води, як наслідок, – масова загибель риби, створення надлишку вуглекислого газу та метану. Варто зазначити, що рекультивація земель, які знаходяться під водосховищем, після осушення є неможливою або суттєво утрудненою;

- малі-; мікро ГЕС. Дані плавучі та занурювальні ГЕС не перегороджують течію, а вбудовуються в неї, причому можуть генерувати достатньо електроенергії при малих швидкостях течії (від 3 км/год);

- приливні турбіни. Виробляють найменшу кількість електроенергії порівняно з вищезгаданими генераціями, можуть розміщуватися виключно на морях, які мають достатній для генерації приливний ефект;

- хвильова енергетика. Це системи ричажного типу, які утилізують енергію хвиль на великих водоймах – річках, водосховищах і т. д. Дані системи можуть працювати не тільки від природніх хвиль, які створюються вітром, але і хвиль продукованих водним транспортом.

Приливні турбіни та хвильова енергетика є абсолютно екологічними способами генерування енергії, але малопродуктивними. Вони можуть

використовуватися як додаткове джерело генерування енергії локального характеру.

Згідно проєктів нормативний термін використання гідроспоруд – 100 років. Для обладнання цей строк суттєво менший не тільки за рахунок зносу, а й за рахунок морального старіння. З 2006 р. в Україні тривала друга хвиля реконструкції ГЕС. Повномасштабне вторгнення порушило плановий графік модернізації. Крім того, руйнація Каховської ГЕС показала небезпечність проривів гребель, а також можливість використання ГЕС, як зброї масового ураження.

ГЕС здатні видавати постійну потужність, за умови достатнього напору води. Тобто, в контексті стабільності генерації електростанції даного типу вразливі до посушливих сезонів, які потенційно при значному випаровуванні водоймищ можуть спричинити зменшення верхньої межі потужностей.

ГЕС і гідроакумуючі електростанції (ГАЕС) є адаптивними, але зауважимо, що реагують на зміну попиту на електроенергію з часовим лагом. Тому варто обачно планувати потужності, щоб не було стресових зупинок механізмів. ГАЕС можуть акумулювати енергію за допомогою насосів; у години не пікового навантаження станція закачує воду в спеціальні басейни і в пік навантаження задіює додаткову турбіну, щоб покрити нестачу.

Обстріли спричинили також значні пошкодження у гідроенергетиці: із загальної встановленої потужності ГЕС/ГАЕС в Україні приблизно 6,64 ГВт безповоротно виведено з експлуатації 351 МВт (зокрема, була зруйнована гребля Каховська ГЕС). Видача у мережу наразі становить близько 2,17 ГВт при високому рівні водності, однак через осінню межень та посушливе літо цей показник знизився до приблизно 1,2 ГВт [55].

Геотермальну енергію формують високотемпературні або низькотемпературні ресурси (гарячі джерела, гейзери для виробництва електроенергії, тепло підземних вод для опалення або охолодження будівель).

Сонячні електростанції (СЕС), зважаючи на відносно низьку ціну, легкість в експлуатації та простоту монтажу, надають можливість територіальним

громадам та окремим громадянам налагодити «незалежне» локальне електропостачання. Фотовольтаїка (використання сонячних панелей для перетворення сонячного світла в електроенергію), термальна сонячна енергія (використання дзеркал або лінз для концентрації сонячного світла та генерування тепла, яке може бути використане для виробництва електроенергії або опалення) активно розвивається.

Фізична розсосередженість панелей та вбудовані акумулятори дозволяють установкам працювати і забезпечувати електроенергією споживачів незалежно від стану решти мережі, автономно. СЕС можна змонтувати (встановити сонячні панелі) відносно швидко. Для наземної електростанції на 10 кВт монтаж панелей займатиме 2-3 дні, встановлення аналогічної електростанції на покрівлі займе 3-4 дні, для електростанції потужністю 20 кВт на землі – 5-6 днів, на покрівлі – 6-8 днів; монтаж СЕС потужністю 30 кВт на землі займатиме 6-7 днів, на покрівлі – 12-14 днів. Встановлення таких потужностей СЕС більш стосується домогосподарств (встановлення однієї електростанції на 10 кВт може задовольнити потреби, в кращому випадку, одного домогосподарства площею до 100 м²). Характеризуючи аспект «адаптивності» важливо зазначити, що СЕС не можуть «примусово» нарощувати потужності. Збільшення притоку енергії від СЕС може досягатися лише за допомогою монтажу додаткових одиниць / панелей. Можливості видавати потужність СЕС залежать від погодного режиму та географічного розташування. У похмуру погоду ефективність СЕС знижується на 80%. Крім вищезазначеного СЕС не працює вночі, а може лише віддавати накопичену в акумуляторі електроенергію. Коливання генерації СЕС впродовж року представлено на рис. Д.9 додатку Д.

Робота СЕС є безпечною, проблеми можуть виникати в акумуляторах, але при правильній експлуатації, монтажі та вчасній ревізії ризик цього мінімальний.

Сонячна енергетика в Україні перебуває на етапі активного розвитку й водночас має значний резерв зростання. Так, у 2024 р. встановлена потужність сонячних електростанцій зросла на 800-850 МВт. До того ж, як зазначено на порталі UkraineInvest, станом на 2024 р. сонячні електростанції становлять

близько 75% генерації «зеленої» енергії в Україні (за винятком великих гідроелектростанцій) [10]. Згідно з Реєстром [90] (24 квітня 2024 р.), що здійснює державна комісія з регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг в Україні налічується близько 1 400 сонячних генераційних установок, що належать 931 ліцензіату.

Сонячна інсоляція на території України коливається в межах 1 100-1 500 кВт·год/м², що забезпечує країні придатні умови для будівництва СЕС. Географічно майже половина всіх СЕС зосереджена в шести областях: Івано-Франківській, Дніпропетровській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Миколаївській. Найменша кількість таких об'єктів зареєстрована в Луганській, Донецькій, Сумській та Полтавській областях. Протягом двох років війни близько 13% промислових СЕС були зруйновані або пошкоджені [309].

Генерація енергії з вітру (ВЕС) характеризується географічними обмеженнями в залежності від вітрового режиму територій. Тобто, не в усіх місцевостях доцільно будувати ВЕС через потенційно низьку віддачу, через втрати енергії при передачі по мережах надмірна концентрація виробництва не є доцільною. Для ВЕС притаманні схожі із СЕС ознаки до генерації енергії – залежність від природніх умов. Наземні вітрові турбіни встановлюються на суші. Потенційна генерація ВЕС зростає при наявності вітру і знижується до нуля при його відсутності. Звісно, на великих висотах існують постійні вітри, але сила вітру суттєво впливає на генерацію. Будівництво ж ВЕС – це довготривалий процес, якому передують дослідження місцевості строком 1-2 роки. Насамперед встановлюються анемометри на висоті 30-100 метрів, здійснюється дослідження звукової передачі на місцевості і т. д., за результатами дослідження і рішення монтажу ВЕС – зведення бетонної основи, спорудження станції та підведення електромережі.

Небезпека від функціонування ВЕС проявляється у впливі низькочастотних шумів 20-200 Гц на здоров'я людини. Рівень негативного впливу знижується при зростанні відстані від установки, покращенні шумоізоляції будівлі спеціалізованими матеріалами. Щодо шумів чутного

діапазону, то на відстані 300 метрів він складе 43 децибела (згідно наказу МОЗ № 463 дозволений діапазон шуму у житлових приміщеннях складає вдень: 40-55 дБА, вночі 30-45 дБА). Офшорні вітрові турбіни встановлюються в морі, де вітер часто сильніший і стабільніший, ніж на суші.

Продуктування електроенергії з водню та використання водню, як автомобільного палива є екологічним, оскільки продуктами спалення водню є власне енергія та вода. Абсолютно екологічним можна назвати не весь водень. Залежно від технології виробництва водень ділиться на типи, які представлено у таблиці Д.2 додатку Д.

Накопичення водню може відбуватися в підземних сховищах у зрідженому криогенному стані, у пористих гідридних матеріалах, у балонах. Транспортування водню може відбуватися трубами, в балонах, металогідридних накопичувачах. Проблема транспортування водню трубами для України полягає у тому, що необроблену сталь та чавун водень через малий розмір молекул здатен «роз'їдати», роблячи трубу крихкою із зростаючим ризиком викиду. Для транспортування водню трубопроводами нашої країни не можливо буде використовувати існуючу газотранспортну систему без модернізації / заміни труб на нові зі спеціальним покриттям. Крім того, для використання водню як машинного палива необхідно створювати інфраструктуру спеціалізованих водневих заправочних станцій. Перспективним виглядає використання металогідридних накопичувачів, принцип дії яких заснований на оборотній реакції водню з деякими металами, сплавами, інтерметалевими з'єднаннями. Дані накопичувачі характеризуються високою водневою місткістю, яка в 3 рази перевищує аналогічні за об'ємом контейнери з рідким воднем. Крім того, водень знаходиться у зв'язаному стані, що значно зменшує ризики при пошкодженні оболонки. Також даний спосіб не передбачає нагнітання високого тиску і дотримання режиму низьких температур у контейнері, а простота конструкції полегшує обслуговування.

У контексті безпеки важливо додати, що газоподібний водень – легкий газ, легший за повітря, не має кольору і запаху, має високу вибухо- і

пожежоздатність, для займання досить меншої концентрації суміші водню з повітрям, ніж для повітряно-бензинових парів; та іскри навіть від статичної електрики тіла людини; при цьому полум'я водню – невидиме. Саме тому при виробництві і зберіганні водню варто уникати скупчення газу в неконтрольованих зонах. На відкритій місцевості водень швидко вивітрюється і не несе небезпеки.

Україна планує використовувати здебільшого «зелений» водень. Забезпеченість ним залежить від здатності реалізувати амбітні проєкти з будівництва «зелених» ферм (як наприклад проєкт будівництва ВЕС у шельфах Азовського та Чорного морів). Дані регіони мають доступ до ГТС, яка після модернізації теоретично зможе транспортувати і водень. Важливим питанням є створення ринку водню, як регулятора.

Водневі електростанції працюють за принципом теплових електростанцій, спалюючи водень, як паливний елемент. Саме тому генерація даного типу гнучка у зміні потужностей. Водневі електростанції можуть як швидко нарощувати генерацію, так і швидко зменшувати її (питання виключно в достатності водневого палива). Крім того, існує багато водневих генераторів, до прикладу, електрогенератор GEN2 від Energy Observer Developments, що здатен продукувати 80 тис Вт електроенергії у безперервному режимі без шкоди для навколишнього середовища. Тобто, така воднева генерація є адаптивною та екологічною.

Найбільш універсальним джерелом енергії серед екологічних є біогаз. Його можна використовувати для автомобілів, теплової, електричної генерації. Процес генерації енергії біогазу можна умовно розділити на етапи:

- виробництво біогазу (таблиця Д.3 додатку Д) шляхом анаеробної ферментації органічних відходів у біогазових установках або спеціально організованих звалищах;
- вивільнення енергії з біогазу за допомогою спалення в когенераційних установках.

Біогазові установки – це комплексне рішення, яке включає розумну утилізацію відходів та раціональне використання цього ресурсу, а також зменшення викидів вуглекислого газу та інших токсичних речовин з цих відходів.

Когенераційні установки – система взаємопов'язаних процесів, які проходять певні етапи. Вихідною сировиною генерації енергії можуть бути: осади стічних вод, тверді побутові відходи, тваринний гній, рослинні відходи, харчові відходи. Вихідна сировина проходить надалі через етап ферментаційних чанів, звалищ твердих побутових відходів; далі – система очищення газу, система доставки і накопичення біогазу. Затримки на етапах / пошкодження або відсутність запасів газу зупиняють генерацію. Крім того, метан вибухонебезпечний газ, поводження з ним вимагає дотримання відповідних заходів безпеки.

Біогазові установки являють собою, по суті теплоелектроцентралі, які працюють на газі. Можна сказати, що вони мають високий рівень адаптивності, можуть швидко нарощувати та зменшувати виробництво електроенергії без шкоди для установки, обмеженням є доступна кількість біогазу, але його, теоретично, можна замінювати на природній газ за необхідності.

Найбільш продуктивним є використання біогазу за комбінованої генерації, коли когенераційна установка працює як електро- та теплогенератор. Тобто, найбільший ККД така установка буде давати в опалювальний сезон. Більш того, біогаз може використовуватися як заміник природного газу для населення, промисловості та палива для відповідно обладнаних машин.

Повномасштабне вторгнення Росії та масштабні руйнування інфраструктури суттєво позначилися й на розвитку відновлювальної енергетики, призвівши до втрати значної частини потужностей. Зокрема, пошкоджено або втрачено близько 13% сонячної та 70% вітрової генерації, що суттєво вплинуло на енергетичний баланс держави. Попри це, галузь демонструє поступове відновлення та структурну модернізацію. Упродовж 2022-2024 рр. введено в експлуатацію нові об'єкти, що дозволило збільшити загальну встановлену

потужність відновлюваної енергетики до понад 10,3 ГВт. Якщо враховувати лише підконтрольні території України, динаміка залишається стійко позитивною: за два роки сектор зріс приблизно на 650 МВт ($\approx 6,7\%$).

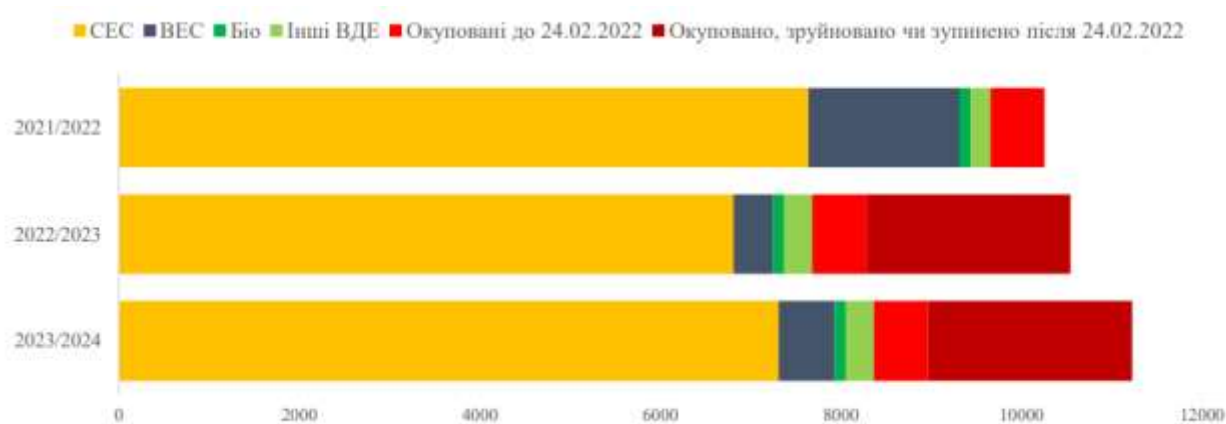


Рис. 2.8. Встановлена потужність ВДЕ в Україні, [114].

Водночас ключовими викликами залишаються тимчасова окупація енергетичних активів і зупинення функціонування частини об'єктів інфраструктури (до 24% від загальної кількості), що потребує скоординованої державної політики у сфері відновлення та захисту енергетичних потужностей, розвитку «зелених» технологій та створення умов для залучення інвестицій у післявоєнний період.

Важливо також окреслити історично-еволюційну траєкторією розвитку енергоринку України. Формування сучасної ринкової моделі розпочалося ще на початку 1990-х рр. і супроводжувалося глибокою демонополізацією та інституційною трансформацією енергетичного сектора. Трансформація вертикально інтегрованого енергетичного комплексу, створення окремих генеруючих компаній, запровадження оптового ринку та формування незалежного регулятора стали необхідною основою для розвитку конкурентних відносин. Проте, саме ці процеси заклали низку системних дисбалансів, які сьогодні проявляються як ризики для енергетичної безпеки та сталого розвитку.

По-перше, інституційна фрагментація, що виникла внаслідок поділу функцій генерації, передачі, розподілу та постачання, сформувала складну систему управління з нерівномірним розподілом відповідальності. У воєнних

умовах така багаторівнева структура ускладнює оперативну координацію, відновлення інфраструктури й забезпечення стабільності роботи об'єднаної енергетичної системи.

По-друге, поступове зменшення централізованого контролю держави над балансом виробництва, передачі та розподілу електроенергії, притаманне ринковим реформам 1990-2010-х рр., у період масованих атак на критичну інфраструктуру обумовлює ризики недостатньої керованості та знижену здатність системи протидіяти зовнішнім загрозам.

По-третє, запровадження конкурентної моделі ринку електроенергії відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» [109] створило основу для інтеграції з європейським енергетичним ринком, але водночас виявило низку регуляторних ризиків: асиметрію тарифів, накопичення дебіторської заборгованості, нерівномірний доступ учасників до ринку та високу чутливість до цінових коливань. У воєнних умовах ці чинники особливо впливають на ліквідність ринку та фінансову стійкість його учасників.

По-четверте, є проблеми реалізації європейських директив та затримки у виконанні положень, зокрема, Четвертого енергетичного пакета, проблеми залучення прямих інвестицій зважаючи на параметри інвестиційного середовища в Україні, обумовлені насамперед війною та неефективним (бездіяльним або неправомірним) функціонуванням інституцій (корупцією), що обумовлює проблеми модернізації мереж, розвитку «зеленої» генерації та впровадження сталих технологій.

Аналіз основних макроекономічних показників України, детермінант та передумов розвитку енергетичного комплексу України засвідчує, що галузь функціонує у складних умовах глобальної турбулентності, історично обумовлених структурних дисбалансів та масштабних викликів, спричинених війною. Стійкість енергетичного сектора суттєво знижена через системні атаки на критичні енергетичні об'єкти, втрати потужностей для генерації та високу залежність від впливу чинників зовнішнього середовища. Окупація ЗАЕС та інших енергопотужностей, пошкодження теплової та гідрогенерації, погіршення

технічного стану мереж та зростання потреби у маневрових потужностях формують додаткові обмеження для стабільної роботи об'єднаної енергетичної системи у пікові періоди, обумовлюють потребу імпорту енергії. Сукупність впливу чинників свідчить про необхідність глибшого вивчення проблемних зон енергетичної системи, проведення системного аналізу ключових викликів та загроз для енергетичної безпеки.

2.2. Аналіз індикаторів цілі сталого розвитку «Доступна та чиста енергія», викликів та загроз для забезпечення енергетичної безпеки

Забезпечення енергетичної безпеки супроводжується багатовимірним спектром викликів та загроз, значна частина яких посилилася в умовах воєнної агресії, структурної залежності та необхідності прискореного переходу до сталих моделей розвитку.

Аналіз стану та структури виробництва електроенергії набуває особливого значення, оскільки зміни у генерації визначають траєкторії подальшого розвитку енергосектора й ступінь наближення України до досягнення цілей сталого розвитку. Аналіз генерації електроенергії у розрізі її видів дозволяє оцінити відповідність існуючих тенденцій індикаторам Цілі 7 «Доступна та чиста енергія». У системі Цілей Сталого Розвитку на глобальному і національному рівнях Ціль 7 визначена так: «Забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх»; скорочене визначення Цілі 7 на національному рівні: «Доступна та чиста енергія», для досягнення якої у Національній доповіді «Цілі Сталого Розвитку: Україна» визначено такі завдання з урахуванням національної специфіки [86]:

- розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій;
- забезпечити диверсифікацію постачання первинних енергетичних ресурсів;

- збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у національному енергетичному балансі, зокрема за рахунок введення додаткових потужностей об'єктів, що виробляють енергію з відновлюваних джерел;

- підвищити енергоефективність економіки.

Завдання, визначені для досягнення Цілі 7 на глобальному та національному рівнях, відображено в таблиці Е.1 додатку Е. Окремі завдання на національному рівні не встановлено, оскільки їх виконання передбачено у рамках відповідних програмних документів. Цільові значення показників до 2030 р. для виконання завдань цілі сталого розвитку «Доступна та чиста енергія» представлено у таблиці Е.2. додатку Е. Фактичні значення показників протягом 2015-2023 рр., що характеризують стан та тенденції виконання завдань у рамках Цілі 7, відображено у таблицях 2.2-2.6. Зіставлення цільових значень показників (щодо передбачених обсягів виробництва електроенергії в Україні, технологічних втрат електричної енергії в розподільчих мережах, втрат тепла, частки імпорту перевинних енергоресурсів тощо) із фактичними свідчить про ступінь виконання завдань Цілі 7. Фактичне виробництво електроенергії в розрізі видів генерації ілюструють дані таблиці 2.2.

При встановленому цільовому значенні обсягів генерації енергії до 2020 р. – 163,8 млрд кВт·год; до 2025 р. – 178,4 млрд кВт·год (таблиця Е.2 додатку Е) бачимо, що виробництво електроенергії скоротилося (у 2020 р. було вироблено 148,9 млрд кВт·год), що пов'язано із зменшенням активності суб'єктів господарювання через поширення пандемії. Відновлення економічної активності на фоні зменшення негативних впливів пандемії на ведення господарської діяльності у 2021 р. змінилось масштабними викликами для енергетичного сектору з початком повномасштабної війни. У 2023 р. виробництво електроенергії в Україні скоротилося до 105,5 млрд кВт·год ще більше віддалившись від цільового значення, визначеного до 2025 р. на рівні 178,4 млрд кВт·год. Таке відхилення обумовлене виведенням з ладу (захопленням, знищенням) генераційних потужностей України у ході війни.

Найвища частка виробництва енергії припадає на атомну генерацію – 55,04% у 2021 р. (86,2 млрд кВт·год). У 2023 р. частка атомної генерації скоротилася відносно генерації у попередніх роках, склавши 49,38%.

Таблиця 2.2

Фактичні показники виробництва електроенергії у розрізі видів генерації

Виробництво енергії	Рік									
	Одиниця виміру	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Усього	млрд кВт·год	157,7	154,8	155,4	159,4	154,0	148,9	156,6	113,5	105,5
	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100
у тому числі										
ТЕС ГК	млрд кВт·год	49,4	49,9	45,0	47,8	44,9	39,6	37,2	24,3	23,3
	%	31,33	32,24	29,96	29,99	29,16	26,60	23,75	21,40	22,09
ТЕЦ та когенераційні установки	млрд кВт·год	6,1	6,7	10,9	11,0	10,9	12,8	8,6	5,8	6,9
	%	3,87	4,33	7,01	6,90	7,07	8,60	5,49	5,11	6,54
ГЕС	млрд кВт·год	5,2	7,5	9,0	10,4	6,5	6,0	9,2	9,7	11,2
	%	3,33	4,80	5,79	6,52	4,22	4,03	5,87	8,55	10,62
ГАЕС	млрд кВт·год	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,6	1,3	1,3	1,3
	%	1,01	1,03	1,03	1,0	0,84	1,07	0,83	1,15	1,23
АЕС	млрд кВт·год	87,6	81,0	85,6	84,4	83,0	76,2	86,2	62,2	52,1
	%	55,55	52,30	55,08	52,94	53,90	51,18	55,04	54,8	49,38
Блокстанції	млрд кВт·год	6,2	6,6	1,5	1,5	1,8	1,8	1,6	0,7	0,6
	%	3,93	4,26	0,97	0,94	1,17	1,2	1,02	0,62	0,57
ВЕС, СЕС, Біомаса (альтернативні джерела енергії)	млрд кВт·год	1,6	1,6	1,9	2,6	5,5	10,9	12,5	9,5	10,4
	%	1,01	1,03	1,22	1,68	3,57	7,3	7,98	8,37	9,86

*складено автором на основі [120].

Зростає частка генерації з відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, біоенергетики), які поступово інтегруються в енергетичний баланс країни. Впродовж 2015-2020 рр. частка виробництва енергії з відновлювальних джерел енергії суттєво зросла (з 1,01% у 2015 р. до 7,33% у 2020 р.). Генерація з відновлювальних джерел енергії у 2021 р. складала 7,98% у загальній структурі генерації енергії (12,5 млрд кВт·год), проте, не досягнуто цільового рівня 2020 р.,

який було визначено на рівні 11%. На 2025 р. цільовий орієнтир виробництва енергії з відновлювальних джерел енергії встановлено на рівні 14,25%.

У 2023 р. виробництво енергії ТЕС скоротилося на 13,9 млрд кВт·год відносно такої генерації у 2021 р., склавши 23,3 млрд кВт·год (частка такої генерації склала 22,09% у 2023 р. порівняно з часткою 23,75%, яка була у 2021 р.). Обсяги згенерованої енергії об'єктами ТЕЦ та когенераційними установками у 2023 р. були меншими відносно обсягів генерації у 2021 р. на 1,7 млрд кВт·год, проте, частка за даним видом генерації дещо зросла (до 6,54% відносно 5,49% у 2021 р.), що обумовлено суттєвішим зниженням обсягів генерації енергії в цілому.

Виробництво енергії ГЕС у 2023 р. зросло на 2,0 млрд кВт·год відносно такої генерації у 2021 р., склавши 11,2 млрд кВт·год (частка такої генерації склала 10,62% у 2023 р., тобто зросла майже у два рази порівняно з часткою генерації ГЕС у 2021 р.).

Детальніше інформацію про технологічні витрати електричної енергії в розподільчих електромережах представлено у таблиці 2.3.

Аналіз технологічних витрат електричної енергії в розподільчих електромережах свідчить, що їх фактичний відсоток у 2020 р. на рівні 10,13% (у межах встановленого орієнтира технологічних витрат електричної енергії у розподільчих електромережах), визначеного в Україні на рівні 11,0% на 2020 р.). Проте, зважаючи на ступінь зношеності мережевої інфраструктури, необхідна її модернізація, впровадження сучасних технологій передачі й диспетчеризації.

Значний рівень фізичного старіння інфраструктури передачі електроенергії є суттєвою загрозою для надійності об'єднаної енергетичної системи України. Зокрема, станом на 2021 р. близько 90% загальної довжини ліній передачі енергії мали строк експлуатації понад 30 років; близько 70% – понад 40 років; більше 17% обладнання трансформаторних підстанцій експлуатуються понад 40 років, що безпосередньо впливає на втрати енергії та підвищує ризики аварійності мереж [276].

Зростання частки мереж, які експлуатуються понад нормативний термін, обумовлює не лише збільшення ймовірності руйнування опор та проводів, а й посилення технологічних втрат у системах передачі, особливо на великих відстанях.

Таблиця 2.3

**Технологічні витрати електричної енергії в розподільчих електромережах
та втрати тепла в тепломережах***

Показник	Рік								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Відпуск електроенергії в мережу, млн кВт·г	146642	141619	142509	146523	141329	136196	143991	104529	98045
Корисний відпуск електроенергії в мережу, млн кВт·г	131861	131274	132093	129191	116612	112986	119496	85239	81692
Звітна фактична величина ТВЕ, млн кВт·г	16860	16626	16774	16996	16418	15451	16247	13427	12665
Звітна фактична величина ТВЕ, %	11,50	11,74	11,77	11,60	11,62	11,34	11,28	12,85	12,92
у т. ч. нормативна величина ТВЕ, млн кВт·г	19034	18805	18820	19140	18238	17438	18634	15022	14413
у т. ч. нормативна величина ТВЕ, %	13,0	13,3	13,2	13,1	12,9	12,8	12,9	14,4	14,7
ТВЕ в розподільчих електромережах, млн кВт·г	12611	12885	12932	13223	12887	12378	12758	10379	9995
величина ТВЕ в розподільчих електромережах, %	9,79	9,90	9,89	9,84	10,35	10,13	9,86	11,11	10,99
Втрати тепла в тепломережах, %	-	-	-	18,5	18,8	20,4	21,1	-	19,5

*складено автором на основі [120].

Технічна деградація мережевої інфраструктури суттєво обмежує можливості української енергосистеми реагувати на сучасні виклики та

виконувати функції стабільного балансування попиту й пропозиції. Фізичне старіння ліній електропередач, трансформаторного обладнання та допоміжної інфраструктури ускладнює інтеграцію нових потужностей, стримує розвиток відновлюваної генерації та підвищує чутливість системи до зовнішніх шоків.

Негативним аспектом є також втрати тепла в тепломережах. Вони перевищують встановлені цільові значення втрат, (18% до 2020 р.), склавши 20,4% у 2020 р. Також констатуємо зростання втрат тепла в тепломережах (21,1% у 2021 р.) при встановленому цільовому орієнтирі 18% до 2020 р. та 14,0% до 2025 р. Тому необхідні модернізаційні роботи щодо нівелювання тепловтрат, підвищення тепловіддачі та енергоефективності.

Зіставляючи дані, представлені в таблиці 2.4 із цільовими орієнтирами, представленими у таблиці Е.2 додатку Е, відзначаємо, що максимальна частка імпорту первинних енергоресурсів (крім ядерного палива) з однієї країни (компанії) в загальному обсязі їхнього постачання (імпорту) суттєво перевищує цільові орієнтири.

Таблиця 2.4

Частка імпорту первинних енергоресурсів з однієї країни та
частка одного постачальника на ринку ядерного палива*

Показник	Рік								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Максимальна частка імпорту первинних енергоресурсів (крім ядерного палива) з однієї країни (компанії) в загальному обсязі їхнього постачання (імпорту), %	54,3	66,7	67,0	70,2	68,6	70,2	67,5	42,4	30,8
Частка одного постачальника на ринку ядерного палива, %	91,6	60,9	58,6	61,4	55,4	53,8	69,7	70,3	100,0

*складено автором на основі [120].

При встановленому цільовому значенні даного показника до 15% на 2020 р., фактична частка у 2023 р. складала 30,8%. Отже, для забезпечення

енергетичної безпеки необхідно забезпечити диверсифікацію джерел постачання первинних енергетичних ресурсів. У розрізі видів первинних енергоресурсів відзначаємо найвищий ступінь залежності в поставках нафти: 70,2% у 2020 р.; 100% у 2023 р. (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5

Частка імпорту первинних енергоресурсів (крім ядерного палива) з однієї країни (компанії) у загальному обсязі їхнього постачання (імпорту), %*

Енергоресурс	Рік								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
вугілля (2701)	54,3	66,7	67,0	70,2	68,6	70,2	67,5	42,4	30,8
нафта (2709)	99,9	97,4	85,2	94,2	76,7	70,2	74,5	99,9	100,0
газ природний (271121)	37,3	29,5	40,5	37,3	44,5	35,5	52,7	43,5	31,3

*складено автором на основі [120].

Частка одного постачальника на ринку ядерного палива не перевищує встановлений цільовий орієнтир 2020 р. (до 70%), а в 2023 р. частка одного постачальника на ринку ядерного палива склала 100% (встановлений цільовий орієнтир на 2025 р. – 60%).

Встановлені орієнтири щодо частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії також не досягнуто, попри позитивну динаміку зростання генерації з відновлювальних джерел енергії. Фактична частка склала 9,2% у 2020 р. (таблиця 2.6) при встановленому цільовому значенні даного показника – 11,0%. Зазначимо, що лідером з використання відновлюваних джерел енергії є Ісландія (частка складає майже 80% за рахунок використання гідроенергетики та геотермальної енергії, рис. Е.1 додатку Е). Наявні природні ресурси також потужно використовують Норвегія, Швеція та Фінляндія. Відповідно до Директиви щодо відновлюваних джерел енергії, ЄС збільшив цільовий показник щодо використання відновлюваних джерел енергії до 2030 р. з 32 до 42,5%, та має намір збільшити цей показник до 45%.

В Україні відбувається зниження енергомосткості ВВП (таблиця 2.6, рис. 2.9), що є позитивним. Фактична енергомосткість ВВП (витрати первинної енергії на одиницю ВВП) впродовж досліджуваних років скоротилася, цільовий орієнтир досягнуто, який був визначений на 2020 р. на рівні 0,2.

Таблиця 2.6

Частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії та показники енергомосткості ВВП*

Показник	Рік								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії, %	5,0	5,9	6,7	7,0	8,1	9,2	-	-	-
Енергомосткість ВВП (витрати первинної енергії на одиницю ВВП), кг н. е. на міжнародний долар за ПКС 2011	0,187	0,192	0,177	0,179	0,166	0,167	-	-	-

*складено автором на основі [120].

З одного боку спрацювали програми / державна політика енергоефективності, а з іншого, – на жаль, енергомосткість ВВП зменшилася не через проведені заходи з енергоефективності, а через скорочення обсягів промислового виробництва.

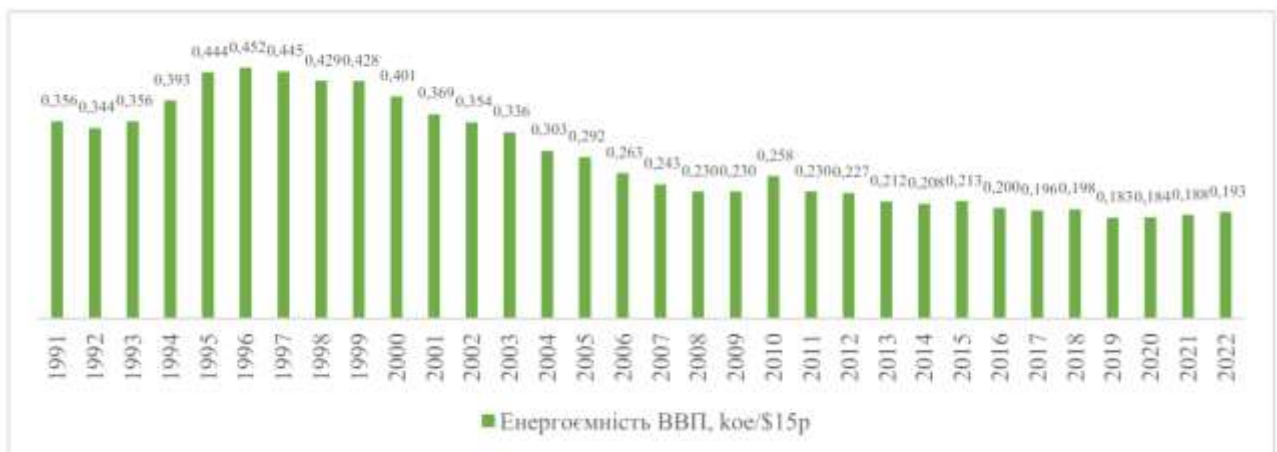


Рис. 2.9. Енергомосткість ВВП України, 1991-2022 рр., [208].

Аналізуючи показники енергомисткості ВВП України та показники енергомисткості ВВП провідних країн світу (рис. Е.2 додатку Е), середньосвітові значення енергомисткості ВВП (рис. Е.3 додатку Е), відзначаємо, що національна економіка характеризується вищою енергомисткістю. Для зниження енергомисткості ВВП України необхідними є модернізаційні заходи, впровадження нових технологій як в енергетичному секторі, так і в розрізі усіх галузей національної економіки, які і є споживачами енергії. Впровадження інновацій потребує інвестування, яке в енергетичну галузь було недостатнім як за джерелами внутрішнього фінансування [120], так і в контексті залучення іноземних інвестицій [39]. Передумовою інноваційного повоєнного розвитку енергетики має бути продумана енергетична політика, реалізація дієвих механізмів повоєнної відбудови, у т. ч. із залученням іноземних партнерів [252].

Війна РФ проти України спричинила безпрецедентні виклики та загрози для забезпечення енергетичної безпеки України [44]. Від початку повномасштабної війни Росія окупувала понад 16 ГВт української генерації (включно з найбільшою в Європі Запорізькою АЕС⁵ потужністю 6 ГВт, Запорізькою, Луганською та Вуглегірською ТЕС загальною потужністю 7,7 ГВт, Сєверодонецькою та Миронівською ТЕЦ – 0,5 ГВт, а також 1,2 ГВт потужностей вітрових електростанцій і 0,9 ГВт – сонячних. Крім того, було підірвано Каховську ГЕС – 0,3 ГВт). Станом на квітень 2023 р. доступна потужність енергосистеми через окупацію та масовані ворожі атаки від початку війни зменшилася вдвічі – до 18 ГВт, що відповідало зимовому піку споживання. Однак унаслідок відновлення атак починаючи з березня 2024 р. було втрачено ще близько 10 ГВт потужностей, частина з яких повністю зруйновані [60].

Українські енергетики відновлюють пошкоджену інфраструктуру за участі міжнародних партнерів, які надають допомогу в постачанні обладнання та у

⁵ З 4 березня 2022 р. ЗАЕС перебуває під контролем російських військ, що супроводжується втручанням у режими роботи енергоблоків, замінуванням частини територій, обмеженням доступу українського персоналу та ускладненням діяльності місії МАГАТЕ. Фактичне перетворення станції з потужного виробника електроенергії на об'єкт, який сам споживає енергію для підтримання безпечного стану, створює унікальні ризики енергетичної системи України, а також загрози радіаційній, екологічній та техногенній безпеці на наднаціональному рівні.

фінансуванні відновлювальних робіт. Інформація про можливості генерації енергії, стан інфраструктурних об'єктів змінюється в залежності від темпів відновлення та актуальних даних щодо пошкоджень/руйнувань в енергетиці. До повномасштабного вторгнення в лютому 2022 р. загальна встановлена потужність електроенергетичної системи України становила приблизно 55-56 ГВт. Станом на березень 2025 р., загальна доступна потужність електроенергетичної системи України оцінюється приблизно в 12 ГВт. На жаль, Україна внаслідок масованих ракетних і дронів атак по енергосистемі перетворилася з чистого експортера на чистого імпортера електроенергії.

За оцінками профільних міністерств та аналітичних інституцій, прямі збитки, завдані енергетичному сектору України внаслідок російської агресії, становлять 14,6 млрд дол США [61]. Розрахунок втрат здійснювався на основі поєднання прямих і непрямих методів, з урахуванням первісної балансової вартості об'єктів, витрат на ремонти та очікуваної ринкової вартості їх відновлення. Найбільшої шкоди завдано сектору виробництва та передачі електроенергії, втрати якого оцінюються більш ніж у 12 млрд дол США. Знищено або пошкоджено всі підконтрольні Україні теплові електростанції та низку гідроелектростанцій. Значних руйнувань зазнала Каховська ГЕС, прямі збитки від знищення якої оцінюються у 586 млн дол США. Масовані атаки призвели до критичного ураження ключових ТЕС (зокрема Зміївської, Трипільської, Бурштинської, Ладжинської) та низки ТЕЦ у великих містах, що зумовило глибокий дефіцит маневрових потужностей і обмежило здатність енергосистеми покривати пікові навантаження, особливо в опалювальні періоди; сумарні втрати потужностей понад 4 ГВт (рис. 2.10). Окремою проблемою є окупація або припинення функціонування енергогенеруючих активів: після 24 лютого 2022 р. окуповано або зупинено роботу кількох ТЕС (Вуглегірська, Запорізька, Курахівська, Луганська), а також пошкоджено Слов'янську ТЕС, розташовану в зоні активних бойових дій.

Пошкоджено також об'єкти передачі та розподілу електроенергії: збитки Оператора системи передачі оцінюються приблизно у 2,2 млрд дол США,

також потужності зберігання та перероблення палива. Зруйновано або пошкоджено щонайменше 32 нафтобази, втрати галузі оцінено приблизно у 266 млн дол США. Сукупні прямі збитки енергетичного сектору досягли 14,6 млрд дол США (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Оцінка прямих втрат енергетичного сектору України
станом на листопад 2024 р.*

Види втрат	Оцінка втрат, млрд дол США
Електроенергетика, зокрема:	12,1
– генерація електроенергії	9,0
– передача електроенергії	2,2
– розподіл електроенергії	0,8
Нафтогазовий сектор, зокрема:	1,2
– транспортування газу	0,8
– розподіл газу	0,2
– зберігання нафти та нафтопродуктів	0,3
Вугледобувна промисловість	0,4
Теплопостачання	1,0
Всього	14,6

*складено автором на основі [61].

Узагальнений перелік викликів, загроз для функціонування енергетичного ринку та забезпечення енергетичної безпеки України за напрямками представлено у таблиці 2.8. Прямі загрози, спричинені війною, посилили і до того існуючі виклики та загрози фінансово-економічного, соціального, екологічного тощо контекстів.

Динаміка цінових індикаторів РДН і ВДР⁶ у 2024 р. демонструвала підвищену чутливість ринку до будь-яких порушень у роботі генерації. Попри загальне зниження середньозважених цін у першому кварталі 2024 р., коливання обсягів торгів і різкі зміни співвідношення попиту та пропозиції вказували на високий рівень нестабільності системи.

⁶ РДН (ринок «на добу наперед») та ВДР (внутрішньодобовий ринок) – основні оптові ринки електроенергії в Україні, де продається та купується електроенергія на найближчий період (на добу наперед та протягом доби відповідно), керуються «Оператором ринку» для балансування попиту та пропозиції, що є ключовими для роботи нового ринку електроенергії України.

Таблиця 2.8

Виклики та загрози для енергетичної безпеки України в розрізі напрямів*

Загрози	Характеристика
1. Прямі наслідки, руйнування спричинені війною	Цілеспрямовані атаки на енергосистему. Захоплення та мінування критичних об'єктів. Використання енергетики як засобу тиску для послаблення української економіки. Руйнування генеруючих потужностей, енергетичної інфраструктури, знищення електростанцій, трансформаторних підстанцій, газопроводів, газових сховищ та нафтобаз. Удари по критичній інфраструктурі спричиняють перебої в постачанні електроенергії та тепла. Через втрату генеруючих потужностей та пошкодження енергомереж Україна змушена періодично обмежувати споживання (графіки відключень). Дефіцит кадрів для забезпечення функціонування енергетичного сектору.
2. Фінансово-економічні	Залежність України від імпорту енергоресурсів, що робить її вразливою до цінових коливань, тенденцій глобального ринку. Високі ціни на енергоресурси (коливання цін на газ, нафту та електроенергію на світових ринках робить енергетичний сектор України менш передбачуваним). Залежність від зовнішнього попиту та квотування експорту є ризиком для енергетичного сектору. Дестабілізація енергетичних поставок до ЄС (Україна інтегрована в європейську енергосистему ENTSO-E, але через руйнування/зменшення потужностей експорт електроенергії обмежений, що знижує валютні надходження в Україну). В умовах дефіциту електроенергії Україна змушена імпортувати електроенергію. Фінансова нестабільність енергетичного сектору (борги підприємств перед НАК «Нафтогаз України» та виробниками електроенергії ускладнюють розвиток галузі. Маніпуляції на ринку електроенергії, корупційні схеми впливають на його стабільність). Недостатність інвестицій для розвитку, модернізації. Брак інвестицій у відновлювану енергетику гальмує декарбонізацію економіки. Зростання тарифів впливає на соціальну стабільність.
3. Техніко-технологічні	Функціонування ТЕС, ГЕС і АЕС понад проектний термін підвищує ризики аварій. Зношеність енергетичної інфраструктури, застарілі підстанції та електромережі обумовлюють втрати енергії при її транспортуванні. Висока енергомісткість (українська економіка залишається однією з найбільш енергомістких у Європі). Вразливість системи управління енергетикою (недостатній рівень автоматизації та цифрових технологій для управління, моніторингу запобігання аваріям).
4. Кіберзагрози та інформаційні атаки	Кібератаки на енергосистему (Україна неодноразово зазнавала хакерських атак на електромережі). Використання вірусів для виведення з ладу диспетчерських систем. Дезінформація та маніпуляції, фальшиві повідомлення російської пропаганди.
5. Екологічні вимоги та кліматичні виклики	Зміна клімату та нестача водних ресурсів (зростання середньої температури впливає на стабільність роботи гідроелектростанцій. Періоди посухи можуть спричинити зниження водності річок, що ускладнює роботу ГЕС). Енергетичні катастрофи (радіаційні загрози, зокрема ситуація навколо окупованої Запорізької АЕС, обстріли непрацюючої Чорнобильської АЕС можуть спричинити екологічну катастрофу. Атаки на нафтобази та ТЕС призводять до забруднення навколишнього середовища). Руйнування, витоки нафтопродуктів тощо забруднюють довкілля. Енергетична галузь є «лідером» викидів CO ₂ . Залежність від вичерпного палива. Україна має значні запаси вугілля, але через екологічні обмеження та військові дії (багато шахт на окупованих територіях) видобуток зменшується. Впровадження Carbon Border Adjustment Mechanism може ускладнити експорт продукції, виробленої на основі вичерпного палива. Європейський зелений курс, ухвалення Україною рішень щодо декарбонізації змушують скорочувати використання вугілля.
6. Корупція та неефективне управління	Зловживання на енергетичному ринку. Закулісний розподіл державних ресурсів між енергетичними компаніями. Бюрократичні процедури та корупція гальмують оновлення інфраструктури, системну модернізацію. Монополія енергоринку. Низька енергоефективність, недостатня ефективність енергоменеджменту на усіх рівнях, недостатність заходів та засобів для підвищення енергоефективності та посилення енергетичної безпеки України.

*систематизовано автором.

Наприклад, значне падіння пропозиції після травневих атак 2024 р. призвело до дефіциту електроенергії на ринку «на добу наперед», коли ціни в окремі години наближалися до граничних значень, що детермінує прямий ризик як для учасників ринку, так і для загальної енергетичної безпеки держави.

Підвищена волатильність ринку, зростаюча залежність від імпорتنих поставок, поглиблення дефіциту маневрових потужностей та загроза повторних атак створюють сукупність системних ризиків, які здатні ускладнити балансування енергосистеми та призвести до кризових сценаріїв. Після масованих ударів по енергетиці України саме імпорт електроенергії став ключовим компенсатором дефіциту, що сформувало нову хвилю ризиків енергетичної залежності та волатильності цін.

Зсув від статусу експортера електроенергії до значного імпортера формує низку ризиків для енергетичної безпеки України. По-перше, зростає залежність від зовнішніх постачальників та волатильності європейських ринкових цін, що підвищує вразливість енергосистеми у пікові періоди споживання. У 2024 р. Україна імпортувала 4436,6 тис МВт·год електроенергії. Це найбільший показник за останні одинадцять років, що свідчить про різку зміну балансу на ринку електроенергії порівняно з довоєнним періодом (рис. 2.11 та рис. Е.4, Е.5 додатку Е).

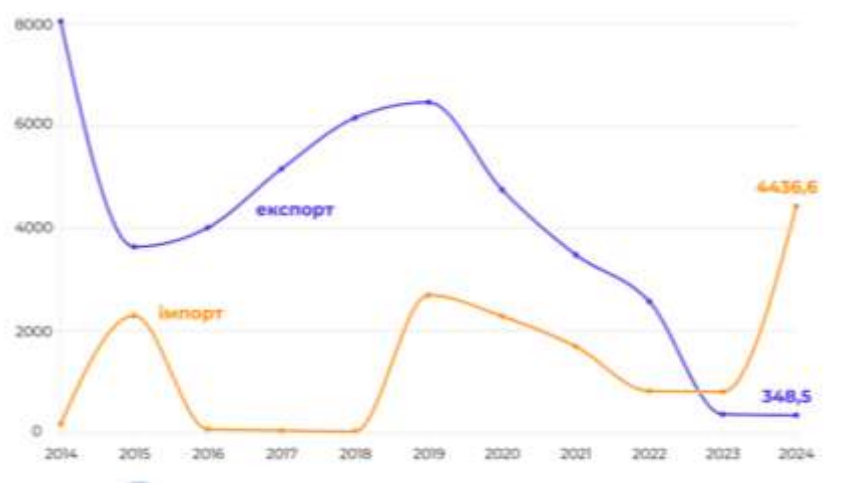


Рис. 2.11. Імпорт та експорт електроенергії, тис МВт год, [116].

Основними країнами-постачальниками електроенергії до України стали Угорщина (близько 1705 тис МВт·год / 38,4%), Словаччина (1036,5 тис МВт·год / 23,4%), Румунія (819,6 тис МВт·год / 18,5%) та Польща (636,6 тис МВт·год / 14,3%). Слід враховувати, що вартість імпортової електроенергії для української економіки є суттєво вищою, ніж внутрішні тарифи, що посилює ризики для енергетичної безпеки та конкурентоспроможності. Європейський спотовий ринок часто формує ціну на рівні до 300 євро за МВт·год, що відповідає приблизно 12 грн за кВт·год без урахування ПДВ та тарифів на передачу й розподіл електроенергії. Для України ж фактична вартість імпортованої електроенергії становить близько 17,58 грн за кВт·год, оскільки включає: 0,63 грн/кВт·год – тариф на передачу, 1,59 грн/кВт·год – тариф на розподіл, 3% – комісію трейдера, 20% ПДВ [55].

Таким чином, імпортна електроенергія обходиться удвічі дорожче, ніж тариф для комерційних споживачів в Україні, та приблизно у 3,5 раза дорожче, ніж тариф для населення. Це означає, що збільшення імпорту не лише створює стратегічну залежність, а й формує суттєві цінові ризики, які провокують фінансові дисбаланси на ринку електроенергії; обмежують можливості держави щодо стримування тарифів; роблять систему чутливою до коливань цін на європейських енергоринках.

По-друге, скорочення експорту, зниження експортного потенціалу зменшує потенційні валютні надходження та послаблює позиції України в регіональній енергетичній інтеграції. Експорт електроенергії, який був можливий при надлишку згенерованої енергії навіть в умовах війни, скоротився до 348,5 тис МВт·год, тобто приблизно на 5% менше, ніж у 2023 р., і майже на 90% нижче довоєнних обсягів.

З огляду на результати аналізу, проведеного вище, можемо виокремити кілька ключових груп ризиків, що формують сучасну конфігурацію енергетичної безпеки України. Вони охоплюють зовнішні та внутрішні виклики (від воєнної агресії та геополітичного тиску до структурних дисбалансів ринку, технічної деградації інфраструктури, інституційної фрагментованості й соціально-економічних чинників), таблиця 2.9, що дозволяє комплексно оцінити їх вплив та визначити пріоритетні напрями подальшого реагування.

Таблиця 2.9

**Ключові групи ризиків для забезпечення енергетичної безпеки України
на принципах сталого розвитку***

Група ризиків	Ключові прояви	Наслідки для енергетичної безпеки	Вплив на досягнення цілей сталого розвитку (Цілі та пов'язаних цілей)
Геополітичні та міжнародні	Гібридна агресія РФ; маніпуляції з постачанням газу й нафти; спроби політичного впливу через енергоресурси	Зростання зовнішньої залежності; підвищення уразливості транзиту; необхідність екстреної диверсифікації	Ускладнює досягнення завдань цілі 7 (ВДЕ та енергоефективність); стримує перехід до низьковуглецевої економіки; підсилює ризики невиконання кліматичних зобов'язань
Ядерні та техногенно-екологічні	Окупація ЗАЕС; замінування; порушення режимів безпеки; втручання у роботу блоків	Ризик ядерної аварії; дестабілізація балансу ОЕС; загрози для регіональної безпеки	Підриває виконання завдань цілей 7 та 13 (надійний доступ до енергії) та 13 (кліматична безпека); збільшує екологічні загрози й ризики техногенних катастроф
Втрати та руйнування генеруючих потужностей	Зменшення доступних потужностей через окупацію/руйнування ЗАЕС, ТЕС, ТЕЦ, ГЕС; ВЕС, СЕС	Дефіцит потужностей; дефіцит у пікові періоди, зниження маневренності; залежність від імпорту	Обумовлює відхилення від виконання цільових завдань до 2030 р.; сповільнює реалізацію завдань (зростання частки ВДЕ); ускладнює виконання національних планів декарбонізації
Мережеві та інфраструктурні	Зношеність ЛЕП; руйнування підстанцій; технологічні втрати; диспетчерські пошкодження	Збільшення аварійності; переривання постачання; зниження стійкості системи	Перешкоджає реалізації завдань (надійність і енергоефективність); гальмує модернізацію мереж і інтеграцію ВДЕ
Соціально-економічні	Підвищення тарифів; падіння платоспроможності; заборгованість споживачів; ризики енергетичної бідності	Соціальна напруга; зниження доступності енергії; зростання витрат держави	Підвищує ризики невиконання завдань (доступність енергії); посилює вразливість домогосподарств та суб'єктів господарювання; уповільнює сталий розвиток громад
Фінансово-ринкові	Волатильність РДН-ВДР; дефіцит ліквідності; залежність від імпорту; цінові шоки	Ризики дестабілізації ринку; зниження інвестиційної привабливості; диспропорції балансу	Стимує прогрес щодо інвестицій та модернізації інфраструктури; ускладнює розвиток ВДЕ та енергоефективних технологій
Інституційні та регуляторні	Фрагментація управління; складність координації; дебіторська заборгованість	Зниження керованості системи; уповільнення реформ; ризики ринкових перекосів	Перешкоджає реалізації розбудови інфраструктури та виконанню євроінтеграційних вимог; стримує інновації та сталий розвиток
Кіберзагрози та інформаційні атаки	Хакерські атаки на мережі; спроби вивести з ладу диспетчеризацію; дезінформація	Ризик виведення з ладу ОЕС; підвищена вірогідність аварій; загроза стабільності ринку	Ставить під загрозу досягнення завдань (безперебійність доступу); формує потребу у цифровізації та кіберстійкості
Кліматичні та екологічні	Зміна водності річок; підвищення температур; екологічні ризики від атак; викиди CO ₂	Зниження стійкості ГЕС; загроза водним ресурсам; екологічні збитки; ризик санкцій	Впливає на виконання завдань цілей 7, 13-15; підсилює необхідність адаптації та «зеленої» модернізації

*систематизовано автором.

Тривала гібридна агресія РФ продемонструвала системне використання енергетичних ресурсів як інструмента тиску, шантажу та дестабілізації. Упродовж багатьох років РФ здійснювала газові й нафтові маніпуляції: штучні перебої поставок, створення дефіциту, політичне ціноутворення, різкі зміни параметрів у газотранспортній системі, що формувало хронічну енергетичну залежність та посилювало вразливість держав регіону. Проєкт «Північний потік-2» став показовим прикладом стратегічної помилки окремих європейських держав, який поглиблював монопольний вплив Росії на ринок газу [36]; його зупинка після початку повномасштабного вторгнення засвідчила необхідність перегляду підходів до забезпечення енергетичної безпеки, прискореної диверсифікації джерел постачання й посилення координації в межах ЄС.

Проведений аналіз засвідчив, що енергетична безпека України формується під впливом багатовимірних спектра викликів та загроз, значна частина яких загострилася в умовах повномасштабної війни. Руйнування генеруючих потужностей, мережевої інфраструктури та об'єктів теплопостачання поєднується з хронічними проблемами високої енергомісткості, зношеності обладнання та структурної залежності від імпорту енергоресурсів. Крім традиційних інноваційно-технічних, технологічних та ресурсних викликів та загроз у досягненні цілей сталого розвитку актуалізувалися фінансово-економічні (втрата експортних потужностей, потреба імпорту енергії), які безпосередньо впливають на надійність, стійкість і конкурентоспроможність енергетичної системи. Додаткового значення набувають екологічні виклики (включаючи ядерно-техногенні загрози) та виклики інституційно-регуляторного характеру, у т. ч. пов'язані з інтеграцією України в європейський енергетичний простір, необхідністю досягнення цілей декарбонізації та виконання міжнародних зобов'язань у сфері кліматичної політики, визначені Європейським зеленим курсом, параметрами ESG. Сучасна конфігурація обумовлює необхідність побудови системи ризик-орієнтованого управління енергетичною безпекою, яка поєднуватиме адаптивність, технічну стійкість, диверсифікацію,

інтеграцію з європейським енергетичним простором і прискорення модернізаційних процесів відповідно до принципів сталого розвитку.

2.3. Науково-методичні засади ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичної безпеки

Певний рівень енергетичної безпеки обумовлюється параметрами функціонування енергетичної системи, параметрами зовнішнього середовища (включаючи вплив чинників глобального рівня), ефективністю управління ризиками, здатністю нівелювати загрози або принаймні зменшити їх негативний вплив на різних рівнях (інституційному, корпоративному).

У світовій науковій практиці сформувався широкий спектр науково-методичних підходів, спрямованих на вимірювання рівня загроз для енергетичної безпеки країн, регіонів, суб'єктів господарювання. Ці науково-методичні підходи характеризуються тим, що автори визначають показники багатовимірності сучасних енергетичних систем (характеристики енергетичного балансу, структуру ринку, екологічні, соціальні, технологічні тощо індикатори), які на їх думку є найбільш значимими для визначення рівня енергетичної безпеки, а також способи та інструменти оцінювання визначених показників. У додатку Ж узагальнено найпоширеніші підходи, що демонструють різну логіку формування індикаторів, відмінності у відборі критеріїв, структурах зважування, а також ролі експертного судження. Ці методики оцінювання охоплюють різну кількість показників, вибудовують системи оцінювання енергопостачання, імпортової залежності, диверсифікації, ефективності, екологічного впливу та інституційної стійкості. Частина методик ґрунтується на ентропійних вагових коефіцієнтах, що дозволяє мінімізувати суб'єктивність; інші спираються на експертні опитування, метод Delphi, методи нечіткої логіки тощо, що уможливорює глибше врахування контекстних знань і специфіки ринку. У публікаціях Дж. Лі та ін. [263], Дж. Августіса та ін. [160], Г. Коутінго та ін. [182] та ін. описано науково-методичні підходи оцінювання енергетичної безпеки на

рівні окремих країн, регіонів та глобальних вибірок. Окрему групу науково-методичних підходів складають підходи, які ґрунтуються на аналізі ключових компонент. Вони дозволяють зменшити розмірність даних і виявити ключові чинники, які найбільшою мірою обумовлюють зміну рівня енергетичної безпеки (Б. Абдулах та ін. [146], С. Гуанг та ін. [232] та ін.). Ці науково-методичні підходи є статистично обґрунтованими, однак залежать від якості даних і менш придатні до врахування швидких структурних зрушень або нетипових подій, що є критично важливим в умовах воєнних загроз.

В Україні напрацьовано науково-методичні підходи, які заклали підґрунтя для комплексного оцінювання індикаторів енергетичної безпеки, охоплюючи широкий спектр параметрів (від структури енергетичного балансу та рівня диверсифікації постачання до технологічних, інституційних та соціально-економічних характеристик). Інституції [64; 81; 106] (таблиця Ж.2 додатку Ж), науковці [62; 68; 77; 124; 132; 133; 324], приділяючи увагу розвитку науково-методичних підходів до оцінювання енергетичної безпеки, не обмежуються суто технічними або ресурсними аспектами, а інтегрують у методики чинники впливу державної політики, регуляторного середовища, якості управління та соціальної вразливості, що робить їх більш релевантними до врахування до умов трансформаційної економіки та геополітичних загроз. Зокрема, М. Войнаренко та ін. [324] сформуvalи науково-методичний підхід визначення вагомості впливу чинників / індикаторів на енергетичну безпеку, взаємозв'язків між ними із застосуванням теорії графів, що є важливим для ідентифікації ієрархії чинників та оцінювання ступеня їх впливу на енергетичну безпеку. Модель ієрархії чинників, оцінювання їх впливу слугує основою розробки комплексу оптимальних управлінських рішень для забезпечення енергетичної безпеки. А. Халатов та ін. [132] за результатами проведеного аналізу стану енергетичної безпеки України у системі оцінювання / аналізу рівня безпеки 25 країн з великим обсягом споживання енергії відзначили, що Україна у цьому рейтингу посідає останнє місце. Такі результати засвідчують потребу реалізації заходів щодо підвищення рівня енергетичної безпеки України.

У контексті сучасних реалій звертаємо увагу на публікацію [68], у якій автори запропонували поділити показники оцінювання енергетичної безпеки на воєнні та невоєнні з метою оцінювання стану основних індикаторів функціонування енергетичної системи. Не піддаємо сумніву важливість забезпечення паливом тощо Збройних сил України, тобто, забезпечення енергоресурсами системи оборони країни має бути в пріоритеті (що й прослідковується по показниках видатків державного бюджету України, залучення кредитів у складних умовах війни тощо, описаних у п.п. 2.1). Проте, енергетика є фундаментальною сферою для функціонування усіх секторів економіки та життя людей. Тому важливо забезпечити рівень енергетичної безпеки країни в розрізі індикаторів, які обумовляють розвиток усіх галузей національної економіки на принципах сталості.

Аналіз науково-методичних підходів оцінювання енергетичної безпеки засвідчує, що вони суттєво відрізняються за:

- типами даних (статистичні, експертні, комбіновані);
- підходами до зважування (ентропійний метод, метод аналізу ключових складових, експертні ваги, нечітка логіка);
- теоретичними рамками (енергетичний баланс, соціально-економічний підхід, екологічний акцент);
- здатністю до прогнозування (низька у більшості традиційних індикаторів).

Незважаючи на вагомі результати, більшість індексів характеризуються двома ключовими обмеженнями: лінійність методів, яка не дозволяє охопити складні нелінійні зв'язки впливу загроз, і статичність, що не відповідає високій динаміці ризиків у період воєнної агресії проти України, технологічних стрибків.

У методиках оцінювання енергетичної безпеки українських науковців бракує інструментів прогнозування, алгоритмів виявлення прихованих залежностей та оцінок сценаріїв розвитку, що особливо важливо в умовах високої турбулентності та швидкозмінності енергетичного середовища. Це

формує запит на більш гнучкі, інтегровані та цифровізовані підходи методики оцінювання загроз.

Підвищення точності та об'єктивності оцінювання загроз у контексті проведеного вище аналізу має спиратися на інтеграцію сучасних аналітичних інструментів, включно з системним аналізом, експертними методами, математичними моделями та інструментами штучного інтелекту. Особливо актуальним стає перехід від статичних систем індикаторів до динамічних, багаторівневих моделей, здатних у режимі реального часу відстежувати зміни у структурі загроз та прогнозувати їхній подальший вплив. Цифровізація енергетичного сектору, доступність великих масивів даних (Big Data), розвиток інтелектуальних систем моніторингу та аналітики відкривають можливість поєднати традиційні українські підходи із сучасними методами управління на основі даних.

Одним з таких рішень є інтеграція методик індикативної оцінки енергетичної безпеки із концептуальною моделлю DPSIR (Drivers – Pressures – State – Impact – Response / Рушійні сили – Тиски – Стан – Впливи – Реакція) [310; 331]. Поєднання цих напрямів дозволяє:

- структурувати систему загроз за логікою причинно-наслідкових зв'язків (від джерела тиску до реакції держави та енергетичних суб'єктів);
- посилити аналітичну здатність через розмежування драйверів, тисків, стану енергосистеми та результативних впливів;
- підвищити керованість процесів, адже DPSIR формує чіткий ланцюг управлінських рішень, прив'язаний до виявлених загроз;
- адаптувати український інструментарій до стандартів ЄС у сфері сталого розвитку, ресурсної ефективності та енергетичного переходу.

Модель DPSIR дає змогу системно описати логіку формування загроз та ризиків для енергетичної безпеки. Кожен елемент моделі відображає окремий рівень у ланцюгу причинно-наслідкових зв'язків, а сукупно вони дозволяють сформувати повноцінну картину походження, характер та наслідки загроз, а також можливі управлінські рішення [174]. Співвідношення між системою загроз

і ризиків енергетичній безпеці та аналітичною рамкою DPSIR представлено у таблиці 2.10. Модель DPSIR дозволяє системно пояснити, як загрози енергетичній безпеці виникають, накопичуються та трансформуються у ризики й фактичні наслідки.

Таблиця 2.10

Взаємодія системи загроз і ризиків з елементами моделі DPSIR*

Елемент DPSIR	Роль у формуванні загроз	Відповідність загроза/ризик
Drivers (рушійні сили)	Глибинні системні чинники, які визначають умови функціонування енергосистеми; формують стратегічний контекст і системні умови, у межах яких виникають загрози; генерують структурні виклики (економічні, технологічні, геополітичні, демографічні, регуляторні), що зумовлюють вразливість енергосистеми.	Потенційні, базові джерела загроз, які накопичуються у вигляді системних дисбалансів і закладають основу для появи ризиків.
Pressures (тиски)	Перетворюють рушійні сили на конкретні негативні впливи (дефіцит ресурсів, техногенні ризики, цінові коливання, атаки, інституційні помилки, ринкові спотворення); створюють прямий тиск на енергетичну систему.	Фактичні виклики і загрози, які мають вимірювану ймовірність виникнення та становлять безпосередній ризик стабільності енергосистеми; ризик на цьому рівні – це ймовірність реалізації конкретного негативного сценарію, зумовленого тиском.
State (стан)	Відображає поточний рівень стійкості або деградації системи під впливом тисків; визначає чутливість, здатність до відновлення, рівень резервів, інфраструктурну цілісність та інституційну спроможність.	Рівень уразливості системи: загрози трансформуються у ризики залежно від технічного, економічного та інституційного стану.
Impact (впливи)	Матеріалізують наслідки реалізації ризиків у вигляді економічних, соціальних, технологічних, екологічних та безпекових збитків; визначають масштаб і глибину ураження.	Реалізовані ризики стають фактичними втратами, що підлягають оцінці, компенсації та врахуванню у стратегіях реагування.
Response (реакції)	Формують комплекс політик, інструментів і дій, спрямованих на зниження тисків, підвищення стійкості стану, пом'якшення впливів, запобігання загроз; визначають ефективність системи управління ризиками.	Управління загрозами та ризиками, включаючи попередження, мінімізацію, нейтралізацію та адаптацію системи.

*систематизовано автором.

Drivers (рушійні сили) формують глибинні структурні передумови загроз (економічні дисбаланси, технологічну зношеність, геополітичну напругу, інституційну слабкість). Поки вони залишаються на рівні потенційних, система може залишатися відносно стабільною, проте саме вони визначають напрям і масштаб можливих викликів. На наступному етапі Pressures (тиски) загрози набувають форм конкретних впливів – збільшення залежності від імпорту, атаки на інфраструктуру, зростання цінових коливань чи регуляторних помилок. У площині Pressures (тиски) відбувається перехід від абстрактної загрози до вимірюваного ризику, який має чітку ймовірність та параметри. State (стан системи) визначає її здатність протистояти впливам. Чим гірші технічні характеристики, інституційна спроможність та економічна стабільність, тим швидше ризики матеріалізуються у негативні наслідки. Impact (впливи) фіксує реальну шкоду (від часткових перебоїв до руйнування інфраструктури й довгострокових економічних втрат). Остання ланка – Response (реакції) – не лише відновлює систему, а й повертає цикл на початок, впливаючи на Drivers та Pressures через зменшення вразливостей, модернізацію та запобіжні політики. Отже, DPSIR дає змогу простежити причинно-наслідковий ланцюг між загрозами та ризиками, розглядати енергетичну безпеку як динамічну систему, у якій управління має бути реактивним і випереджувальним.

Ще ширші можливості відкриває вбудовування нейромережних алгоритмів у цю систему. Нейромережі дозволяють:

- моделювати складні нелінійні залежності між чинниками загроз;
- прогнозувати зміну ступеня небезпеки залежно від інтенсивності чи сили чинників;
- автоматично класифікувати загрози за рівнями критичності;
- виявляти нові патерни у поведінці енергетичної системи, недоступні класичному аналізу.

Таким чином, інтеграція структурної моделі DPSIR, індикативних та інтелектуальних методів оцінювання енергетичної безпеки (ймовірнісні нейронні

мережі, кластеризація, статистичні класифікатори) формує авторський, системний підхід до оцінювання загроз та управління ризиками енергетичній безпеці України. Такий підхід дозволяє одночасно враховувати структурний, причинно-наслідковий, поведінковий та динамічний вимір загроз, що забезпечує більш точне обґрунтування управлінських рішень щодо нейтралізації/мінімізації загроз та формує основу для побудови проактивної, а не реактивної моделі управління енергетичною безпекою. Систематизація етапів інтегрованого науково-методичного підходу дозволяє представити його логіку у наочній та структурованій формі. Представлений алгоритм демонструє поетапний рух від формування інформаційної бази до генерації управлінських рішень та прогнозування сценаріїв, що забезпечує високу гнучкість і релевантність підходу для використання у сучасних умовах воєнної та післявоєнної трансформації енергетичного сектора (таблиця 2.11). Запропонований алгоритм інтегрованого підходу до ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичній безпеці України формує системну основу для прийняття стратегічно обґрунтованих управлінських рішень у складних умовах трансформації енергетичного сектора. Поєднання методик дозволяє автоматизувати оцінювання, забезпечувати високу точність класифікації, враховувати причинно-наслідкові зв'язки та комплексно відображати динаміку впливів, забезпечує глибину аналізу та дає можливість здійснювати прогнозування потенційних сценаріїв. Структурування загроз за принципами DPSIR дозволяє не лише оцінювати їх масштаб і ймовірність, але й визначати управлінські реакції, що відповідають реальній природі та джерелам ризику. Карта пріоритетності загроз та інтегральний індекс забезпечують можливість систематизувати результати у зручній формі для ухвалення рішень. Важливо, що методика не є статичною. Вона передбачає регулярне оновлення параметрів, включення нових даних, адаптацію ваг та автоматичне оновлення прогнозів, що робить її релевантною в умовах війни, повоєнної відбудови, структурних змін на ринку електроенергії та інтеграційного курсу України в європейську енергетичну систему.

Таблиця 2.11

Алгоритм інтегрованого підходу до ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичної безпеки

Етап	Зміст етапу	Основні методи та інструменти	Очікувані результати
1. Формування інформаційної бази та системи індикаторів	Збір та структурування показників; інтеграція їх у модель DPSIR	Аналіз літератури; індикаторний підхід; формалізація DPSIR	База даних факторів (драйвери, тиски, стан, впливи, реакції)
2. Ідентифікація загроз та побудова реєстру	Виявлення загроз у розрізі технічних, економічних, політичних, соціальних, екологічних та кіберфакторів	Контент-аналіз; SWOT-аналіз; логічне групування; структуризація DPSIR	Реєстр загроз з класифікацією за джерелами та проявами
3. Експертне оцінювання чинників	Кількісне оцінювання інтенсивності, сили та взаємозв'язків чинників, їх впливу, загроз	Експертне опитування; шкала 0-1; коефіцієнт конкордації W	Нормалізовані показники для подальших розрахунків
4. Кластеризація загроз	Групування загроз за подібністю характеристик, визначення системних груп ризиків	K-means, DBSCAN, ієрархічні методи	Кластери загроз, що дозволяють виявити системні групи
5. Побудова ймовірнісної нейронної мережі (PNN)	Використання ймовірнісної нейронної мережі для визначення ступеня загрози	Ймовірнісні нейронні мережі; Matlab/Python; нормалізація даних	Визначення рівнів загроз (низький - критичний)
6. Побудова карти пріоритетності ризиків	Присвоєння загрозам рівнів пріоритетності	Матриця ризиків; бальна оцінка; ранжування	Карта ризиків та рейтинг загроз
7. Розроблення управлінських рішень	Формування реакцій відповідно до DPSIR та результатів аналізу головних компонент	Дерево рішень; методи уникнення/ зниження/ хеджування	Набір управлінських заходів для кожного класу загроз
8. Побудова інтегрального індексу загроз	Агрегація даних у композитний показник	Методи ентропійного зважування; аналізу ієрархій; агрегування	Інтегральний індекс рівня загроз енергетичній безпеці
9. Моніторинг і прогнозування	Динамічне оновлення оцінок і прогнозів	Нейронні мережі; сценарний аналіз; часові ряди	Прогноз зміни рівня загроз та адаптивні рекомендації

*запропоновано автором.

Відомими методами оцінювання різних видів виявлених загроз є методи якісної та кількісної оцінки. Доречно комбінувати методи оцінювання, наприклад, використовувати статистичні та експертні. Експертна оцінка загроз здійснюється згідно шкали оцінювання. Наприклад, шкала ймовірності настання ризику може бути такою: 0 – ризик не наступить; 0,25 – ризик, ймовірніше за все, не наступить; 0,5 – ймовірність появи ризику 50/50; 0,75 – ризик, ймовірніше за все, наступить; 1 – ризик наступить. Оцінку ймовірних втрат або вигод від впливу ризику можна ранжувати в інтервалах: 0-0,2 – мінімальні; 0,2-0,4 – малі (несуттєві), 0,4-0,6 – середні; 0,6-0,8 – суттєві; 0,8-1 – великі [193].

Тобто, маючи реєстр ризиків, експерт має оцінити:

- ймовірність настання певного ризику за шкалою оцінювання;
- ступінь впливу ризику у межах інтервалу.

Варто зазначити, що узгодженість та достовірність оцінок експертів доцільно перевірити шляхом розрахунку коефіцієнта конкордації (W) за формулою [74, с. 251]:

$$W = \frac{\sigma_{\phi}^2}{\sigma_{\max}^2}, \quad (2.1)$$

де: W – коефіцієнт конкордації; σ_{ϕ}^2 – фактична дисперсія підсумкових (впорядкованих) оцінок експертів; σ_{\max}^2 – дисперсія підсумкових (впорядкованих) оцінок у разі, коли думки експертів повністю збігаються.

Величина коефіцієнта конкордації коливається у межах від 0 до 1. Прийнято вважати, якщо $W > 0,7$, то відповіді експертів вважаються добре узгодженими.

Ризики у двох вимірах: ймовірність виникнення та міра/рівень потенційних наслідків можна оцінити та схематично представляти у вигляді матриці (таблиця 2.12).

Таблиця 2.12

Матриця оцінки ризиків настання негативних наслідків*

Наскільки значними будуть наслідки, якщо ризик настане?

		Вплив				
		1 Insignificant (незначний вплив)	2 Minor (незначний вплив)	3 Significant (значний вплив)	4 Major (високий рівень впливу)	5 Severe (дуже високий рівень впливу)
Ймовірність настання ризику	5 Almost Certain (висока ймовірність)	Medium 5 (середній рівень)	High 10 (високий рівень)	Very high 15 (дуже високий рівень)	Extreme 20 (критичний рівень)	Extreme 25 (критичний рівень)
	4 Likely (ймовірне настання)	Medium 4 (середній рівень)	Medium 8 (середній рівень)	High 12 (високий рівень)	Very high 16 (дуже високий рівень)	Extreme 20 (критичний рівень)
	3 Moderate (середня ймовірність)	Low 3 (низький рівень)	Medium 6 (середній рівень)	Medium 9 (середній рівень)	High 12 (високий рівень)	Very high 15 (дуже високий рівень)
	2 Unlikely (низька ймовірність)	Very low 2 (дуже низький рівень)	Low 4 (низький рівень)	Medium 6 (середній рівень)	Medium 8 (середній рівень)	High 10 (високий рівень)
	1 Rare (дуже низька ймовірність)	Very low 1 (дуже низький рівень)	Very low 2 (дуже низький рівень)	Low 3 (низький рівень)	Medium 4 (середній рівень)	Medium 5 (середній рівень)

*складено автором за матеріалами [224].

Основними перевагами використання цього інструменту є те, що він допомагає спростити представлення різних рівнів ризику та зменшує потребу у проведенні трудомістких кількісних аналізів. У публікації [224] також запропоновано покроковий алгоритм щодо застосування матриці ризиків 5×5.

Ризики реалізації загроз з незначними наслідками, проте з високою ймовірністю їх настання, також потребують уваги та належного реагування. Залежно від природи таких загроз та джерел їх виникнення необхідно ухвалити відповідні управлінські рішення, розробити превентивні заходи, спрямовані на усунення або мінімізацію цих відносно «дрібних» негативних впливів, які в сукупності можуть знижувати рівень енергетичної безпеки та перешкоджати

сталому розвитку. Ризики настання загроз, що характеризуються низькою ймовірністю виникнення, але значними потенційними наслідками, потребують окремої уваги, оскільки їх реалізація/настання може стати критичним для стабільного функціонування енергетичного сектору, рівня енергетичної безпеки. Нарешті, загрози з високою ймовірністю виникнення та значними наслідками становлять найбільші ризики, оскільки повністю відповідають логіці розуміння «критичних ризиків» у системах забезпечення енергетичної безпеки. Саме вони потребують першочергового реагування, системних заходів нейтралізації та координації дій між ключовими суб'єктами сектору.

Максимально достовірна ідентифікація та оцінка загроз є ключовою передумовою формування обґрунтованих управлінських рішень у системі ризик орієнтованого управління, оскільки саме якість вихідної діагностики визначає адекватність вибору заходів попередження, мінімізації та нейтралізації загроз у системі управління ризиками енергетичної безпеки. Виявлення, аналіз та нейтралізація дії загроз енергетичній безпеці мають враховувати «природу»/сутність загроз у розрізі їх видів, якісні та кількісні характеристики загроз.

Якісний контекст загроз для енергетичної безпеки обумовлюється інтенсивністю загроз (їх диманічністю), що характеризується кількістю загрозливих ситуацій для енергетичної системи за певний проміжок часу. Тут можна навести приклад виникнення небезпечної ситуації для інфраструктури міста (стічних мереж), якщо упродовж доби випала місячна норма опадів. Інтенсивність загроз, а також конкретні умови їх вираження визначають розмір потенційної шкоди для енергетичної системи. Ступінь небезпеки (шкоди) в залежності від інтенсивності загроз представлено на рис. 2.12. Промені I^1 , I^2 та I^3 описують ступінь небезпек/шкоди для енергетичної безпеки країни залежно від кількості загроз для енергоринку на одиницю часу. Промінь I^1 описує ситуацію із найвищим ступенем загроз безпеці. Промені I^2 та I^3 характеризують меншу кількість загроз/шкоди на одиницю часу.

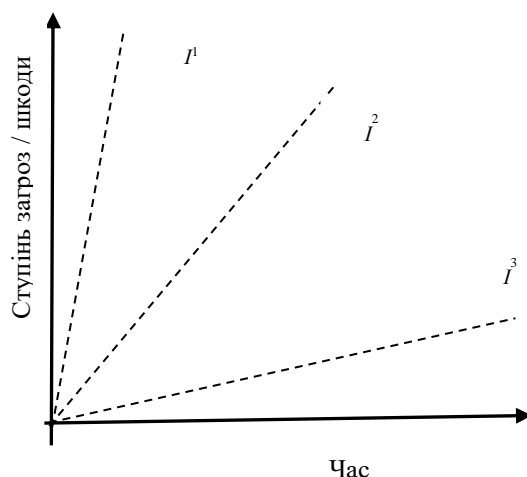


Рис. 2.12. Рівень загрози (шкоди) в залежності від інтенсивності загроз, [200].

Кількісний контекст загроз для забезпечення енергетичної безпеки країни (регіону, суб'єкта) обумовлюється рівнем їх сили, що спричинює певний рівень (обсяг/масштаб) шкоди. Рівень небезпек/шкоди для енергетичної безпеки залежно від «сили загроз» та «інтенсивності загроз» представлено на рис. 2.13.

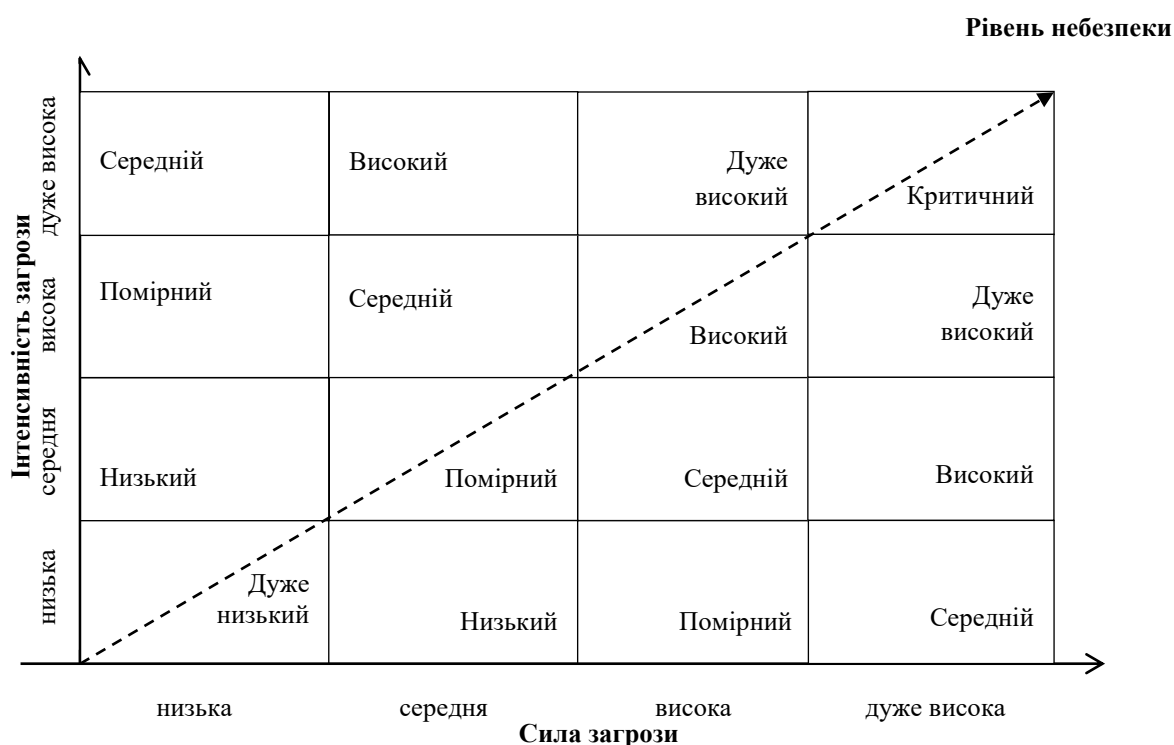


Рис. 2.13. Рівень небезпеки залежно від «сили загроз» та «інтенсивності загроз», сформовано автором на основі [224].

Відмітимо, що зазначений підхід щодо аналізу загроз за рівнем їх сили та інтенсивністю використовується сейсмологами для оцінювання рівня небезпек внаслідок дії землетрусів. Фахівці розрізняють різні аспекти сейсмічної активності землетрусів: магнітуду (енергію землетрусу), яку вимірюють за шкалою Ріхтера, та інтенсивність (руйнівні наслідки) землетрусу, яку вимірюють за шкалою Меркалі. Таким чином, інтенсивність землетрусу у різних місцях буде різною, але він буде характеризуватися однаковою магнітудою в усіх точках. Аналіз загроз залежно від їх «сили» та «інтенсивності» є основою сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки об'єктів у будівництві. Наприклад, при виборі місця будівництва атомних станцій враховується аспекти сейсмічної землетрусів, максимальні значення сили та інтенсивності імовірних землетрусів, відповідно до яких забезпечуються вимоги щодо сейсмостійкості будівель, споруд, систем та елементів атомних станцій [105].

Важливо оцінювати синергетичний аспект імовірних загроз. До прикладу, значної шкоди для енергетичної безпеки країни, зокрема, суб'єктам енергоринку, можуть завдати загрози низького, помірного або середнього рівня сили, але які відбуваються з високою інтенсивністю. І звичайно ж, найбільшої шкоди спричиняють загрози високої сили, які реалізуються з високою інтенсивністю.

У контексті аргументації інтенсивності загроз від цілеспрямованих обстрілів РФ об'єктів енергетики України відзначаємо, що за умови поодиноких атак на об'єкти енергетики, вітчизняній енергосистемі вдавалося балансувати енергетичними потужностями інших об'єктів генерації енергії та у відносно короткий час відновлювати пошкоджені потужності. Масові ракетні атаки по об'єктах енергетики призвели до загроз, які спричинили значні негативні наслідки.

Отже, управлінські рішення щодо упередження / нівелювання / мінімізації негативних впливів на енергетичну безпеку мають спиратися на об'єктивні оцінки існуючих загроз. Для оцінювання впливу імовірних загроз на енергетичну безпеку України можна використати методику ймовірнісної нейронної мережі,

яка є найточнішою серед усіх нейронних мереж з використанням радіальних базисних функцій. Вона представляє собою математичний об'єкт, що реалізує трьохетапну обчислювальну процедуру, яка відбувається на вхідному, радіальному та вихідному прошарках нейронної мережі [226].

Оцінювання впливу загроз на енергетичну безпеку України в розрізі чинників, визначення ступеня загроз пропонуємо здійснювати на основі статистичних класифікаторів [188].

Загрози енергетичній безпеці України (Z) можемо визначити на основі впливу множини чинників, де z_i є i -м фактором або i -ю ознакою загрози (за термінологією статистичних класифікаторів), що негативним чином впливають на енергетичну безпеку (тобто, підвищує ступінь загроз безпеці), а N є загальною кількістю цих ознак [200]:

$$Z = \{z_i\}_{i=1}^N. \quad (2.2)$$

Множина (2.2) може містити кілька десятків чинників впливу, на основі яких необхідно визначити ступінь загрози. Для подальшого розгляду множину (2.2) представимо у вигляді об'єднання підмножин зовнішніх і внутрішніх чинників:

$$Z = \{z_i\}_{i=1}^N = Z_{зов} \cup Z_{вн} = \{z_{i_1}^{(зов)}\}_{i_1=1}^{N_{зов}} \cup \{z_{i_2}^{(вн)}\}_{i_2=1}^{N_{вн}}, \quad (2.3)$$

де $Z_{зов}$ і $Z_{вн}$ є підмножинами $N_{зов}$ зовнішніх й $N_{вн}$ внутрішніх факторів, причому $N = N_{зов} + N_{вн}$.

Ступінь загроз енергетичній безпеці позначимо:

$$S = \{s_k\}_{k=1}^M. \quad (2.4)$$

У множині з M ступенів загрози енергетичній безпеці України s_k є k -м видом/типом загрози. Тобто, множину (2.4) можна утворити з чотирьох ступенів загрози (у порядку зростання потенційних негативних наслідків): низький, середній, високий, дуже високий. Такий поділ є умовним (відображений на рис. 2.13); він може різнитися, але зрозуміло, що при «накладанні» чинників, що

негативно впливають на енергетичну безпеку, їх кумулятивний негативний вплив посилюється.

Щоб визначити рівень загроз енергетичній безпеці України (множину загроз Z) формально необхідно оцінити множину ступенів загрози S на основі вивчення N ознак у множині Z .

Визначення ступеня загроз (за яким s^* (2.5) є найбільш релевантним ступенем загрози серед усіх M ступенів) можна зробити з використанням такого статистичного класифікатора, як ймовірнісна нейронна мережа.

$$s^* \in S = \{s_k\}_{k=1}^M, \quad (2.5)$$

Ймовірнісну нейронну мережу для реалізації обчислювальної процедури легко побудувати у середовищі Matlab. Для цього необхідно сформулювати вхідну матрицю [266]:

$$\mathbf{F} = [f_{ij}]_{N \times (mM)}, \quad (2.6)$$

де $m \in \{1, 2, 3, \dots\}$, а значення елемента f_{ij} є числовою оцінкою (дробовою або цілочисловою, а також з довільного інтервалу) ознаки z_i у стані (класі) s_k для

$$k = j - M \cdot \psi\left(\frac{j-1}{M}\right), \quad (2.7)$$

де допоміжна функція $\psi(x)$ повертає цілу частину числа x .

Матриця (2.6) може мати розмір $N \times M$, де буде $m=1$ і $k=j$ за формулою (2.7). У такому випадку кожна ознака у кожному стані (ступені загрози) буде мати тільки одну оцінку. Цей випадок можливий в обчисленнях, але його впровадження вимагає дуже надійних оцінок (усього необхідно надати $N \times M$ таких оцінок):

$$\mathbf{F} = [f_{ij}]_{N \times M}, \quad (2.8)$$

Однак матриця (2.6) може мати розмір $N \times (2M)$, де буде $m=2$ і $k=j$ за формулою (2.7). Тобто, використовуючи матрицю (2.9) кожен парі ознаки і її

стану / ступеня загроз (2.10) можна оцінити двічі:

$$\mathbf{F} = [f_{ij}]_{N \times (2M)}. \quad (2.9)$$

$$\{z_i, s_k\} \quad (i = \overline{1, N} \text{ та } k = \overline{1, M}) \quad (2.10)$$

Такий підхід оцінювання загроз є більш гнучким, оскільки вимоги до надійності оцінок не такі високі, як у випадку з матрицею (2.8). При цьому «ліва» і «права» підматриці повинні бути (дещо) різними, інакше таке подвійне оцінювання не матиме практичного сенсу.

Надалі необхідно сформувати цільову матрицю класів / станів (2.11), яка являє собою послідовну горизонтальну конкатенацію m одиничних матриць розміром $M \times M$, де $m \in \{1, 2, 3, \dots\}$:

$$\mathbf{T} = [t_{ij}]_{M \times (mM)}, \quad (2.11)$$

Наприклад, якщо $m=1$ і кількість станів (ступенів загрози) $M=4$ (низький / слабкий, середній помірний, високий / сильний, дуже високий / критичний), то цільова матриця станів, якою б не була кількість ознак N , буде такою:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Якщо ж, наприклад, $m=3$, то цільова матриця станів (2.11) буде втричі «ширшою», тобто матриця буде мати вигляд:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.13)$$

Після того, як матриці (2.6) та (2.11) підготовлені, ймовірнісна нейронна мережа $\mathbf{n}_{pm}(N, M)$ у середовищі Matlab будується за допомогою вбудованої

Matlab-функції «newpnn», яка приймає на вході матриці \mathbf{F} і \mathbf{T} разом з параметром розкиду радіальних базисних функцій («spread of radial basis functions») ρ :

$$\mathbf{n}_{pnn}(N, M) = \text{newpnn}(\mathbf{F}, \mathbf{T}, \rho). \quad (2.14)$$

За замовчуванням параметр $\rho = 0,1$ (однак це значення не слід вважати рекомендованим значенням параметру розкиду). Якщо цей параметр є близьким до 0, ймовірнісна нейронна мережа діє як класифікатор типу «найближчого сусіда».

Якщо ж параметр ρ збільшують, ймовірнісна нейронна мережа враховує декілька ближніх (згідно відповідної евклідової метрики) векторів у матриці (2.7).

Використовувати готову ймовірнісну нейронну мережу (2.14) просто. Якщо \mathbf{V} є вектором з N ознак, тобто:

$$\mathbf{V} = [v_i]_{N \times 1} \in \mathbb{R}^N, \quad (2.15)$$

то у середовищі Matlab за допомогою вбудованої Matlab-функції «sim» ми отримуємо:

$$\mathbf{A} = \text{sim}(\mathbf{n}_{pnn}(N, M), \mathbf{V}), \quad (2.16)$$

де \mathbf{A} є M -вимірним вектором, у якому $M - 1$ елемент має значення 0 і тільки один елемент має значення 1.

Індекс елемента зі значенням 1 відповідає номеру стану, який є найбільш релевантним ступенем загрози серед усіх M ступенів. Таким чином, вектор відповідей ймовірнісної нейронної мережі (2.14):

$$\mathbf{A} = [a_k]_{M \times 1} \text{ при } a_k \in \{0, 1\}, \quad (2.17)$$

де

$$a_k = 0 \text{ при } k \in \{1, \overline{M}\} \setminus \{k^*\} \text{ і } a_{k^*} = 1, \quad (2.18)$$

і $s^* = s_{k^*}$ є найбільш релевантним ступенем загрози.

Для оцінювання ступеня загроз енергетичній безпеці експерти мають оцінити інтенсивність впливу зовнішніх ($N_{зов}$) та внутрішніх ($N_{вн}$) чинників у розрізі ознак кожного чинника, їх впливів на ступінь загрози s_k , $k = \overline{1, M}$.

При цьому певному ступеню загрози для енергетичної безпеки відповідатиме такий перелік управлінських рішень, який теоретично не сприяє усуненню цієї загрози (внаслідок чого нам необхідно знайти інший перелік, який сприятиме поступовому усуненню загроз). Оцінкою цих переліків буде номер,

тобто цифра від 1 до $\sum_{k=1}^M J(s_k)$.

Оскільки ми прагнемо працювати з даними у межах одиничного інтервалу (з нормалізованими даними), тобто:

$$f_{ij} \in [0; 1] \quad (i = \overline{1, N} \text{ та } j = \overline{1, mM}), \quad (2.19)$$

то значення f_{1j} ($j = \overline{1, mM}$) отримуються діленням номера переліку на $\sum_{k=1}^M J(s_k)$.

Експертна анкета для оцінювання вхідної матриці першої ймовірнісної нейронної мережі буде мати вигляд, показаний у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Анкета для експертних оцінок матриці \mathbf{F} (від 0 до 1)*

Чинники	Перелік загроз	Ступінь загрози				
		s_1	s_2	...	s_{M-1}	s_M
Зовнішні	z_1			...		
	z_2			...		
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	$z_{N_{зов}-1}$...		
	$z_{N_{зов}}$...		
Внутрішні	$z_{N_{зов}+1}$...		
	$z_{N_{зов}+2}$...		
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	z_{N-1}			...		
	z_N			...		

*складено автором.

Для отримання неперервного переліку множини загроз, які будемо опрацьовувати за допомогою Matlab, у таблиці 2.13 здійснено такі перетворення:

При $i_1 = 1$, тоді $i = 1$; при $i_1 = N_{зов}$, тоді $i = N_{зов}$.

При $I_2 = 1$; тоді $i = N_{зов} + 1$; при $i_2 = N_{вн}$, тоді $i = N_{зов} + N_{вн} = N$.

Для перевірки узгодженості експертних суджень пропонуємо здійснювати кластеризацію експертних оцінок, адже оптимальна кількість кластерів фактично уже визначена, яка позначена через m , центроїди яких і будуть відповідними підматрицями матриці \mathbf{F} .

Надалі необхідно визначати адекватні управлінські рішення, заходи та засоби, за допомогою яких буде забезпечено достатній рівень енергетичної безпеки. Перелік управлінських рішень щодо недопущення/ нейтралізації / мінімізації загроз, їх вибір для реалізації/впровадження можна також сформулювати, спираючись на результати експертних думок за методикою, представленою вище.

Таким чином, розроблена вище система ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками забезпечує високий рівень аналітичної точності, інтегративності та практичності, створюючи науково обґрунтовані передумови для забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку енергетичної сфери.

Висновки до другого розділу

1. Аналіз основних макроекономічних показників України, детермінант розвитку енергетичного комплексу України засвідчує, що галузь функціонує у турбулентному середовищі, обумовленого поєднанням історично-еволюційних структурних дисбалансів, масштабними викликами та загрозами періоду повномасштабної війни. Історично-еволюційний процес демонополізації та лібералізації енергетичного сектору України, попри свою стратегічну необхідність, сформував комплекс інституційних, регуляторних і ринкових ризиків, які у поєднанні з технічними та воєнними загрозами визначають сучасну конфігурацію викликів енергетичної безпеки. Макроекономічні індикатори

засвідчують вразливість національної економіки, залежність від імпорту, зовнішньої підтримки (кредити, гранти тощо), що створює загрози фінансово-економічній, енергетичній безпеці України.

Енергетичний сектор продовжує відігравати ключову роль у забезпеченні можливостей функціонування галузей національної економіки та життєдіяльності населення, однак його стійкість та підтримання операційної стабільності об'єднаної енергетичної системи суттєво знижена через системні атаки на критичні енергетичні об'єкти, втрати потужностей генерації енергії (атомна енергетика України втратила ЗАЕС – найбільший об'єкт виробництва електроенергії в країні, теплова генерація зазнала найістотніших втрат потужностей, а гідроенергетика ушкоджена внаслідок руйнування інфраструктури) та високу залежність від впливу зовнішніх чинників. Характерною ознакою теперішнього часу стала помітніша роль держави як регулятора та як акціонера, що в умовах воєнного стану є логічним.

2. Результати аналізу свідчать про наявну невідповідність між поточними трендами розвитку енергетичного сектору та цільовими орієнтирами України до 2030 р. в межах завдань Цілі 7 «Доступна та чиста енергія». Зокрема, частка відновлюваних джерел у кінцевому споживанні зростає недостатньо швидкими темпами; енергомісткість ВВП залишається однією з найвищих у Європі та не демонструє достатнього зниження; показники енергоефективності та технологічних втрат у мережах відстають від планових значень; рівень диверсифікації джерел постачання енергоресурсів не відповідає стратегічним орієнтирам щодо зменшення імпортозалежності.

Ідентифіковано спектр викликів та загроз енергетичній безпеці України за напрямками (руйнування, спричинені війною, фінансово-економічні, техніко-технологічні, кіберзагрози та інформаційні атаки, екологічні вимоги та кліматичні виклики, корупція та неефективне управління). Систематизовано групи ризиків, які впливають на досягнення цілей сталого розвитку. Внаслідок втрат енергопотужностей Україна, на жаль, перетворилася з чистого експортера на імпортера електроенергії. Фінансово-економічний контекст загроз проявляється у залежності від імпорту енергоресурсів, цінових коливань,

тенденцій на глобальному ринку, фінансовій нестабільності енергетичного сектора, недостатності інвестиційних ресурсів для розвитку та модернізації. Техніко-технологічні характеристики енергетичної галузі свідчать про зношеність енергетичної інфраструктури, застарілість підстанцій та електромереж, що обумовлюють втрати енергії, низьку енергоефективність. Не оминули енергетичний сектор новітні види загроз – кіберзагрози та інформаційні атаки.

3. Існуючі підходи оцінювання загроз енергетичній безпеці засвідчують їх фрагментарність. Сформовано науково-методичні засади ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичній безпеці України, що передбачають комплексне поєднання індикаторного аналізу, аналітичної логіки моделі DPSIR та інтелектуальних методів обробки даних. Запропонована модель забезпечує структурування циклу управління ризиками: від формування інформаційної бази та класифікації чинників до побудови нейромережевого механізму оцінювання ступеня загроз, пріоретизації ризиків та визначення відповідних управлінських реакцій. Поєднання індикативних систем з логікою DPSIR, інструментами PNN та кластеризації дозволяє ідентифікувати як статичні, так і динамічні загрози, виявляти приховані взаємозв'язки між чинниками, визначати системні кластери ризиків і формувати науково-обґрунтовані управлінські рішення. Розроблена система є не лише інструментом діагностики, але й практичним механізмом підтримки рішень, здатним орієнтувати політику енергетичної безпеки на випередження ризиків, мінімізацію їх впливу та посилення стійкості енергетичного сектора в умовах невизначеності та криз.

Наявні виклики та загрози для енергетичної безпеки України обумовлюють потребу формування концептуального бачення розвитку енергетичної системи з урахуванням сучасних реалій, переходу до ризик-орієнтованої моделі управління, реалізації сучасних організаційно-економічних форм, інноваційних підходів забезпечення енергетичної безпеки України.

Основні наукові результати опубліковані у таких авторських працях: [22; 26; 33; 35; 36; 41; 43; 44; 191; 196; 200].

РОЗДІЛ 3

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

3.1. Парадигма розвитку енергетичного сектора на принципах сталості

Сучасні реалії актуалізують необхідність переосмислення традиційної концепції функціонування енергетики України й переходу до парадигми її розвитку на принципах сталості з урахуванням прогресивного досвіду.

Парадигма як інноваційна філософія функціонування та розвитку української енергосистеми має відповідати реаліям сьогодення, адекватно протистояти викликам та загрозам, а також відповідати системі досягнення цілей сталого розвитку. Необхідно здійснювати трансформації енергетичної системи структурного характеру, у т. ч. за рахунок іноземного капіталу. Для забезпечення ефективної роботи енергоринку необхідно досягти енергетичного балансу за видами генерації енергії, поєднуючи з реалізацією проголошених намірів досягнення кліматичної нейтральності, зважаючи на найбільші обсяги викидів, які здійснюються паливно-енергетичним комплексом. Розвиток ринку генерації енергії має характеризуватися безпечністю, екологічністю, адаптивністю, стабільністю, ефективністю (в т. ч. економічною), доступністю (у т. ч. соціальною) та прозорістю (рис. 3.1).

Важливість забезпечення адаптивності генераційних потужностей набула ознак актуалітету під призмою сучасних викликів та загроз, описаних у другому розділі. Під поняттям адаптивності ми розуміємо можливості і строки нарощування або зменшення потужностей, розгортання додаткових або нових потужностей, мобільність у системі генерації енергії. Якщо сукупні потужності об'єктів генерації енергії будуть недостатньо гнучкими, то виникнуть ситуації з можливим дефіцитом енергії, неможливістю задовольнити попит на енергію у періоди «пікових» запитів на неї; і протилежна ситуація, – не затребувана в повних обсягах згенерована енергія у періоди мінімальних запитів на її

споживання потребує техніко-технологічних рішень щодо її акумуляції для подальшого використання у періоди зростання попиту, рішень/можливостей для здійснення її експорту.

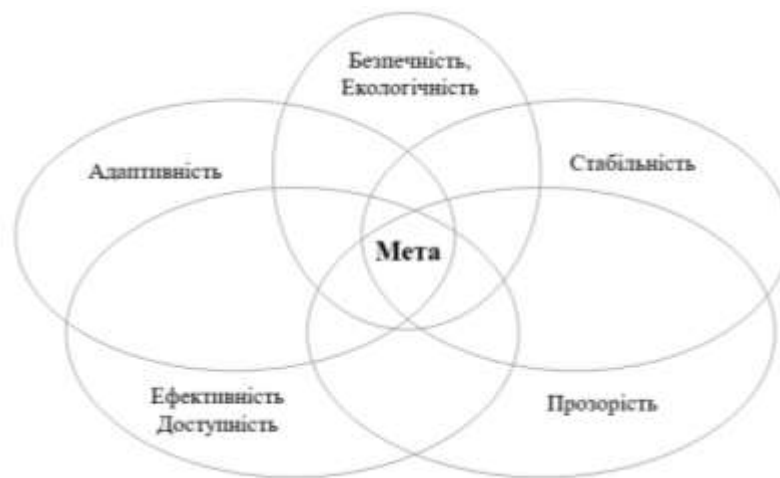


Рис. 3.1. Концептуальні характеристики розвитку енергетичного сектора на принципах сталості, сформовано автором.

Нарощення екологічно нейтральних джерел електроенергії, а також утилізація відпрацьованих частин і продуктів є важливими аспектами забезпечення екологічності розвитку енергетичного сектора. Стабільність розвитку енергетичної системи включає важливі аспекти безпечності генерації енергії, мереж та продуктів її діяльності, а також можливість видавати потужність незалежно від умов.

Синхронізація українського енергоринку з енергоринком ЄС⁷ посилила аспект стабільності та подальшого прозорого його функціонування, ринкового ціноутворення, запровадження інструментів управління ризиками, хеджування, розвитку відновлювальних джерел енергії і наближення України до цілей вуглецевої нейтральності. Також в рамках синхронізованого енергоринку

⁷ Енергосистема України більш ніж на рік раніше запланованого терміну була повністю синхронізована з енергомережею континентальної Європи ENTSO-E. Відповідне рішення було ухвалено об'єднанням системних операторів ENTSO-E 11 березня 2022 р. Пропрацювавши 21 день в ізолюваному режимі роботи, 16 березня 2022 р. відбулася одна з ключових подій: українська енергосистема була остаточно від'єднана від енергомереж Росії та Білорусі. Національна енергосистема об'єдналася з європейською мережею операторів системи передачі електроенергії ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). Попри повномасштабну війну, Україна з 30 червня 2022 р. розпочала експорт електроенергії з України до Європи після синхронізації, який припинився 11 жовтня 2022 р. (на наступний день після першої масованої російської атаки на об'єкти енергетичної інфраструктури України) [81].

створюються можливості адаптивності, експортуючи надлишок енергії при її незатребуваності на енергоринку України і навпаки, – імпортувати при недостатці генерації енергії вітчизняними потужностями.

Вирішення численних проблем функціонування енергетичної сфери та забезпечення її розвитку знаходиться у різних площинах (військово-політичній, техніко-технологічній, економічній) та на різних рівнях (на глобальному, національному, мікрорівні), які переплітаються та взаємодоповнюються. Критично важливим є питання щодо фізичного захисту об'єктів енергетики від ракетно-дронових атак, що лежить насамперед у військово-політичній площині вирішення. Економічна складова функціонування енергосистеми є дуже багатогранною. Вона включає також залучення інвестиційних та грантових коштів для відновлення пошкоджених об'єктів, застосування сучасних технологій, стимулювання розвитку стартап-проектів в енергетиці, ефективні рішення щодо диверсифікації розвитку ринку генерації енергії. Значний спектр питань потребує урегулювання на національному та глобальному рівні⁸.

Ключовим завданням Енергетичної стратегії України [110] є перетворення України на енергетичний хаб Європи, який допоможе континенту остаточно позбутися залежності від російського викопного палива завдяки виробленій в Україні чистій енергії. Згідно з ухваленою Енергетичною стратегією України до 2050 р. [110], енергетичний сектор має бути максимально наближений до кліматичної нейтральності; передбачено розвиток інноваційної та децентралізованої енергосистеми, повноцінне функціонування національних енергетичних ринків та їх інтеграція у міжнародні.

Парадигма розвитку енергетичного сектора на принципах сталості як комплексна концептуальна модель трансформації енергетики, має включати

⁸ Реагуючи на масштаби руйнувань об'єктів енергетики Верховна рада України запровадила інструменти сприяння відновленню енергетичної інфраструктури України (зокрема, звільнення від ввізного мита та ПДВ гідравлічних турбін, парових турбін, електрогенераторних установок, обладнання для побудови та відновлення електростанцій тощо). Тобто, на інституційному рівні здійснюється низка заходів для покращення умов функціонування енергетичного сектору та посилення економічної безпеки суб'єктів енергоринку. Реагуючи на виклики й потреби функціонування енергетичної системи, стало очевидним, що «Енергетична стратегія України до 2035 року» [111] потребувала змін. Тому Кабінет Міністрів України 21 квітня 2023 р. затвердив «Енергетичну стратегію України на період до 2050 року» [110], яка передбачає відновлення енергетичного сектору за найсучаснішими технологіями, зміцнення стійкості системи, посилення енергетичної безпеки України і європейського континенту в цілому.

перехід від вразливих централізованих систем до децентралізованої, низьковуглецевої, цифровізованої та стійкої енергетичної інфраструктури, здатної забезпечувати безперервність енергопостачання в умовах гібридних загроз, війни та руйнування об'єктів критичної інфраструктури. Така парадигма охоплює інтеграцію відновлюваних джерел енергії, розвиток мережевої гнучкості, використання інтелектуальних систем управління (розумних мереж (smart grid), систем реагування на попит (demand-response), систем накопичення енергії (energy storage)), формування високорівневої кібер- та фізичної безпеки, а також впровадження енергоефективних технологій відповідно до цілей Європейського зеленого курсу.

Сутність цієї парадигми полягає в переході від реактивного відновлення пошкоджених потужностей до стратегічного переосмислення архітектури енергетичного сектора на засадах стійкості, екологічної збалансованості, адаптивності та мінімізації залежності від викопних ресурсів. У її межах підсистеми енергетичного сектора (технічна, соціально-економічна, безпекова та екологічна) розглядаються інтегровано з функціонуванням територіальних громад, ринковими механізмами та глобальними екологічними зобов'язаннями.

Реалізація такого парадигмального підходу розвитку енергетичної системи забезпечує можливість створення енергетично автономних громад, формування стійких логістичних коридорів, зниження вразливості до атак, диверсифікацію джерел постачання, розвиток циркулярних технологій та подальшу інтеграцію з європейською енергосистемою через участь у спільних проєктах розвитку галузі тощо.

У таблиці 3.1 систематизовано основні структурні елементи парадигми розвитку енергетичного сектора на принципах сталості. Парадигма сталого розвитку енергетичного сектора в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення передбачає системну трансформацію архітектури енергосистеми, що ґрунтується на поєднанні децентралізації, цифровізації, низьковуглецевих технологій, кібер- та фізичної безпеки, інституційної модернізації та стратегічного планування.

Таблиця 3.1

Структурні елементи парадигми розвитку енергетичного сектора на принципах сталості, механізми їх реалізації та системні ефекти*

Структурний елемент парадигми	Ключові механізми та інструменти реалізації	Системні результати та ефекти для енергетичного сектора і держави
1	2	3
1. Децентралізація та підвищення гнучкості енергосистеми	Децентралізований розвиток розподіленої генерації на основі відновлюваних джерел енергії (СЕС, ВЕС, біоенергетика, малої гідрогенерації, модульна атомна генерація); формування smart microgrids та локальних енергетичних кластерів, інтегрованих у простір територіальних громад; впровадження систем накопичення енергії для згладжування пікових навантажень і підвищення керованості режимів; розвиток інфраструктури резервних та дублюючих потужностей у вразливих регіонах.	Зменшення вразливості енергосилової системи до фізичних, терористичних та воєнних атак; посилення енергетичної автономності територіальних громад та критичних об'єктів; зростання здатності системи до швидкого відновлення після пошкоджень (стійкості); зниження імовірності масштабів системних аварій завдяки локалізації ризиків і підвищенню гнучкості мережевої конфігурації.
2. Цифровізація та інтелектуалізація управління енергетикою	Впровадження smart grid з використанням цифрових платформ моніторингу та управління; автоматизація оперативно-диспетчерського управління на базі систем прогнозування попиту та генерації; застосування алгоритмів реагування на попит, інтелектуального вимірювання, систем управління навантаженням; використання технологій Інтернету енергії (ІоЕ) та великих даних (big data) для підтримки прийняття управлінських рішень у режимі реального часу.	Підвищення керованості та прогнозованості функціонування енергосистеми в умовах гібридних загроз; оптимізація балансу між виробництвом і споживанням енергії; скорочення технічних та комерційних втрат; зменшення операційних витрат енергокомпаній; формування передумов для переходу до управління big data енергетичного сектора.
3. Інтеграція відновлюваних джерел енергії та низьковуглецевих технологій	Масштабування використання ВДЕ (сонячної, вітрової, біо-, водневої та геотермальної енергії) як складової генеруючого балансу; модернізація та декарбонізація традиційної теплової генерації (впровадження вискоєфективних та газових технологій, спалювання біомаси, технологій уловлювання та зберігання вуглецю); розвиток водневих та інших перспективних низьковуглецевих рішень; стимулювання енергоефективності в промисловості, транспорті та житлово-комунальній сфері через регуляторні, податкові та фінансові інструменти.	Зниження вуглецевої інтенсивності енергетичного сектора та гармонізація з вимогами Європейського зеленого курсу; скорочення залежності від імпорту викопних енергоносіїв; посилення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля; створення передумов для доступу до «зеленого» фінансування, міжнародних грантових і кредитних програм відновлення.
4. Підвищення рівня фізичної та кібербезпеки енергетичної інфраструктури	Комплексна модернізація об'єктів критичної енергетичної інфраструктури з урахуванням стандартів безпеки (NERC CIP, ISO/IEC 27001 та ін.); впровадження багаторівневих систем кіберзахисту, резервування й сегментації інформаційно-управлінських систем; будівництво захисних інженерних споруд і дублюючих мережевих вузлів; створення системи безперервного моніторингу загроз та інцидентів у кібер- та фізичному просторі.	Зменшення ймовірності успішних кібератак, диверсій та терористичних актів щодо енергетичних об'єктів; підвищення стійкості енергосистеми до комбінованих (гібридних) загроз; забезпечення більшої надійності й безперервності енергопостачання для населення, бізнесу та оборонного комплексу; зміцнення довіри внутрішніх і зовнішніх стейкхолдерів до енергетичної інфраструктури держави.

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
5. Розвиток ринкових механізмів регулювання та Європейська інтеграція	Розвиток конкурентних сегментів ринку електроенергії, газу та супутніх послуг (балансуючий ринок, ринок допоміжних послуг, біржова торгівля); запровадження механізмів ціноутворення, що відображають реальні витрати та екологічні зовнішні ефекти (ETS, CBAM, «зелені» сертифікати); посилення регуляторної прозорості та незалежності регуляторних органів; поглиблення інтеграції з європейським енергетичним простором, реалізація спільних проєктів.	Залучення довгострокових інвестицій у модернізацію та відновлення енергетичної інфраструктури; підвищення економічної ефективності функціонування сектора; формування прозорих і прогнозованих умов для учасників ринку; прискорення технологічного оновлення та інноваційного розвитку енергетики в логіці європейської інтеграції.
6. Інституційна модернізація та інтегроване стратегічне планування	Реформування системи управління державними енергетичними компаніями на засадах корпоративного врядування та підзвітності; розроблення та реалізація довгострокових стратегій стійкого відновлення енергетики з урахуванням воєнних, кліматичних і технологічних ризиків; впровадження сучасних інструментів сценарного планування та управління ризиками; інституціоналізація участі громад, бізнесу та експертного середовища у формуванні енергетичної політики.	Зниження системних та управлінських ризиків у функціонуванні енергетичного сектора; посилення прозорості прийняття рішень і підвищення рівня довіри суспільства до енергетичної політики держави; формування узгодженої післявоєнної траєкторії відновлення та модернізації галузі; підвищення ефективності використання бюджетних, донорських і приватних ресурсів.
7. Формування енергетичної інфраструктури майбутнього в контексті післявоєнного відновлення	Комплексна модернізація магістральних і розподільчих мереж з урахуванням перспективних навантажень і можливих сценаріїв руйнувань; розвиток інтерконекторів з країнами ЄС/ модернізація транспортних коридорів для підвищення маневреності та диверсифікації постачань; впровадження принципів циркулярної економіки у видобутку, переробці та генерації енергії; інтеграція оцінки кліматичних, техногенних і воєнних ризиків у процеси проєктування та експлуатації об'єктів.	Формування оновленої, більш стійкої та інноваційної енергетичної інфраструктури, здатної витримувати тривалі кризові впливи; підвищення рівня енергетичної безпеки держави та її партнерів; забезпечення передумов для прискореного соціально-економічного відновлення країни; посилення внеску енергетичного сектору в досягнення цілей сталого розвитку й довгострокової конкурентоспроможності України.

*систематизовано автором.

Децентралізація енергосистеми стає одним із ключових елементів сучасної парадигми, оскільки передбачає перенесення акценту на розвиток розподіленої генерації, формування smart grid та локальних енергетичних кластерів, а також інтеграцію систем накопичення енергії. Така конфігурація значно підвищує стійкість енергетики до фізичних атак, дає змогу локалізувати аварійні зони та забезпечує автономність територіальних громад і критичних об'єктів навіть за умов тривалих ушкоджень магістральних мереж.

Фундаментальним компонентом парадигми є цифровізація та інтелектуалізація процесів управління енергетикою. Складові елементи

цифрових технологій та їх значимість у системі забезпечення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку описано у таблиці І.1 додатку І.

Впровадження технологій smart grid, автоматизація оперативно-диспетчерського управління, застосування систем прогнозування навантаження та алгоритмів реагування на попит формують більш гнучку, чутливу та керовану енергосистему. Цифрові платформи моніторингу та використання великих масивів даних забезпечують швидке реагування на нестандартні ситуації, підвищують точність балансування системи та дозволяють мінімізувати технічні й комерційні втрати.

Траєкторію довгострокового екологічного та економічного розвитку енергетичного сектора визначає посилення значимості відновлюваних джерел енергії та низьковуглецевих технологій. Масштабування сонячної, вітрової, біо- та геотермальної генерації, декарбонізація теплової енергетики, розвиток водневих технологій створюють підґрунтя переходу до стійкої, екологічно збалансованої енергосистеми. Ці рішення забезпечать зменшення залежності від імпорту викопних енергоносіїв, підвищення енергетичної незалежності держави та залучення міжнародних фінансових інструментів «зеленого» відновлення.

У контексті тривалої гібридної війни особливої ваги набуває підвищення фізичної та кібернетичної безпеки енергетичної інфраструктури, зміцнення кіберзахисту, підвищення стійкості до кібератак. Модернізація мережевих вузлів, запровадження дублювання критичних елементів, використання захищених цифрових протоколів, імплементація стандартів NERC CIP та ISO/IEC 27001, а також створення багаторівневих систем кіберзахисту зменшують ймовірність успішних атак і диверсій. Зміцнення безпекової складової енергосистеми забезпечує більш високу надійність енергопостачання, що має ключове значення для функціонування оборонного сектору, промисловості, громад та гуманітарних об'єктів.

Суттєвим елементом парадигми є інтеграція енергетичного сектора України до європейського енергетичного простору, розвиток ринкових механізмів регулювання, лібералізація торгівлі електричною енергією та газом, а

також впровадження інструментів, які враховують екологічні зовнішні ефекти, зокрема CBAM, ETS, «зелені» сертифікати. Це сприяє формуванню прозорого та конкурентного ринку, створює привабливе середовище для інвесторів і каталізує технологічні інновації. Поглиблення інтеграції з країнами ЄС також посилює маневреність, стійкість та інтегрованість української енергосистеми.

Інституційна модернізація та стратегічне планування формують управлінську основу сучасної парадигми. Удосконалення системи корпоративного управління енергетичних компаній, впровадження сучасних інструментів управління ризиками, розроблення довгострокових стратегій стійкого розвитку та залучення громад до процесу планування забезпечують підвищення прозорості, підзвітності та ефективності управління, що важливо для забезпечення ефективного розподілу обмежених ресурсів.

Формування енергетичної інфраструктури майбутнього передбачає переосмислення архітектури енергетики з урахуванням потенційних сценаріїв руйнувань, кліматичних та технологічних ризиків. Комплексна модернізація магістральних і розподільчих мереж, розвиток інтерконекторів з ЄС, інтеграція циркулярних технологій у видобуток, переробку та генерацію енергії, а також урахування ризиків бойових дій у процесах проектування стають необхідною умовою створення стійкої енергетичної системи. Такий підхід дає змогу забезпечити не лише швидке відновлення пошкоджених елементів інфраструктури, але й побудувати сучасну модель енергетики, здатну витримувати тривалі кризові навантаження та забезпечувати довгострокову конкурентоспроможність країни.

Отже, наведені структурні елементи парадигми сталого розвитку енергетичного сектора формують цілісну модель, у межах якої енергетика розглядається як ключовий компонент економічної та в цілому національної безпеки, як основа сталого розвитку розвитку усіх галузей національної економіки та життєдіяльності людей. Окремі напрями, які обумовлюють реалізацію цієї парадигми відображені у працях українських науковців [70, 119, 136; 189], які наголошують на необхідності комплексної модернізації

енергетичного сектора, зміцнення інституційної спроможності, розширення децентралізованої генерації та розвитку інноваційних механізмів управління енергетичною безпекою.

Сформований ланцюг цінності сталого розвитку енергетичного сектора (рис. 3.2) відображає системну логіку перетворень, де кожен наступний рівень базується на результатах попереднього, формуючи інтегровану модель стійкості в умовах війни та післявоєнного відновлення. Ланцюг цінності сталого розвитку енергетичного сектора являє собою інтегровану, багатоетапну модель формування стратегічних, технологічних та соціально-економічних результатів, що забезпечують стійкість енергосистеми в умовах гібридних загроз, воєнних руйнувань і повоєнного відновлення. Його сутність полягає у послідовній трансформації управлінських, інституційних, технологічних, безпекових, інноваційних та ринкових процесів, кожен з яких створює специфічну додану цінність і формує передумови для наступного етапу. Така логічна послідовність дозволяє розглядати енергетичний сектор не як сукупність окремих інфраструктурних компонентів, а як цілісну систему, у якій політика, технології, ринки та безпекові механізми взаємовпливають одне одного.

У структурному вимірі ланцюг цінності охоплює інституційно-управлінський блок, що забезпечує нормативну визначеність; технологічно-інфраструктурний блок, який формує операційну спроможність; безпековий блок, що гарантує стійкість; еколого-інноваційний блок, орієнтований на довгостроковий розвиток та інтеграційно-економічний блок, який забезпечує інтеграцію України до європейського енергетичного простору, реалізацію спільних проєктів, залучення інвестицій. Саме взаємодія цих блоків створює кумулятивний ефект формування енергетичної безпеки, автономності громад, інвестиційної привабливості та низьковуглецевості.

Фундаментом ланцюга цінності є інституційно-управлінський блок, який забезпечує політичну, нормативну й стратегічну визначеність, без якої неможливе узгоджене функціонування енергетичної системи.

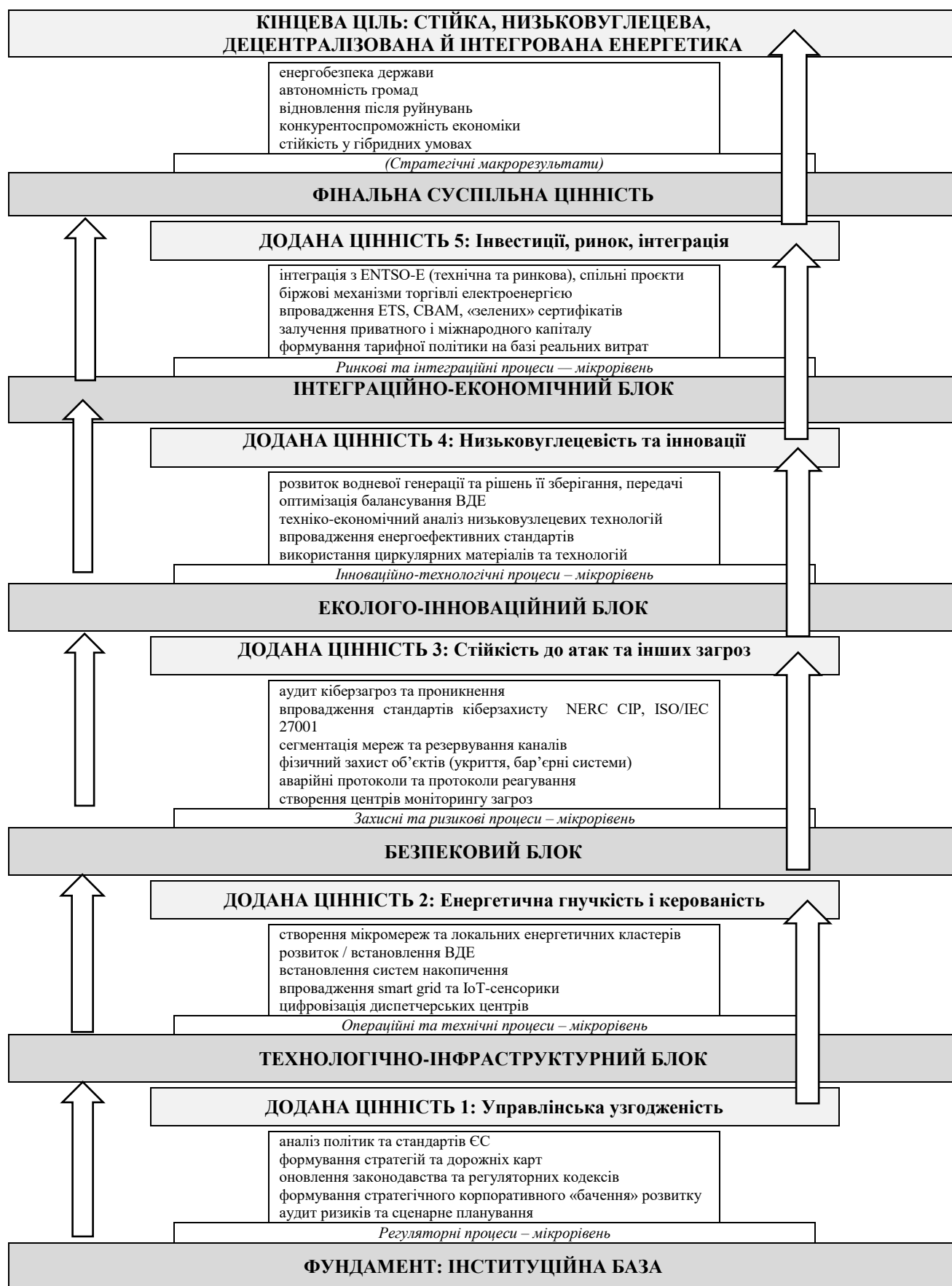


Рис. 3.2. Ланцюг створення цінності сталого розвитку енергетичного сектора, сформовано автором.

Саме оновлення законодавства, гармонізація з нормами ЄС, формування стратегічного корпоративного бачення та стратегій розвитку створюють передумови для керованості сектору, оскільки формують стандарти, правила та довгострокові орієнтири. Унаслідок цього виникає перша додана цінність – управлінська узгодженість, яка забезпечує передбачуваність регуляторного середовища та створює основу прийняття ефективних рішень.

На основі сформованої нормативно-інституційної платформи розгортається технологічно-інфраструктурний блок, який визначає операційну здатність енергетичної системи адаптуватися до викликів війни та гібридних загроз. Оскільки нормативні рішення задають рамки модернізації, саме вони ініціюють процеси моделювання конфігурації мереж, встановлення розподіленої генерації, впровадження мікромереж і систем накопичення енергії. Упроваджені smart grid технології й цифрові платформи управління виникають як прямий наслідок потреби підвищення керованості та гнучкості системи, що є критично важливими за умов руйнування інфраструктури. Таким чином, технологічна модернізація стає можливою саме завдяки інституційній визначеності, а її результатом є друга додана цінність – зростання гнучкості, керованості та стійкості енергосистеми.

Утім, підвищення технологічної складності та цифрової інтегрованості неминуче зумовлює збільшення потреби в безпекових механізмах. Тому безпековий блок логічно впливає з попередніх етапів, оскільки саме складніші та більш децентралізовані системи потребують багаторівневого фізичного та кіберзахисту. Підвищення навантаження на цифрові канали зв'язку та впровадження smart grid створюють нові вектори можливих атак, що робить необхідним застосування стандартів NERC CIP, ISO/IEC 27001, сегментацію мереж, побудову резервних вузлів та застосування інженерних методів фізичного захисту. Усе це формується як відповідь на загрози воєнного часу та є прямим наслідком технологізаційних зрушень. Результатом є третя додана цінність – здатність системи витримувати гібридні атаки, зберігаючи функціональність у критичних умовах.

Зміцнена й захищена інфраструктура створює можливість переходу до довгострокової траєкторії розвитку (еколого-інноваційний блок). Оскільки система стає достатньо стабільною, виникають умови для впровадження водневих технологій, циркулярних процесів, оптимізації ВДЕ та масштабування енергоефективності. Іншими словами, без стійкої, захищеної та децентралізованої бази інноваційна трансформація була б уразливою і неефективною. Саме тому еколого-інноваційні процеси є наслідком попередніх блоків і водночас причиною формування низьковуглецевості, інноваційності і відповідності глобальним екологічним вимогам (четверта додана цінність).

На основі екологічно модернізованої та технологічно зміцненої системи (відповідності технологічним, безпековим і екологічним вимогам ЄС) можлива ефективна інтеграція до європейського енергетичного ринку, рівноправна та взаємовигідна реалізація проєктів розвитку. Упровадження ETS, CBAM, механізмів біржової торгівлі та лібералізації ринку відбувається як наслідок попередніх етапів, які забезпечують належну якість інфраструктури та прозорість управління. Інтеграційно-економічний блок, у свою чергу, генерує доступ до інвестицій, розширює ринкові можливості та підвищує економічну стійкість держави. Таким чином, п'ята додана цінність полягає у зміцненні ринкової та інвестиційної спроможності енергетичної системи.

Синергія усіх етапів ланцюга цінності формує суспільну стратегічну цінність – енергобезпеку держави, енергетичну автономність громад і здатність економіки функціонувати та відновлюватися навіть під впливом загроз, оскільки інтеграція, інновації, безпека, технологічна модернізація та інституційне врядування посилюють одна одну. Причинно-наслідкові зв'язки трансформують енергетику в стійку, децентралізовану, низьковуглецеву та конкурентоспроможну систему, здатну забезпечувати стратегічні інтереси держави у воєнний та післявоєнний періоди.

Для забезпечення доступних, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх, підвищення енергоефективності, забезпечення енергетичної безпеки необхідно:

- створити умови для зростання виробництва енергії та її надійного і сталого постачання споживачам (населенню, комунальному та виробничому секторам, сектору надання послуг);
- забезпечити диверсифікацію постачання первинних енергоносіїв, унеможливити імпорт первинних ресурсів з однієї країни/компанії;
- максимально використовувати природні можливості, збільшити виробництво та використання енергії з відновлюваних джерел;
- розробляти ефективні програми і реалізовувати заходи з підвищення енергозбереження та енергоефективності усіх секторів економіки шляхом модернізації, у т. ч. житлового фонду, який потребує термічної модернізації.

Україна традиційно належить до держав із високим рівнем розвитку атомної енергетики, що зумовлено значним інтелектуальним потенціалом фахівців галузі та наявністю АЕС. Існуючі технологічні можливості створюють передумови для подальшого спорудження нових енергоблоків та нарощування обсягів чистої атомної генерації. Водночас питання будівництва нових об'єктів атомної енергетики у сучасних умовах набуває дискусійного характеру, до того ж, додається питання потреб великого фінансування. Досвід окупації та воєнного тиску на ЗАЕС продемонстрував вразливість великих централізованих потужностей, які, опинившись під загрозою обстрілів, мінування та інших форм воєнного шантажу, перетворюються на фактор високих ризиків загальнонаціонального та глобального масштабу. За таких умов найбільш раціональним підходом є продовження строків експлуатації наявних атомних електростанцій за умови відповідної модернізації та дотримання високих стандартів безпеки, водночас спрямовуючи зусилля на розвиток міні атомних реакторів та відновлювальної енергетики. У цьому контексті розвиток міні атомних реакторів, інноваційні технології спорудження яких набувають масштабів, електростанцій на відновлюваних джерелах енергії видається більш стійкою альтернативою, оскільки їх територіальна розосередженість істотно знижує ризики одномоментної втрати великих обсягів генерації.

Стратегічна трансформація енергетичного сектору України має передбачати максимально повне використання природних умов, що сприяють генерації енергії з вітрових, сонячних та біо-ресурсів. Крім того, результати досліджень швейцарської компанії Lazard підтверджують стійку тенденцію до зниження вартості електроенергії, виробленої з відновлювальних джерел, на тлі зростання собівартості традиційної генерації (рис. 3.3).

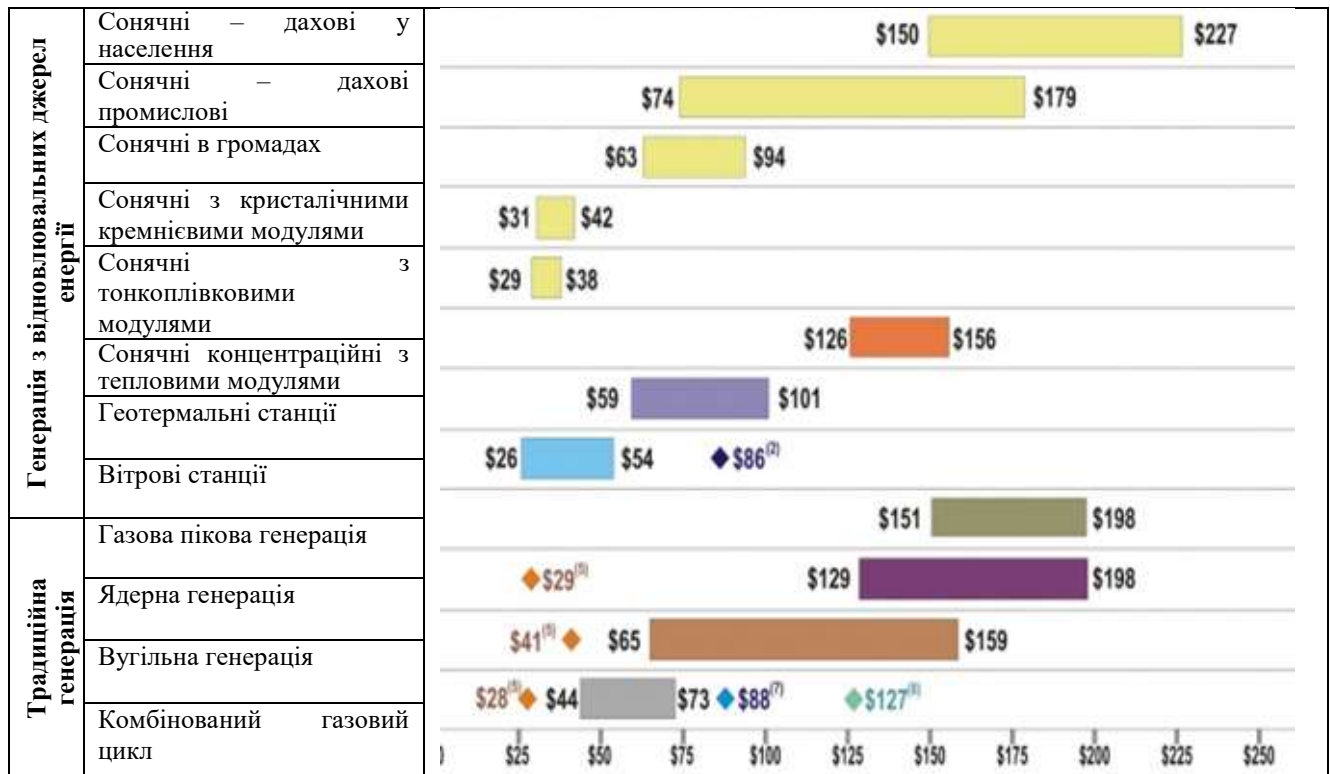


Рис. 3.3. Приведена вартість електроенергії від генерації різного типу, сформовано автором на основі [145].

Уряди більшості країн реалізують програми розвитку відновлювальних джерел енергії для посилення енергетичної безпеки. Інвестиції у розвиток відновлювальної енергетики сьогодні є пріоритетним вектором інвестування для багатьох країн (особливо в ЄС). ЄС є світовим лідером у офшорній вітровій енергії з потужностями морської вітрової енергії 16 ГВт. Орієнтирами розвитку вітрової енергії ЄС є досягнення 60 ГВт до 2030 р. і 300 ГВт до 2050 р.. Розвиток офшорної вітроенергетики США передбачає збільшення її обсягів до 30 ГВт до 2030 р.. Великобританія спрямовує зусилля на розвиток атомної, офшорної вітрової та водневої енергетики (до 2030 р. заплановано наростити обсяги

офшорної вітроенергетики до 50 ГВт). Стимулюючи розвиток відновлювальних джерел енергії, Польща збільшила бюджет фінансування геотермальних технологій до 480 млн злотих [20].

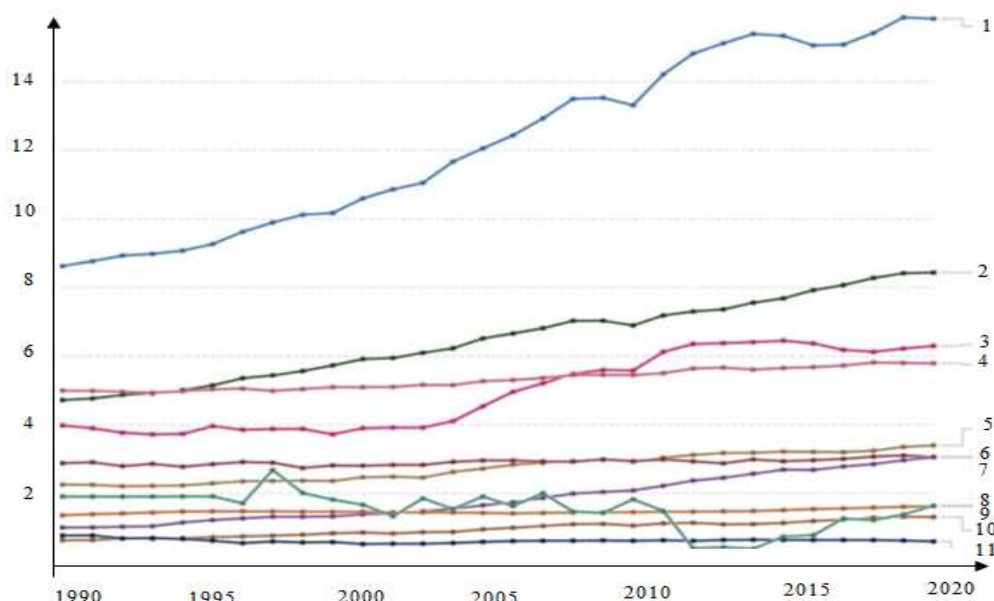
Тобто, на розвиток відновлювальної енергетики впливають різні чинники (зокрема, державна політика, державне стимулювання розвитку, рівень розвитку технологій), а також перший обумовлює запити виробництва відповідного обладнання, зокрема, сонячних панелей. Тому компаніям необхідно розвивати/нарощувати свої можливості для задоволення відповідного попиту.

Зміни клімату, втрата біорізноманіття, виснаження природних ресурсів та забруднення навколишнього середовища є проблемами глобального характеру. Умови навколишнього середовища, параметри екології Всесвітньою організацією охорони здоров'я віднесено до ряду найвагоміших чинників, які впливають на здоров'я людини, що актуалізує питання розвитку усіх галузей економіки та організацію життєдіяльності людей на принципах сталості⁹.

Інформативними є результати дослідження в розрізі галузей, які представлені на рис 3.4. Як бачимо, найбільше викидів здійснюється паливно-енергетичним комплексом. Тому особливо актуальними є питання декарбонізації, здійснення ефективних заходів зі скорочення викидів [27]. ЄС, реалізуючи Європейський зелений курс [56] та глобальні кліматичні заходи згідно з Паризькою угодою [97], прагне досягнути кліматичної нейтральності до 2050 р.; передбачається поглинання екосистемами та технологіями уловлювання і зберігання вуглецю усіх викидів парникових газів, спричинених людською діяльністю. Послідовна реалізація політики кліматичної нейтральної економіки ЄС вже призвела до скорочення викидів парникових газів у 2020 р. на 27%

⁹ Наслідки зміни клімату вже не є лінійними. Подальше підвищення температури призведе до збільшення кількості негативних природних явищ, підсилюючи інтенсивність хвиль тепла та повеней, пожеж, нагрівання океану та затоплення окремих частин суші. Викиди парникових газів протягом 2010-2019 рр. були вищими ніж у будь-якому попередньому десятиріччі, але середньорічні темпи зростання впродовж 2010-2019 рр. (1,3% / рік) були нижчими, ніж впродовж 2000-2009 рр. (2,1% / рік). Міжурядова група експертів з питань зміни клімату в оприлюдненому звіті [179] зазначає, що глобальна температура зросла приблизно на 1,1°C у 2011-2020 рр. порівняно з 1850-1900 рр. Зростання температури складало (1,09 [0,95–1,20]°C) із більшим підвищенням температури над сушею (1,59 [1,34–1,83]°C), ніж над океаном (0,88 [0,68 до 1,01]°C). Експерти зазначають, що глобальне потепління спричинене діяльністю людини, парниковими газами, в яких переважають CO₂ і CH₄ (метан). При існуючих тенденціях обсягів викидів парникових газів очікується, що світ пройде температурний поріг зростання температури 1,5°C до 2030-х рр. [194].

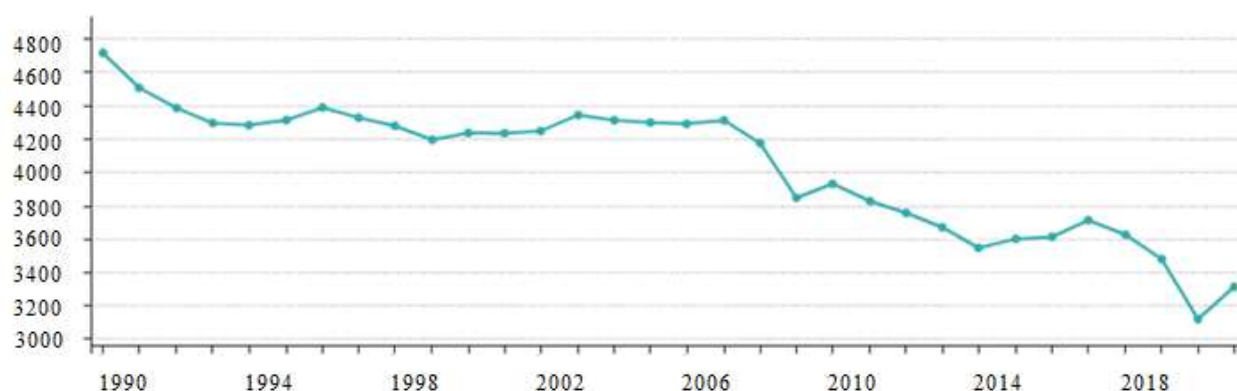
порівняно з 2005 р. [215] (рік початку роботи Системи торгівлі викидами в ЄС). При цьому економіка ЄС зросла на 23% за 15 років, а ВВП збільшився з 11,9 трлн дол у 2005 р. до 15,4 трлн дол у 2020 р. [216].



*1 – електрика та тепло; 2 – транспорт; 3 – виробництво та будівництво; 4 – сільське господарство; 5 – неконтрольовані викиди; 6 – будівлі; 7 – промисловість; 8 – зміна землекористування та лісове господарство; 9 – відходи; 10 – авіація та судноплавство; 11 – спалювання іншого палива.

Рис. 3.4. Викиди парникових газів за секторами економіки у світі, CO₂, млрд. т., [286].

Динаміку чистих викидів парникових газів у ЄС відображено на рис. 3.5.



*Індекс 1990 р. = 100

Рис. 3.5. Тренд чистих викидів парникових газів ЄС (у т. ч. міжнародної авіації, включаючи LULUCF) за період 1990-2021 рр., [215].

Європейський зелений курс передбачає підвищення ефективності використання ресурсів, відновлення біорізноманіття та зменшення забруднення, перехід до циркулярної економіки, реалізацію системи заходів, спрямованих на розвиток економіки, який охоплює сектори, зокрема, транспорт, енергетику, сільське господарство, будівництво та промисловість. Згідно Плану дій ЄС до 2030 р. в рамках Європейського зеленого курсу встановлено мету скоротити викиди на 55% порівняно з обсягами 1990 р. [95]. Пакет «Fit for 55» [95] включає законопроекти, зокрема щодо оподаткування енергоносіїв, стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії, енергоефективності.

Перехід до кліматично нейтральної економіки є викликом для модернізації галузей економіки, переосмислення ролі кожного члена суспільства, яка має виражатися у відповідних рішеннях та діях, але одночасно й можливість забезпечення розвитку на принципах сталості. Україна проголосила про намір досягти кліматичної нейтральності до 2060 р. Станом на 2021 р. Україна скоротила обсяги викидів на 62,5% від їх рівня 1990 р., проте, такий результат був обумовлений насамперед суттєвим зменшенням обсягів промислового виробництва відносно 1990 р. До 2030 р. передбачено скоротити викиди парникових газів до рівня 35% порівняно з 1990 р. [129]. Попри виклики війни, деякі ініціативи щодо декарбонізації впроваджуються на національному рівні. Зокрема, у 2023 р. був створений Державний фонд декарбонізації та енергоефективної трансформації, закумульовані кошти якого передбачено спрямувати на розвиток відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів палива і заходи скорочення викидів парникових газів. Надходження до Фонду поступають насамперед від великих промислових підприємств, які сплачують податок на викиди CO₂, планується залучення міжнародних кредитів та грантів [129].

Для України перехід від централізованої, уразливої й високовуглецевої моделі до децентралізованої, інноваційної та низьковуглецевої енергетики, формує стійкість держави в умовах воєнних та гібридних загроз [201]; роззосереджені джерела генерації, на відміну від великих централізованих

потужностей, є значно менш уразливими до воєнних атак та одночасного виведення з ладу [35]. У цьому контексті декарбонізація стає не просто екологічною метою, а ключовим безпековим інструментом [153].

Основні інструменти досягнення кліматичної нейтральності в енергетиці, систематизовано нами у таблиці 3.2.

Запропонована система інструментів досягнення кліматичної нейтральності в енергетичному секторі відображає комплексний та багаторівневий підхід, який поєднує технологічні, інституційні, економічні та екологічні механізми трансформації. Її вихідною передумовою є декарбонізація генерації, яка забезпечується шляхом масштабування відновлюваних джерел енергії, поступового виведення з експлуатації вугільних потужностей та використання високоефективної газової генерації як тимчасового перехідного рішення.

Електрифікація кінцевого споживання та інтеграція секторів енергетики дає змогу суттєво знизити викиди в транспорті, промисловості та житлово-комунальній сфері. Електрифікація транспорту через розвиток електромобілів, перехід промисловості до електричних технологій та широке впровадження теплових насосів дозволяє перевести енергоспоживання в сектор, який можна повністю декарбонізувати за рахунок ВДЕ. Інтеграційні технології перетворення енергій забезпечують додаткову гнучкість системи, покращуючи балансування. Цифровізація та модернізація енергосистеми, впровадження smart grid та сучасних систем диспетчеризації дають можливість забезпечити синхронну роботу складної мережевої інфраструктури.

Впровадження систем накопичення енергії, включно з гібридними технологіями зберігання (технічні рішення щодо них активно розвиваються) є важливими для максимально ефективного використання змінних параметрів сонячної та вітрової генерації, а механізми реагування на попит зменшують потребу у піковій генерації, що традиційно є найбільш вуглецевомісткою.

Таблиця 3.2

Основні інструменти досягнення кліматичної нейтральності в енергетичному секторі*

Група інструментів	Інструменти	Ефект для кліматичної нейтральності
1. Декарбонізація генерації та трансформація паливного балансу	Масштабування ВДЕ (СЕС, ВЕС, геотермальна, біоенергетика); виведення з експлуатації вугільних потужностей; впровадження високоефективної газової генерації як перехідного рішення	Передбачає системне скорочення частки викопних ресурсів та заміщення їх нульвуглецевими або низьковуглецевими технологіями. Наукові дослідження доводять, що стабільне нарощування ВДЕ зменшує інтенсивність викидів CO ₂ у структурі генерації та формує довгострокові передумови для кліматичної нейтральності. Виведення вугільних потужностей мінімізує найбільш вуглецевомісткі джерела енергії, тоді як газова генерація відіграє роль перехідного «містка», знижуючи загальну карбонатність системи.
2. Електрифікація та секторна інтеграція	Електрифікація транспорту та промисловості; перехід до теплових насосів у побутовому та тарифному секторі; інтеграція енергетичних секторів (перетворення в системах електроенергії, газу, тепла)	Електрифікація є базовим механізмом зменшення кінцевих викидів, оскільки переводить енергоспоживання в сектор, який можна декарбонізувати. Технології перетворення забезпечують системну гнучкість, узгоджуючи баланс між генерацією й попитом. Промислова електрифікація у поєднанні з чистою генерацією формує цикли зниження викидів.
3. Цифровізація, гнучкість та модернізація енергосистеми	Smart grid та інтелектуальні системи диспетчеризації; системи накопичення енергії, гібридні сховища; автоматизовані технології реагування на попит	Цифровізація дозволяє координувати генерацію, мінімізувати втрати та забезпечувати оптимальну роботу мереж у режимі реального часу. Дослідження показують, що без накопичувачів неможливо досягти високих рівнів генерації ВДЕ, адже вони вирівнюють часові коливання генерації. Системи «реагування на попит» зменшують потребу у піковій викопній генерації, скорочуючи непродуктивні викиди.
4. Воднева технологічна платформа та інноваційні рішення	Виробництво «зеленого» водню; декарбонізація сталеливарної, хімічної та цементної промисловості через водень; створення інфраструктури H ₂ (трубопроводи, сховища)	Водень розглядається як ключовий елемент кліматичної нейтральності для важко декарбонізованих секторів. «Зелений» водень дає можливість замінити викопні відповідники у промислових процесах, тим самим радикально знижуючи промислові викиди. Інфраструктурні проекти H ₂ інтегрують енергосистему в європейський ринок та формують стійкість за рахунок диверсифікації.
5. Підвищення енергоефективності («енергія як ресурс»)	Модернізація будівель, глибока реконструкція, будівлі «нульового рівня споживання енергії» (NZEB); високоефективні електродвигуни та промислові системи; скорочення технічних і комерційних втрат у мережах	Енергоефективність – найдешевший інструмент зменшення викидів, оскільки скорочує попит на первинну енергію. Підходи NZEB та промислова модернізація знижують навантаження на систему, тим самим забезпечуючи декарбонізацію. Зменшення мережових втрат є важливим елементом переходу до кліматично нейтральної системи, оскільки мінімізує непродуктивне використання ресурсів.
6. Циркулярна енергетика та декарбонізація матеріальних циклів	Біоенергетика на принципах циркулярної економіки; використання відходів як енергоресурсу; рециклінг критичних матеріалів для ВДЕ та батарей	Циркулярні технології мінімізують вплив енергетики на довкілля та скорочують викиди протягом життєвого циклу енергетичних технологій. Біоенергетика з замкненими циклами забезпечує вуглецеву нейтральність завдяки природному поглинанню CO ₂ , а функціонування на принципах циркулярної економіки знижує потребу у викопному паливі та зменшує кількість відходів. Відновлення критичних матеріалів інтенсивного використання (літій, кобальт, рідкоземельні метали) забезпечує сталість інфраструктури ВДЕ.
7. Інституційні та ринкові механізми кліматичної трансформації	Європейська система торгівлі викидами (ETS); вуглецеві податки та механізми СВМ; «зелені» сертифікати, гарантії походження, зелені тарифи	Інституційні механізми створюють економічні стимули для скорочення викидів. ETS забезпечує внутрішню ціну на CO ₂ та стимулює інновації. Механізм СВМ запобігає «вуглецевому витоку», вирівнюючи конкурентні умови з ЄС. «Зелені» сертифікати та гарантії походження стимулюють підприємства інвестувати у чисті технології.
8. Розвиток інтегрованих енергетичних ринків і систем	Подальша інтеграція з ENTSO-E та розширення інтерконекторів; біржові ринки електроенергії та гнучких послуг; регіональні кліматично нейтральні альянси	Інтегровані ринки знижують вартість перехідних технологій та дозволяють балансувати систему на регіональному рівні. Єдина система ENTSO-E полегшує балансування ВДЕ та зменшує потребу у резервній викопній генерації. Біржові інструменти забезпечують прозорість та підвищують інвестиційний інтерес до кліматично нейтральних технологій.

*систематизовано автором.

Особливої ваги у структурі інструментів набуває розвиток водневої енергетичної платформи, яка є незамінною для декарбонізації «важких» секторів (хімічної, цементної та металургійної промисловості). Виробництво «зеленого» водню на основі ВДЕ відкриває можливість заміни викопних відновників, що суттєво зменшує промислові викиди [69; 70; 142; 143]. Формування водневої інфраструктури (трубопроводів, сховищ та логістичних вузлів) створює новий інноваційний кластер, що має системний вплив на розбудову низьковуглецевої економіки.

Важливою складовою досягнення кліматичної нейтральності є підвищення енергоефективності, яке розглядається як «перший паливний ресурс». Модернізація будівель відповідно до стандартів NZEB, зниження втрат у мережах та впровадження високоефективного перетворення енергії у промисловості дозволять зменшити навантаження на енергосистему.

Суттєвою складовою архітектури кліманейтральності є циркулярна енергетика, яка забезпечує зменшення викидів протягом усього життєвого циклу енергетичних технологій. Біоенергетика, що працює за принципами циркулярної біоекономіки, забезпечує майже нульовий баланс CO₂ завдяки природним механізмам поглинання. Використання відходів як енергоресурсу дозволяє зменшити обсяги утилізації перших та скоротити використання викопних. Рециклінг критичних матеріалів для батарей і засобів ВДЕ є передумовою довгострокової стійкості енергетичної інфраструктури та зменшує екологічний слід технологій. Інституційні та ринкові механізми створюють економічні стимули для декарбонізації. Європейська система торгівлі викидами формує внутрішню ціну на CO₂, сприяє інноваціям та робить викиди економічно не вигідними. Впровадження вуглецевих податків та механізму СВМ вирівнює умови конкуренції з ЄС та запобігає переміщенню виробництва у країни з менш жорсткими кліматичними нормами. Механізми «зелених» сертифікатів та гарантій походження електроенергії стимулюють підприємства інвестувати у ВДЕ, зміцнюючи ринкову основу кліманейтральної енергетики. Розвиток інтегрованих енергетичних ринків та інфраструктури, реалізація спільних

проектів, розширення інтерконекторів та розвиток біржових ринків електроенергії дозволяє оптимізувати балансування системи на регіональному та міжнародному рівнях та підвищувати надійність енергосистеми, створити передумови для зниження витрат на переходу до декарбонізованих технологій.

Наведена система інструментів демонструє, що досягнення кліматичної нейтральності в енергетиці можливе за умови комплексної реалізації технологічних, інституційних та ринкових рішень, які взаємодіють між собою, формуючи єдину логіку/систему сталого енергетичного переходу.

Крім впровадження екологічно нейтральних електростанцій, важливим є питання утилізації відпрацьованих частин і продуктів, які можуть створювати небезпеку оточуючому середовищу. Тому при розробці проектів об'єктів генерації енергії варто прораховувати, планувати вирішення питань щодо переробки відпрацьованих матеріалів та/або утилізації комплектуючих по завершенню циклу відпрацювання відповідних об'єктів [38], що потребує застосування механізмів управління процесами утилізації відходів відновлювальних джерел енергії та суміжних енергетичних систем (рис. 3.6).

Згідно з даними [135] строк служби панелей сонячних електростанцій у середньому складає 20-25 років. СЕС можуть розбиратися на складові елементи (пластини кремнію, алюмінієву основу, полімерну підкладку та скло), які потенційно підлягають 100-й % переробці.

Оскільки поширення набули фотовольтаїчні СЕС, то їх складовими є акумулятори, з якими в Україні є проблеми утилізації. Акумулятори відносяться до другого класу небезпеки через вміст важких металів, лугів, кислот, тощо. Складність утилізації варіюється в залежності від виду пристрою. Зокрема, свинцево-кислотні акумулятори, строк служби яких до 5 років, переробляються ТОВ «Укрсплав», яке наразі знаходиться в процесі банкрутства. Щодо утилізації літій-іонних та літій-полімерних накопичувачів, строк експлуатації яких складає 20 років, то на разі в Україні немає компаній, які б спеціалізувалися на такій діяльності у промислових масштабах через відсутність попиту на такий вид діяльності.

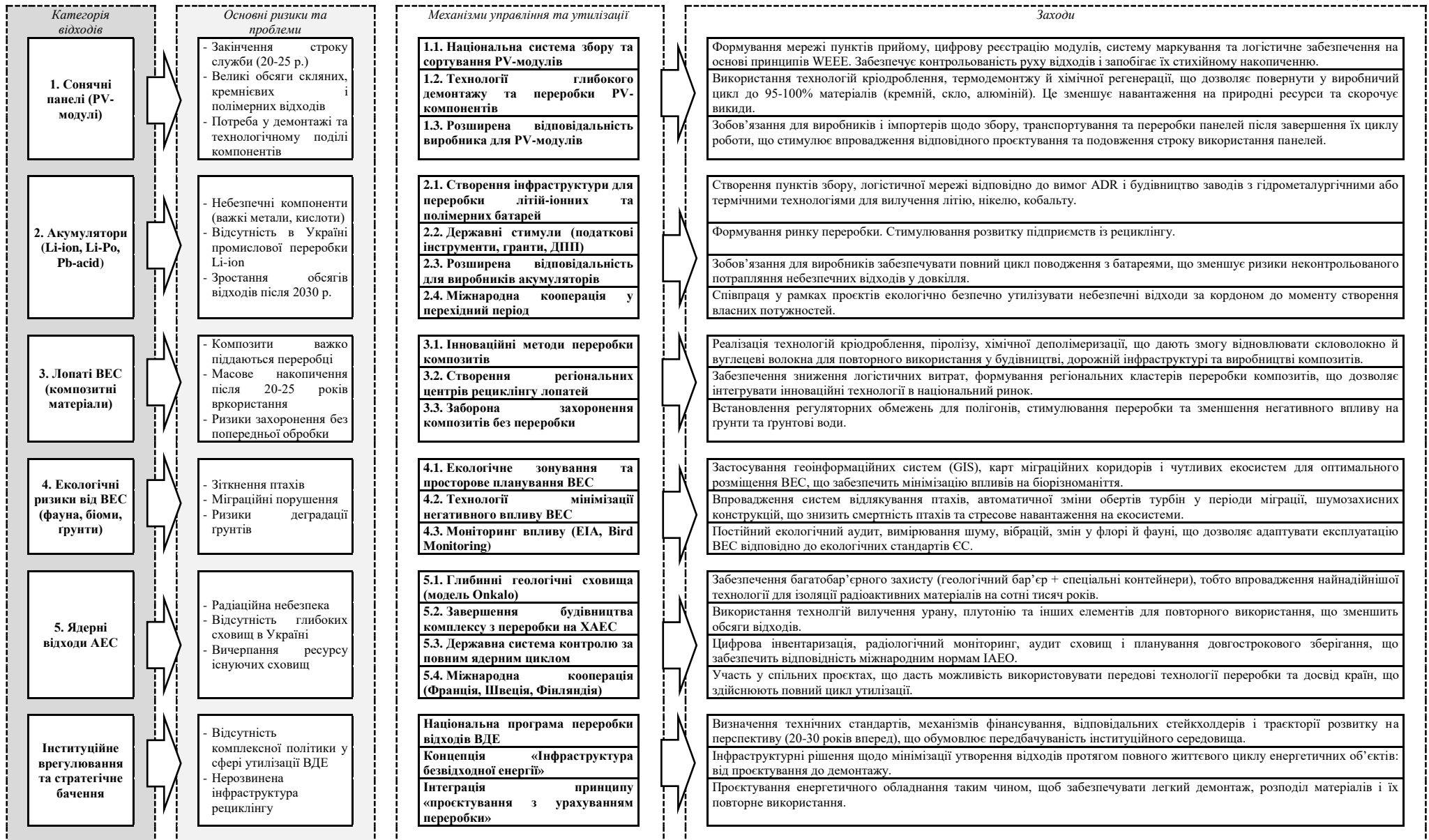


Рис. 3.6. Елементи системи управління процесами утилізації відходів відновлювальних джерел енергії та суміжних енергетичних систем, запропоновано автором.

Проте, останній набуде суттєвого рівня через 5-10 років, оскільки можемо спрогнозувати саме через такий період часу відпрацювання акумуляторів СЕС, збільшення використаних видів накопичувачів електротранспорту, кількість якого з року в рік зростає. [38]

У зв'язку з цим набуває значимості створення національної системи збору та сортування PV-модулів, що має забезпечити реєстрацію, відстеження та контрольований рух відпрацьованих панелей за зразком європейської моделі WEEE (у Європі процес утилізації та переробки акумуляторів за принципом розширеної відповідальності виробника покладається на компанію виробника, яка відслідковує життєвий цикл продукту). Така система створює умови для подальшої технологічної переробки матеріалів, адже сонячні панелі містять високий відсоток компонентів, придатних до повторного використання. Реалізація технологій глибокого демонтажу (термічного, кріо- або хімічного) дозволяє відновлювати кремній, алюміній, скло та полімери, що знижує навантаження на природні ресурси. Запровадження розширеної відповідальності виробника створює економічні стимули для удосконалення дизайну панелей, зменшення токсичних матеріалів і формування довговічних конструкцій.

Вітрові електростанції також формують специфічний тип відходів, передусім композитних лопатей, переробка яких є технологічно складною [73], але запити на переробку обумовлюють зародження стартап-проектів / підприємств відповідного профілю. Важливо впроваджувати інноваційні методи рециклінгу таких композитів, включно з піролізом, кріодробленням та хімічною деполімеризацією, що дають змогу отримувати вторинні матеріали для будівництва та промисловості. Створення регіональних хабів переробки лопатей знижує логістичні витрати та формує інноваційні кластери у сфері поводження з композитами. У поєднанні з регуляторною заборонаю захоронення неперероблених лопатей це сприятиме розвитку сталих технологічних рішень та зменшенню антропогенного навантаження на довкілля.

Крім матеріальних відходів, відновлювальна енергетика може чинити екологічний вплив на природні екосистеми [134]. Зокрема, вітрові електростанції

здатні впливати на міграцію птахів, структуру біомів і акустичне середовище. Для зменшення цих ризиків необхідним є запровадження стратегічного екологічного зонування, ґрунтованого на використанні геоінформаційних систем, карт міграцій та оцінки чутливості біотопів. Додаткового значення набуває застосування технологій мінімізації негативного впливу (адаптивне зниження швидкості обертів турбін під час пікових періодів міграції, системи відлякування птахів, шумозахисні рішення. Постійний екологічний моніторинг і аудит впливів гарантують своєчасне виявлення екологічних загроз.

Проблемним питанням є переробка і зберігання ядерних відходів атомних електростанцій. До 2022 р. Україна відправляла відпрацьоване ядерне паливо до РФ, де з нього видобували уран, плутоній та продукти розпаду для повторного використання, а до України поверталися залишки переробки на зберігання у сховищах. В Україні централізоване сховище відпрацьованого палива розташоване на території ЧАЕС, у якому накопичуються відходи трьох українських АЕС. Дане сховище не розраховане на довготривале зберігання, тому у майбутньому виникне питання про реновацію сховища. Серед Європейських країн переробкою ядерних відходів займається лише Франція. Щодо зберігання продуктів ядерного циклу, які не піддаються повторному використанню і переробці звертаємо увагу досвід Фінляндії. Створення глибинних геологічних сховищ за зразком фінської моделі Onkalo забезпечує багатобар'єрний захист протягом десятків тисяч років і є найбільш ефективним способом довгострокової ізоляції високоактивних матеріалів.

Завершення будівництва комплексу з переробки ядерних відходів на базі Хмельницької АЕС, термін здачі якого постійно переноситься через здорожчання проекту [115], дозволить зменшити обсяг високоактивних відходів шляхом вилучення корисних ізотопів, що повертаються у виробничий цикл. Для забезпечення довгострокової безпеки необхідна побудова комплексної системи державного контролю над повним ядерним циклом, включно з цифровою інвентаризацією та незалежним радіологічним моніторингом. На перехідному

етапі доцільною є міжнародна співпраця з країнами, що мають розвинені технології переробки.

Блок інституційного врегулювання та стратегічного бачення управління відходами є фундаментальним у вирішенні усіх вище описаних заходів у системі управління відходами. Розробка програми переробки відходів ВДЕ, заходів щодо реалізації концепції «інфраструктура безвідходної енергії», інтеграція у принципу «проектування з урахуванням переробки» покликані створити цілісну політику поводження з відходами ВДЕ та забезпечити довгостроковий розвиток рециклінгової інфраструктури.

Систематизація елементів системи утилізації відходів відновлювальних джерел енергії демонструє, що забезпечення екологічної безпеки та сталості енергетичної трансформації потребує багаторівневого, інтегрованого підходу, який поєднує технологічні, інституційні, еколого-економічні рішення.

Таким чином, запропонована система управління відходами відновлювальної енергетики та суміжних секторів визначається стратегічним баченням, інституційним врегулюванням, потребує організаційно-економічного планування та техніко-технологічних інновацій. Вона формує парадигмальне бачення для побудови циркулярної, безпечної та стійкої енергетичної системи України у рамках «зеленого» переходу.

3.2. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки

За умов безпрецедентних зовнішніх загроз, внутрішніх структурних дисбалансів та одночасних викликів «зеленого» й цифрового переходу, ключового значення набувають організаційно-економічні механізми, які забезпечують керованість, гнучкість і стійкість енергетичного сектору на усіх рівнях – від державної політики та регуляторних інститутів до локальних енергетичних систем громад і промислових кластерів. Їх ефективне функціонування визначає здатність країни підтримувати безперервність

енергопостачання, мінімізувати вплив загроз і водночас здійснювати модернізацію відповідно до принципів сталого розвитку.

Організаційно-економічні механізми енергетичної безпеки формують цілісну систему, що забезпечує взаємодію інституцій, ресурсів, фінансових стимулів, технічних рішень і управлінських процесів. Організаційно-економічні механізми забезпечення енергетичної безпеки доцільно розглядати у трьох взаємопов'язаних вимірах (організаційному, економічному та функціональному), які утворюють логічно цілісну архітектуру управління. Такий підхід дозволяє інтегрувати управління національним рівнем із децентралізованими моделями громад, інвестиційними рішеннями громад та підприємств, а також інноваційними інструментами оцінювання ризиків та моніторингу енергетичної стабільності. У таблиці 3.3 узагальнено ключові елементи та очікувані результати кожного виміру.

1. Організаційний блок формує інституційну основу енергетичної безпеки та визначає механізми взаємодії між ключовими суб'єктами (державними органами влади, регуляторами, обласними адміністраціями, органами місцевого самоврядування, операторами магістральних і розподільчих мереж, суб'єктами ринку електроенергії, приватним бізнесом). Він забезпечує вертикальну та горизонтальну координацію управління, починаючи від формування стратегічних пріоритетів на національному рівні (гарантування безпеки постачання, інтеграція з ENTSO-E, розвиток ринку), закінчуючи реалізацією локальних моделей стійкості та енергетичної автономії на рівні громад. У рамках цього блоку визначаються повноваження й відповідальність кожного учасника, структуруються процеси планування, реагування та контролю, вибудовується система регуляторної та оперативної взаємодії.

Важливою складовою стає інституційне узгодження політики енергетичної безпеки із секторальними стратегіями та стратегіями регіонального розвитку, включаючи стратегії розвитку інноваційної діяльності, промислової політики, обороноздатності та кліматичної трансформації.

Таблиця 3.3

Організаційно-економічні механізми забезпечення енергетичної безпеки України*

Вимір механізму	Зміст	Ключові елементи	Очікувані результати для енергетичної безпеки
1. Організаційний	Формування інституційної структури управління; Координація між державою, регулятором, операторами ринку, громадами та бізнесом; Розвиток енергетичної децентралізації та локальних енергетичних систем	Інституційна архітектура (Міненерго, НКРЕКП, ОСП, ОСР, ДСНС, громади); Локальні енергетичні стратегії ОТГ; Управління індустріальними та екоіндустріальними парками (моделі енергокооперації, спільної генерації, утилізації); Платформи взаємодії «держава–громади–бізнес»; Регламентування ролей учасників ринку	Підвищення керованості та координації; Розвиток локальної енергостійкості громад; Інтеграція підприємств у спільні енергетичні системи (парки); Зменшення залежності від централізованих систем
2. Економічний	Фінансова стійкість сектору; Інвестиційні та тарифні механізми; Економічна логіка децентралізації та модернізації; Стимулювання ВДЕ та інновацій	Тарифна політика (доступність, збалансування, ліквідація перехресного субсидіювання); Інвестиційні інструменти: «зелені» облігації, ЕСКО-контракти, ДПП, кліматичні фонди, ринок допоміжних послуг; Моделі фінансування локальної енергетики у громадах та парках (мікромережі, біоенергетика, когенерація); Стимули для промислової енергоефективності; Економічні інструменти циркулярної енергетики	Підвищення інвестиційної привабливості галузі; Модернізація інфраструктури та зростання частки ВДЕ; Зміцнення енергетичної автономії громад та парків; Доступність енергії для бізнесу та населення
3. Функціональний	Процеси управління, прогнозування, моніторингу та оцінювання; Техніко-економічне обґрунтування рішень; Управління ризиками	Інженерний менеджмент та інженерний маркетинг (обґрунтування мережевих рішень, резервів, конфігурацій, гнучких потужностей); Системи моніторингу та раннього попередження; Механізми управління ризиками: карти ризиків, дерева рішень, матриці 5×5; Аналітика та прогнозування: DPSIR-моделі, PNN, кластеризація, цифрові платформи; Сценарний аналіз та система адаптивних рішень	Своєчасне виявлення загроз; Зниження технічних, кібер- та економічних ризиків; Обґрунтованість управлінських рішень; Зростання адаптивності енергосистеми до стресів

*запропоновано автором.

Таке інтегрування забезпечує системність управлінських рішень і дає змогу уникнути конфліктів між економічними, екологічними та соціальними цілями. Особливого значення набуває розвиток енергетичної децентралізації як інструмента зміцнення живучості енергосистеми, тобто, громади мають виступати не пасивними споживачами, а активними учасниками управління попитом і пропозицією, створення локальних резервів потужності, впровадження альтернативної генерації та когенерації. У цьому контексті індустріальні та екоіндустріальні парки виконують роль локальних енергетичних хабів, у межах яких мають розвиватися моделі спільного використання енергетичної інфраструктури, циркуляції енергоресурсів, промислової симбіозності та гнучких мережових рішень. Отже, організаційний блок виступає каркасом усієї системи енергетичної безпеки, у межах якого формуються правила гри, структуруються взаємовідносини між суб'єктами та забезпечується функціональна взаємодія всіх рівнів управління – від держави до громади й підприємства.

2. Економічний блок визначає ресурсну основу енергетичної безпеки та формує механізми, через які здійснюється фінансування, стимулювання та економічне регулювання енергетичного сектора. Він охоплює сукупність інструментів, що забезпечують стійкість функціонування енергосистеми, розвиток інфраструктури, модернізацію технологій і підтримку конкурентного ринку. У цьому вимірі закладається економічна логіка як стабільності, так і трансформації енергетики. Ключову роль відіграє тарифна політика, яка впливає на доступність енергії, фінансову стійкість операторів систем передачі та розподілу, а також на інвестиційну привабливість сектору. Економічний блок передбачає збалансування тарифів між категоріями споживачів, запобігання перехресному субсидіюванню та створення умов для прозорого ціноутворення на конкурентних сегментах ринку (РДН, ВДР, двосторонні контракти). Другий ключовий компонент – інвестиційні механізми, що забезпечують оновлення інфраструктури, розвиток генерації, впровадження ВДЕ, накопичувальних технологій та систем гнучкості. Сюди належать класичні моделі фінансування (державні програми, кредити, фонди модернізації) та інноваційні інструменти –

«зелені» облігації, кліматичні фонди, енергосервісні контракти (ESCO), державно-приватні партнерства, механізми Європейського зеленого курсу. Особливе значення економічний вимір має для енергетичної децентралізації, адже саме він визначає, наскільки фінансово спроможними є громади, підприємства та локальні енергосистеми. На цьому рівні формуються моделі фінансування сонячних станцій, когенерації, біоенергетичних установок, систем накопичення та мікромереж. У громадах і екоіндустріальних парках економічні інструменти стають основою для запровадження циркулярних рішень, локального балансування попиту та пропозиції, перерозподілу теплових потоків, енергетичної кооперації підприємств. Крім того, економічний блок включає ринкові стимули, що сприяють розвитку конкуренції: механізми підтримки ВДЕ, компенсації гнучкості, ринки допоміжних послуг, стимули енергоефективності для промисловості та населення. Такі інструменти забезпечують не лише надійність постачання, а й екологічну та соціальну складові сталого розвитку. На макрорівні економічний вимір формує інвестиційний клімат, доступність енергії та макроекономічні умови сектору. На мезорівні – забезпечує фінансову і стратегічну спроможність регіонів та громад. На мікрорівні – визначає економічну життєздатність підприємств, операторів інфраструктури та домогосподарств у процесі адаптації до викликів енергетичної безпеки. Отже, економічний вимір створює фундамент для стійкості, модернізації та конкурентоспроможності енергетики, забезпечуючи синергію між ринковими механізмами, інвестиціями та стратегічними пріоритетами сталого розвитку.

3. Функціональний блок визначає змістовне наповнення системи управління енергетичною безпекою та забезпечує її здатність до своєчасного реагування на виклики. Він охоплює повний цикл управлінських процесів (від спостереження за станом енергосистеми до прийняття рішень і коригування політики). Ключовим елементом цього блоку виступає розвинена система моніторингу, яка включає збір, валідацію та аналіз даних про генерацію, споживання, баланс потужностей, технічний стан мереж, рівень імпортозалежності, ризики кібератак, екологічні параметри та соціальні ефекти.

На основі таких даних формуються регулярні оцінки стану енергетичної безпеки, що дозволяє оперативно виявляти загрози, визначати критичні точки та прогнозувати їхню динаміку. Також центральне місце у функціональному вимірі займає система управління ризиками (від ідентифікації та вимірювання до ранжування, визначення зон неприйнятної ризику та розроблення інструментів реагування). Вона включає використання сучасних методик: картування ризиків, сценарного моделювання, побудови матриць ризиків, аналізу чутливості та стійкості. Важливою складовою є інженерний менеджмент, що забезпечує техніко-економічну обґрунтованість управлінських рішень. Він охоплює аналіз пропускної спроможності мереж, оптимізацію конфігурацій розподілу, оцінку життєвого циклу інфраструктурних рішень, вибір технологій накопичення та резервування енергії, інтеграцію відновлюваних джерел, мікромереж і систем гнучкого управління навантаженням. Саме інженерний менеджмент забезпечує баланс між технічною здійсненністю, економічною ефективністю та екологічною доцільністю рішень. У підсумку функціональний блок визначає здатність системи енергетичної безпеки діяти проактивно: своєчасно виявляти загрози, оцінювати наслідки, обирати оптимальні управлінські рішення та адаптуватися до змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі.

Узагальнення трьох взаємопов'язаних вимірів організаційно-економічних механізмів демонструє, що енергетична безпека не може бути забезпечена лише інфраструктурними або фінансовими змінами, вона потребує системної взаємодії інституцій, ринкових стимулів і високотехнологічних управлінських процесів. Організаційний вимір визначає правила гри та створює умови для розвитку локальних енергетичних систем, включаючи громади й екоіндустріальні парки. Економічний вимір забезпечує ресурсну та інвестиційну базу трансформацій, сприяє розвитку ВДЕ, стимулює модернізацію й децентралізацію. На функціональному рівні забезпечується здатність системи адаптуватися до ризиків, управляти складними процесами та приймати рішення на основі прогнозової аналітики. Синергія цих блоків формує стійку,

гнучку та інноваційно орієнтовану модель енергетичної безпеки України, здатну відповідати на сучасні загрози та виклики сталого розвитку.

Дієвою організаційно-економічною формою розвитку децентралізованих систем, вважаємо формування локальних енергетичних хабів – інтегрованих вузлів генерації, зберігання, розподілу та управління енергоресурсами. На відміну від окремих мікрогенераційних установок, енергетичний хаб функціонує як координована система, що поєднує різні технології (ВДЕ, біоенергетику, акумуляцію, управління попитом), забезпечує внутрішній баланс енергії та створює локальний простір енергетичної стійкості.

Енергетичні хаби розглядаються у світовій практиці як інструмент зміцнення енергетичної автономії громад, оптимізації навантажень, підвищення ефективності використання місцевих ресурсів та створення нових можливостей для розвитку економічних кластерів, зокрема індустріальних та екоіндустріальних парків [297; 301]. Вони дозволяють поєднати децентралізовану генерацію із системними рішеннями рівня smart grid, що перетворює громаду на активного учасника енергетичного ринку.

З огляду на значну варіативність підходів до організації локальних енергетичних хабів у різних країнах, доцільним є системне порівняння їх ключових характеристик, що дозволяє виокремити спільні структурні елементи, принципи функціонування та інструменти забезпечення автономності, а також визначити ті практики, що можуть бути релевантними для українського контексту. Узагальнення основних параметрів моделей наведено у таблиці И.2 додатку И.

З урахуванням воєнних загроз, частих пошкоджень мереж та необхідності забезпечувати живлення критичних об'єктів, локальні енергетичні хаби стають для України перспективним механізмом формування стійкої, гнучкої та диверсифікованої енергетичної інфраструктури, здатної функціонувати навіть в умовах часткової або повної втрати централізованої генерації.

Одними з найбільш придатних платформ для реалізації локальних енергетичних хабів виступають індустріальні та екоіндустріальні парки.

В Україні розвиток цієї інфраструктури набуває масштабного характеру: станом на 2025 р. до державного реєстру включено понад 100 індустриальних парків, при цьому темпи їх створення зростають; лише у 2024 р. було зареєстровано рекордні 31 новий парк [144]. Це свідчить про формування національної мережі промислових територій, потенційно здатних стати основою регіональних енергетичних хабів. Показовим є приклад Хмельницької області, де функціонує 6 індустриальних парків, два з яких займають площі понад 50 га та включені до переліку найбільших індустриальних парків України [131]. Така географічна концентрація інвестиційно орієнтованих промислових майданчиків відкриває можливості для створення цілісних енергетичних кластерів, здатних забезпечити місцеві громади та підприємства альтернативною та резервною генерацією.

Екоіндустріальні парки створюють умови для розвитку промислового симбіозу, коли відходи одних виробництв стають ресурсами для інших, що знижує навантаження на довкілля та забезпечує ефективніше використання ресурсів [115]. Такий підхід відповідає сучасним трендам «зеленої» економіки та сприяє зміцненню інвестиційної безпеки завдяки зменшенню екологічних і технологічних ризиків. У поєднанні з енергетичними інноваціями це відкриває можливості для інтеграції «замкнених» виробничо-енергетичних циклів, що підсилює автономність та стійкість промислових кластерів. Завдяки концентрації підприємств, спільній інфраструктурі та можливості організувати ефективну циркуляцію енергоресурсів індустриальні та екоіндустріальні парки стають майданчиками для акумулювання інвестиційних ресурсів та впровадження інноваційних енергетичних рішень. Саме тут можуть розвиватися:

- спільні енергетичні проекти – сонячні та вітрові електростанції, біоенергетичні установки, когенераційні системи;
- інфраструктура промислової симбіозності, коли надлишкове тепло чи відходи одного підприємства стають ресурсом для іншого;
- гнучкі мережеві рішення – мікромережі, цифрові системи управління потоками енергії, платформи балансування;

– моделі енергетичного шерінгу, які дозволяють підприємствам спільно інвестувати у генераційні об'єкти та ефективно розподіляти вироблену потужність.

У підсумку індустріальні та екоіндустріальні парки формують на місцевому рівні стійкі енергетичні екосистеми, що поєднують економічну ефективність, екологічну відповідальність та високий рівень енергетичної безпеки. Вони стають каталізаторами переходу до нових моделей енергогенерації та енергоспоживання, де провідними цінностями є автономність, ефективність і взаємодоповнюваність учасників локальних енергосистем.

З огляду на зростаючу роль таких кластерів у трансформації енергетичного та промислового розвитку, особливо значущим є оцінювання того, наскільки взаємодія локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків відповідає вимогам моделі 4A (availability, accessibility, affordability та acceptability), яка у сфері управління енергетичною безпекою, як розглядалось у п.п. 1.2, слугує базовим орієнтиром для розробки державної політики, індикативного планування та мінімізації ризиків порушення енергетичного балансу. Систематизація ключових елементів функціонування цих інфраструктурних форм у розрізі моделі 4A дає змогу наочно продемонструвати їх функціональну сумісність, взаємодоповнюваність та потенціал синергетичного ефекту, відповідність принципам сталого розвитку (таблиця 3.4).

Поєднання доступності ресурсів (availability), можливості їх ефективного використання та інтеграції в спільну інфраструктуру (accessibility), економічної доцільності реалізованих рішень (affordability) та екологічної й соціальної прийнятності (acceptability) формує підґрунтя для створення стійких виробничо-енергетичних екосистем. Таке інтегроване поєднання забезпечує не лише підвищення енергетичної автономності та живучості промислових територій, але й сприяє формуванню конкурентних, інноваційних та екологічно дружніх кластерів. Відповідність моделі 4A підсилює стратегічну важливість локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків як ключових драйверів регіональної економічної стійкості та переходу до циркулярної економіки.

Таблиця 3.4

Взаємодія локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків*

Елемент / параметр	Локальні енергетичні хаби	Екоіндустріальні парки	Синергетичний ефект поєднання	Відповідність моделі 4A (availability, accessibility, affordability, acceptability)
Головне призначення	Забезпечення автономного та стійкого енергопостачання на локальному рівні	Формування екосистеми сталого виробництва та промислового симбіозу	Створення замкненої виробничо-енергетичної екосистеми з мінімальними втратами ресурсів	Availability: підвищення доступності локальної генерації. Accessibility: близькість енергоресурсів до виробництв. Affordability: зниження собівартості енергії. Acceptability: відповідність принципам сталості й екологічності.
Ключові компоненти	Локальна генерація (ВДЕ, когенерація), накопичувачі, мікромережі, цифрове управління	Спільна інфраструктура, індустриальні підприємства, системи утилізації та переробки	Інтеграція енергетичних і матеріальних потоків у єдину оптимізовану систему	Availability: стабільне забезпечення енергією та ресурсами. Accessibility: можливість спільного доступу до інфраструктури. Affordability: спільне використання зменшує витрати. Acceptability: технології відповідають нормам сталого розвитку.
Типи енергоресурсів	Сонце, вітер, біомаса, когенерація, резервні ДПУ	Відходи, вторинне тепло, відновлювані ресурси	Використання побічних продуктів виробництва як енергоресурсів	Availability: розширення спектра енергоресурсів. Accessibility: доступ до локальних та вторинних ресурсів. Affordability: мінімізація витрат через повторне використання. Acceptability: екологічно дружні джерела.
Технологічні рішення	Smart grids, енергетичний шерінг, накопичення	Промисловий симбіоз, утилізація відходів, «зелена» логістика	Можливість будувати енергонезалежні кластери з низьким вуглецевим слідом	Availability: стабільний технологічний доступ до енергії. Accessibility: цифрове управління підвищує оперативність. Affordability: оптимізація потоків знижує витрати. Acceptability: високий рівень екологічності та безпеки.
Інвестиційна роль	Залучення інвестицій в енергетичні технології та генерацію	Створення інвестиційної інфраструктури для підприємств	Підвищення інвестиційної привабливості регіону через стійкість та екологічність	Availability: наявність сучасних інфраструктур. Accessibility: покращення інвестклімату. Affordability: довгострокове зниження витрат для бізнесу. Acceptability: інвестори підтримують «зелені» проекти.
Екологічний ефект	Зниження викидів та навантаження на мережу	Зменшення відходів, переробка ресурсів	Максимізація циркулярності та перехід до «зеленої» економіки	Availability: доступ до екологічно чистих рішень. Accessibility: екопроцеси інтегровані у виробництво. Affordability: економія ресурсів через переробку. Acceptability: висока соціальна та екологічна підтримка.
Безпековий аспект	Підвищення живучості енергосистеми в умовах війни	Зниження технологічних і екологічних ризиків	Комплексна стійкість промислових територій до кризових ситуацій	Availability: безперервне енергопостачання. Accessibility: доступність резервних ресурсів. Affordability: уникнення високих збитків через аварії. Acceptability: суспільне схвалення підвищення безпеки.
Економічний ефект	Зменшення витрат на енергопостачання, стабільність роботи бізнесу	Ефективне використання ресурсів і скорочення витрат	Формування конкурентного регіонального кластера	Availability: доступ до економічно ефективної енергії. Accessibility: можливість підключення різних виробництв. Affordability: зниження собівартості продукції. Acceptability: економічна вигода підтримує прийнятність моделі.
Соціальний ефект	Живлення критичної інфраструктури та громад	Створення робочих місць, розвиток екосередовища	Розвиток територій, зміцнення локальної економіки	Availability: покращення доступності базових послуг. Accessibility: нові робочі місця та соціальні можливості. Affordability: зростання добробуту та зниження витрат населення. Acceptability: підвищення якості життя сприяє підтримці проектів.

*запропоновано автором.

Отже, узагальнення наведених характеристик свідчить, що поєднання локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків формує комплексну модель сталого розвитку. Вона забезпечує не лише підвищення енергетичної автономності та живучості в умовах зовнішніх викликів, але й сприяє створенню інноваційних виробничих екосистем, орієнтованих на раціональне використання ресурсів і мінімізацію екологічного впливу. Завдяки цьому індустріальні та екоіндустріальні парки можуть стати ключовими драйверами регіональної економічної стійкості та модернізації енергетичної інфраструктури України.

Для забезпечення ефективної інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків у єдину стійку виробничо-енергетичну систему необхідно застосовувати комплекс взаємопов'язаних організаційно-економічних інструментів. Їх систематизація дає можливість визначити ключові напрями інституційної підтримки, фінансового стимулювання, технологічної модернізації та управлінського забезпечення. Узагальнення таких інструментів представлено у таблиці 3.5, що дозволяє структуровано оцінити потенціал інтеграції та визначити пріоритетні механізми реалізації.

Ефективне поєднання цих елементів передбачає створення дієвої системи управління, здатної координувати інтереси різних стейкхолдерів (органів влади, бізнесу, енергетичних операторів, інвесторів і громад), включає формування прозорих регуляторних механізмів, розвиток інфраструктури smart microgrids і систем, запровадження гнучких фінансових стимулів та підвищення інституційної спроможності територіальних громад.

Запропонована система інструментів дозволяє узгодити розвиток промислової інфраструктури з енергетичною модернізацією, забезпечити ресурсну циркулярність та оптимізацію енергетичних потоків, зменшити залежність від централізованих мереж і мінімізувати ризики їх пошкодження. Це, у свою чергу, підвищує інвестиційну привабливість територій, стимулює впровадження інноваційних рішень і сприяє формуванню конкурентних кластерів з високим рівнем енергоефективності.

Таблиця 3.5

Комплекс організаційно-економічних інструментів інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків*

Група інструментів	Зміст / заходи	Очікувані результати
Інституційно-організаційні інструменти	Створення регіональних енергетичних кластерів. Формування керуючих компаній (операторів) енергетичних хабів. Запровадження міжсекторальних координаційних рад. Розробка локальних енергетичних стратегій громад. Інтеграція енергетичних хабів та екоіндустріальних парків у стратегії місцевого розвитку (економічні, енергетичні, екологічні компоненти).	Скоординоване управління енергетичними та ресурсними потоками. Підвищення інституційної спроможності громад. Забезпечення узгодженості розвитку промислових та енергетичних систем. Прискорення впровадження інновацій.
Економічні стимули та фінансові інструменти	Податкові пільги для проєктів ВДЕ, когенерації, симбіозу. «Зелені» кредити та пільгове фінансування. Механізми енергетичного шерінгу. Створення фонду підтримки екоіндустріальних ініціатив. Державно-приватне партнерство для розвитку інфраструктури.	Зростання інвестиційної активності. Зменшення витрат підприємств на енергію. Формування спільної генераційної бази. Підвищення інвестиційної привабливості територій.
Техніко-технологічні заходи	Створення мікромереж і систем накопичення енергії. Впровадження цифрових платформ управління енергопотоками. Використання відходів та вторинного тепла як енергоресурсів. Спільні об'єкти генерації (СЕС, ВЕС, когенерація). Модернізація інженерної та енергетичної інфраструктури парків.	Зниження залежності від централізованих мереж. Підвищення енергоефективності та ресурсоефективності. Формування замкнених виробничо-енергетичних циклів. Підвищення стійкості до аварій та криз.
Управлінські та регуляторні заходи	Розробка нормативної бази для енергетичного шерінгу та мікромереж. Стандартизація вимог до екоіндустріальних парків. Встановлення регіональних та галузевих цільових показників. Цифровізація управління енерго- та ресурсними потоками.	Правова визначеність для інвесторів. Прозорість процедур і зниження бар'єрів. Підвищення ефективності управління ресурсами. Зміцнення контролю якості та екологічності.
Соціально-комунікаційні інструменти	Програми підготовки кадрів у сфері енергоменеджменту та промислової екології. Інформаційні та консультаційні служби для підприємств. Підтримка інноваційних стартапів у сфері smart energy. Партнерства між науковими установами, органами влади та бізнесом.	Підвищення кваліфікації персоналу. Прискорення впровадження інноваційних рішень. Зростання рівня обізнаності підприємств. Посилення соціальної підтримки трансформації.
Просторово-інфраструктурні заходи	Оновлення генеральних планів індустриальних парків із врахуванням потреб енергетичної інтеграції. Координація транспортної, логістичної й енергетичної інфраструктури. Створення багатофункціональних енергоцентрів для резервування потужностей.	Рациональне використання територій. Оптимізація потоків ресурсів. Забезпечення резервування потужностей. Зниження інфраструктурних ризиків.

*запропоновано автором.

У результаті формується новий тип стійких виробничо-енергетичних екосистем, здатних ефективно функціонувати в умовах сучасних викликів (від

воєнних загроз і перебоїв у роботі енергетичної інфраструктури до глобальних кліматичних змін). Такі інтегровані системи не лише зміцнюють енергетичну автономність регіонів, але й сприяють переходу до циркулярної економіки, посиленню екологічної відповідальності та забезпеченню соціально-економічної стійкості територій у довгостроковій перспективі.

Одним із ключових інструментів, що поєднує технічну складову з організаційно-економічними механізмами, виступає інженерний менеджмент. Він посідає центральне місце у системі забезпечення енергетичної безпеки, адже дозволяє ефективно поєднувати технічні рішення з управлінськими підходами, є інструментом для забезпечення стабільної енергосистеми [16; 206]. Інженерний менеджмент здатен забезпечити не лише виживання енергетичної системи, а й створити передумови для її сталого розвитку в майбутньому. Ключовими функціями інженерного менеджменту в контексті забезпечення енергетичної безпеки є такі [24]:

1. Розробка та реалізація проєктів енергетичних систем, що виражається у: будівництві або модернізації ТЕС, ГЕС, СЕС, ВЕС; впровадженні smart grids; інтеграції нових джерел енергії в загальну систему.

2. Управління ризиками, що включає: оцінку вразливості об'єктів (наприклад, підстанцій чи ліній електропередачі); організацію / налагодження системи резервного енергозабезпечення; кризове планування: як діяти у разі кібератаки або обстрілу.

3. Оптимізація використання ресурсів, що полягає у плануванні закупівель та логістики, скороченні енергоспоживання через впровадження енергоощадних технологій, використанні Big Data та інформаційних технологій для контролю систем.

4. Здійснення інновацій в енергетичній сфері (розвиток акумулюючих систем (батарей), водневих технологій, впровадження відновлюваної енергетики на рівні домогосподарств, підтримка децентралізованої енергетики).

Інженерний менеджмент дозволяє об'єктивно оцінювати інвестиційні та технологічні ризики, впроваджувати стандарти надійності та безпеки,

забезпечувати координацію між технічними службами, управлінським персоналом та зовнішніми стейкхолдерами, проводити проєктний аудит енергетичних рішень, організовувати ефективне ресурсне планування (людські, матеріальні, технологічні ресурси).

Крім того, використання інструментів інженерного менеджменту (наприклад, системного аналізу, Lean-методів, управління життєвим циклом об'єкта) забезпечує довгострокову стійкість енергосистеми, оптимізацію витрат і адаптивність до кризових сценаріїв. Тобто, інженерний менеджмент дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління загрозами енергетичній безпеці України, дає можливість підвищити ефективність реалізації стратегічних технічних рішень, посилити інституційну та технічну стійкість енергетичної галузі в умовах війни та сприятиме інноваційній повоєнній модернізації та розвитку енергетичної сфери.

Реалізація вище зазначених функцій, інструментів інженерного менеджменту, вважаємо, дозволяє посилювати енергетичну безпеку різних її складових (в частині стабільного виробництва енергії, захисту енергетичних об'єктів, диверсифікації енергогенерації, поставок ресурсів, забезпечувати розвиток енергоефективності) [24; 37].

У комплексі з методичними підходами, представленими у п.п. 2.3 (модель DPSIR, ймовірнісні нейронні мережі, кластеризація, карти ризиків), інженерний менеджмент формує практичну основу для управління ризиками, їх прогнозування та унеможливлення / мінімізацію / нівелювання.

На етапі ідентифікації загроз інженерний менеджмент забезпечує технічну діагностику мереж, визначення вразливостей, аналіз надійності та оцінювання стану активів, що є базою для заповнення блоків «Pressures – State» у DPSIR-моделі та для формування вхідних параметрів нейромережевих класифікаторів. У процесі оцінювання ризиків він створює структуровані технічні дані, сценарії відмов, параметри мережевих обмежень та аварійних режимів, які використовуються для машинної класифікації загроз і ранжування їх за критичністю. У частині блоку реагування «Response» у DPSIR-моделі

інженерний менеджмент визначає технічні варіанти зменшення або усунення ризиків: реконфігурацію мереж, впровадження резервних потужностей, підвищення гнучкості системи, автономізацію на рівні громад і підприємств, інтеграцію гібридних енергетичних систем. Застосування інженерного менеджменту дозволяє не лише ідентифікувати та оцінювати технічні й системні загрози, але й формувати структуровану основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Таким чином, інженерний менеджмент виступає інтеграційним ядром організаційно-економічного механізму забезпечення енергетичної безпеки, поєднуючи технічну реальність, аналітичні інструменти та управлінські рішення у єдину адаптивну систему, здатну ефективно реагувати на виклики сучасної турбулентності (таблиця 3.6).

Узагальнення ролі інженерного менеджменту у системі забезпечення енергетичної безпеки демонструє, що він виступає ключовим інтеграційним елементом між технічною інфраструктурою та організаційно-економічними механізмами управління.

Його застосування забезпечує перехід від фрагментованого реагування на загрози до системного, даних-орієнтованого підходу, що охоплює повний цикл управління ризиками (від діагностики та аналізу до сценарного моделювання, реагування та адаптації). Завдяки цьому інженерний менеджмент формує технічну основу стійкості, а організаційно-економічні механізми – інституційну та фінансову підтримку впровадження необхідних заходів. Синергія цих компонентів зміцнює живучість енергетичної інфраструктури, підвищує ефективність реагування на кризові ситуації та сприяє формуванню адаптивних виробничо-енергетичних екосистем на рівні територіальних громад і регіонів.

Таблиця 3.6

Роль інженерного менеджменту у системі ризик-орієнтованого управління енергетичною безпекою*

Етап системи управління	Зміст інженерного менеджменту	Зв'язок із методичними підходами (DPSIR, PNN, кластеризація)	Зв'язок із організаційно-економічними механізмами забезпечення енергетичної безпеки	Результат для енергетичної безпеки
1. Ідентифікація загроз	Технічний аудит, діагностика стану мереж і обладнання, аналіз надійності, визначення вразливостей	DPSIR: Pressures, State; формування технічних індикаторів для PNN	Інституційні інструменти: стандарти технічного нагляду, регламенти контролю; інформаційно-аналітичне забезпечення	Формування структурованої бази технічних загроз
2. Оцінювання інтенсивності та критичності ризиків	Розрахунок ймовірності відмов, моделювання аварійних режимів, визначення пропускної здатності мереж	PNN: формування вхідних параметрів; кластеризація загроз; карти ризиків	Економічні інструменти: пріоритезація інвестицій, оптимізація витрат, оцінювання економічної критичності ризиків	Визначення рівнів ризику (низький – критичний)
3. Сценарне моделювання	Побудова моделей N-1/N-2, cascading failures, оцінювання системної стійкості	DPSIR: взаємозв'язок Pressures – Impact	Управлінські механізми: стратегічне планування, stress-testing, розроблення сценаріїв реагування	Прогноз масштабів і характеру впливу потенційних ризиків
4. Розроблення варіантів реагування	Техніко-економічне обґрунтування заходів мінімізації: резервування, реконфігурації, автономізація	DPSIR: Response; використання результатів класифікації загроз	Регуляторні інструменти: вимоги до резервування; фінансові стимули модернізації; механізми ДПП	Вибір ефективних технічних заходів мінімізації ризиків
5. Інтеграція децентралізованих систем	Проектування мікромереж, локальних енергетичних хабів, систем BESS	Аналітичні моделі стійкості; карти ризиків; кластеризація	Техніко-технологічні та інфраструктурні механізми: розвиток локальної генерації, гнучких мереж, циркулярних моделей	Підвищення локальної та системної живучості
6. Моніторинг і адаптація	Впровадження цифрових SCADA/EMS, систем Big Data-аналізу, адаптивних моделей ризику	Динамічні класифікатори, аналіз часових рядів	Організаційні механізми: системи управління активами (asset management), регулярний аудит, PDCA-цикли	Оперативне управління ризиками та їх прогнозування

*запропоновано автором.

Для управління ризиками та підвищення інвестиційної привабливості енергетичного ринку доцільно використовувати інструменти хеджування¹⁰. Детальніше характеристики основних інструментів хеджування наведено у таблиці И.3 додатку И. Із впровадженням таких інструментів підвищується зацікавленість учасників енергетичного ринку до трейдингу, з'являється можливість хеджування цінових ризиків, а ринок електричної енергії стає прозорішим [40].

Певним кроком до запровадження механізму хеджування ризиків учасників енергетичного ринку із застосуванням деривативів стало підписання меморандуму про співпрацю між торговельними майданчиками «Українська енергетична біржа» і ДП «Оператор ринку» 23.03.2021 р. [128]¹¹. Важливо підкреслити, що впровадження ринку деривативів є необхідною умовою інтеграції України до європейського енергетичного простору ENTSO-E та відповідності підходам, що регламентують прозорість та запобігання маніпуляціям на енергетичних ринках. Саме строкові інструменти дозволяють визначати очікувану рівноважну ціну, знижують залежність від погодних чи політичних шоків, сприяють розвитку відновлюваної генерації, яка потребує механізмів страхування волатильності, та створюють передумови для зростання інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури. У довгостроковій перспективі формування розвиненого ринку енергетичних деривативів сприятиме:

- зменшенню спекулятивної волатильності завдяки появі прогнозованих цінових орієнтирів;
- підвищенню фінансової стійкості виробників та трейдерів, які зможуть фіксувати майбутні ціни;

¹⁰ Інструментами хеджування є деривативи – стандартний документ, що засвідчує право придбати або продати базовий актив на визначених ним умовах у майбутньому (зокрема, форвардні контракти, ф'ючерсні контракти й опціони). Форвардні контракти не знімають усіх ринкових ризиків, на відміну від ф'ючерсів і опціонів [34; 40].

¹¹ Згідно із документом, передбачалося створення інституційних передумов для запуску форвардних контрактів (як із постачанням, так і без постачання), ф'ючерсів та опціонів, що відповідає міжнародній практиці організованих енергетичних ринків. Така співпраця спрямована на уніфікацію правил торгівлі, підвищення прозорості ціноутворення і забезпечення належного рівня захисту учасників ринку від волатильності цін на електричну енергію.

- зростанню довіри інвесторів, що отримає відображення у збільшенні інвестицій у ВДЕ, BESS, мережеву інфраструктуру та енергетичні хаби;
- поширенню європейських практик та стандартів, що є ключовим елементом енергетичної інтеграції;
- формуванню цивілізованого конкурентного ринку, у якому ціни відображають баланс попиту й пропозиції, а не адміністративні чи політичні впливи.

Отже, використання інструментів хеджування в енергетичному секторі України обумовлює забезпечення відкритості та доступності для нових учасників завдяки посиленню ролі біржових інструментів, є стратегічно необхідним для забезпечення стабільності та інвестиційної привабливості ринку, зміцнення його стійкості перед зовнішніми та внутрішніми шоками.

Для ухвалення оптимального рішення / визначення найкращого способу діяти за невизначених умов, можна використовувати дерево рішень. Побудова дерева рішень змушує особу, яка приймає рішення, продумувати дорожню карту рішень і подій, які зрештою призводять до ефективних/оптимальних результатів в управлінні ризиками [294]. Пропозиції рішень доцільно вносити у реєстр, що сприятиме визначенню оптимального рішення та якісній організації управління ризиками. Певні рішення є безальтернативними. До прикладу, зміни законодавства щодо функціонування енергетичного сектора можуть бути сприятливими для компаній або, до прикладу, потребувати додаткових фінансових видатків. Проте, їх необхідно реалізувати на рівні компаній (у графі пропозицій передбачити прийняття даного чинника зовнішнього середовища, як обов'язкового до виконання).

У побудові дерева рішень доцільно використовувати стандартні символи для представлення розвилок результатів управлінських рішень¹². Дерево рішень (рис. 3.7) відображає альтернативні варіанти рішень та наслідків.

¹² До прикладу, маленький квадрат або прямокутник може використовуватися для позначення вузла прийняття рішень або точки з'єднання, де приймається управлінське рішення. Маленьке коло може використовуватися для позначення вузла випадкової події, яка визначатиме подальші наслідки/результати.

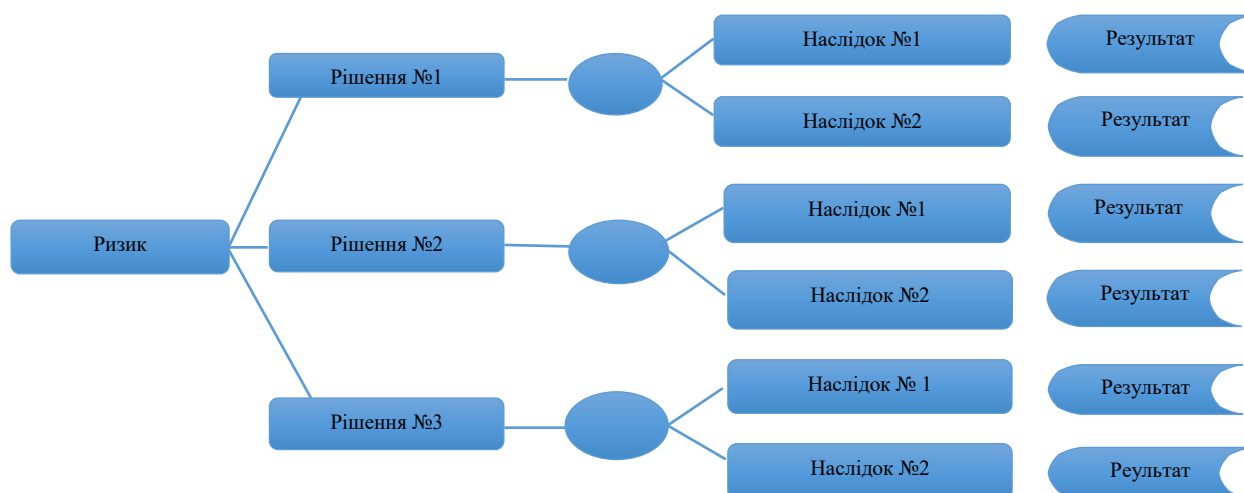


Рис. 3.7. Приклад дерева рішень в управлінні енергетичною безпекою, сформовано автором на основі [294].

Широкий спектр питань щодо попередження / мінімізації / нівелювання загроз знаходиться у компетенціях і можливостях самих суб'єктів господарювання, у т. ч. щодо врахування вимог та тенденцій галузевого ринку, врахування інституційних змін, адаптації до нових умов тощо. Тому важливе значення має рівень кваліфікації працівників відповідно до посади, до вимог виконання визначених робіт, а також мотивація працівників до якісного виконання робіт, набуття навиків і вмінь для впровадження інновацій.

Сучасні організаційно-економічні механізми забезпечення енергетичної безпеки України потребують опори на інноваційний потенціал держави, що визначає здатність енергетичного сектора до відновлення, адаптації та технологічного оновлення. Аналіз глобальних інноваційних тенденцій свідчить про відставання України за рівнем технологічного розвитку, інвестицій в інновації та результативністю науково-дослідної діяльності, що суттєво обмежує можливості швидкої модернізації енергетичної інфраструктури [42]. Разом з тим, інноваційність економіки є ключовою передумовою конкурентоспроможності та стійкості секторів, які функціонують в умовах високої невизначеності та глобальних ризиків [42; 195]. Розвиток локальних енергетичних хабів, інтеграція smart-технологій, впровадження систем накопичення та цифрових платформ

моніторингу можливі лише за умов посилення інноваційної спроможності держави, регіонів і бізнесу.

Отже, організаційно-економічні основи управління енергетичною безпекою України ґрунтуються на поєднанні інституційних, фінансових та управлінсько-технічних механізмів, що забезпечують стійкість і адаптивність енергосистеми. Важливу роль відіграють локальні енергетичні хаби та екоіндустріальні парки, які створюють децентралізовані та автономні енергетичні осередки, зменшують залежність від централізованих мереж і посилюють енергетичну автономність громад. Ключовим інструментом є інженерний менеджмент, що забезпечує техніко-економічне планування, оптимізацію інфраструктури та інтеграцію відновлюваних джерел і гнучких потужностей. У системі управління ризиками він підтримує ідентифікацію та оцінювання загроз із використанням сучасних аналітичних та цифрових методів. Поєднання технічних та організаційно-економічних рішень формує адаптивну модель реагування на загрози та виклики, зміцнення енергетичної безпеки.

3.3. Інноваційні підходи трансформації енергетичної системи та забезпечення енергетичної безпеки

Сучасні реалії висувають вимогу впровадження інноваційних підходів щодо втілення сучасної парадигми енергетичної трансформації та забезпечення енергетичної безпеки на принципах сталості. *Сукупність методів, інструментів і управлінських рішень, що базуються на використанні сучасних технологій, децентралізованих моделей енергопостачання, цифрових систем моніторингу і прогнозування, екологічно орієнтованих практик та адаптивних механізмів реагування, забезпечують здатність енергосистеми функціонувати в умовах воєнних, гібридних і природних загроз, мінімізувати вразливості та формувати довгострокову стійкість. Ці підходи передбачають інтеграцію відновлюваної та низьковуглецевої генерації, розподіленої енергетики, смарт-інфраструктури, методів циркулярної економіки та інституційних механізмів, що підтримують*

енергетичну автономність, екологічну збалансованість і відповідність міжнародним стандартам сталого розвитку (таблиця К.1 додатку К), корелюють із інструментами, представленими у таблиці 3.2.

Перша група – технології розподіленої генерації та децентралізації – охоплює сонячні та вітрові електростанції, біоенергетику, smart grids, енергетичні кластери та гібридні системи. Їх функціональне призначення полягає у створенні географічно диверсифікованих та автономних енергетичних контурів, здатних забезпечувати стійке енергопостачання навіть за умов воєнних та гібридних загроз (руйнування магістральних мереж). Застосування цих технологій сприяє зниженню масштабу наслідків атак, підвищує автономність громад та пришвидшує процеси відновлення після криз.

Друга група включає цифрові технології управління – smart grids, системи сенсорного моніторингу, цифрові двійники та алгоритми прогнозування на основі штучного інтелекту й великих даних. Вони трансформують традиційну енергетику в кіберфізичну систему, забезпечуючи можливість точного прогнозування навантажень, оптимізації використання ресурсів та раннього виявлення аномалій. Їх упровадження підвищує операційну ефективність, зменшує аварійність, скорочує витрати на ремонт та прискорює реакцію на відхилення у роботі мережі, що суттєво посилює її прогнозованість і стійкість.

Третю групу формують інноваційні системи кіберзахисту та кіберфізичної безпеки, які є критичними для енергосектора в умовах гібридної війни проти України. До них належать захищені SCADA-рішення, сучасні системи шифрування, механізми локальної ізоляції контурів та автоматичного блокування загроз. Завдяки цим інструментам забезпечується захист критичних об'єктів від несанкціонованих втручань, мінімізується ризик системних відмов та гарантується безперервність енергопостачання навіть за умов цілеспрямованих атак на енергетичну інфраструктуру.

Четверта група – системи накопичення енергії нового покоління, зокрема літій-іонні, натрій-іонні, твердотільні та водневі накопичувачі. Їх функція полягає у гнучкому балансуванні попиту та пропозиції, акумулюванні надлишків

енергії від ВДЕ та її використанні у пікові періоди. Результатом застосування накопичувачів є стабілізація роботи енергосистеми, зменшення потреби в резервній тепловій генерації та поглиблення інтеграції відновлюваних джерел енергії, що сприяє зниженню аварійних відключень та підтримці низьковуглецевої трансформації.

П'ята група охоплює моделі та інструменти циркулярної енергетики, екологічної інноваційності, включаючи переробку відходів ВДЕ, екодизайн і ESG-стандарти. Їх функціональне призначення полягає у зниженні екологічного навантаження шляхом запровадження принципів повного життєвого циклу, перероблення компонентів сонячних панелей, акумуляторів та вітротурбін. Ефекти застосування охоплюють зменшення небезпечних відходів, розвиток ринку вторинних ресурсів, підвищення екологічної відповідальності сектору, а також зміцнення здатності України рухатися до кліматичної нейтральності.

Шоста група – інституційні та регуляторні інновації – включає гнучкі регуляторні рамки, моделі розширеної відповідальності виробника (EPR), державно-приватне партнерство та створення енергетичних хабів. Ці інструменти визначають можливість масштабування технологічних рішень, формують стабільне інвестиційне середовище та прискорюють модернізацію енергетичної інфраструктури відповідно до європейських стандартів. Ефекти їх реалізації проявляються у зміцненні нормативної стабільності, залученні інвестицій та поглибленні інтеграції України до європейського енергетичного простору.

До сьомої групи належать технології водневої генерації та зберігання (P2X). Їх функціональне призначення полягає у декарбонізації важких промислових секторів, створенні нових ланцюгів доданої вартості та забезпеченні довгострокової енергетичної автономності. Використання «зеленого» водню підтримує формування високотехнологічних ринків, розвиток водневої інфраструктури та зниження імпоротної залежності, а також відкриває Україні можливості виходу на ринок експорту чистої енергії.

Восьма група – моделі громадської енергетики – передбачає створення енергетичних кооперативів, муніципальних мікрогридів та систем P2P-обміну енергією. Вони забезпечують децентралізацію управління, зменшення навантаження на національні мережі та підвищують енергетичну автономність громад. Ефекти їх застосування проявляються у зміцненні стійкості функціонування громад, соціальній мобілізації, зниженні витрат домогосподарств і формуванні локальних моделей енергетичної демократії.

Дев'ята група – інструменти стратегічного прогнозування та стійкісного моделювання, що включають сценарний аналіз, тестування кризових ситуацій і системи раннього попередження. Їх призначення полягає у завчасному виявленні загроз, оцінюванні поведінки енергосистеми в умовах невизначеності та підтримці прийняття рішень у кризових ситуаціях. Вони підвищують системну стійкість, запобігають масштабним відмовам і сприяють формуванню адаптивних та випереджальних управлінських рішень.

Отже, інноваційні підходи трансформації енергетичної системи та забезпечення енергетичної безпеки України формують багаторівневу систему технологій, інструментів і управлінських рішень, яка забезпечує перехід від вразливої, централізованої та високовуглецевої енергетики до децентралізованої, цифровізованої та екологічно орієнтованої моделі, направлену на реалізацію структурних елементів парадигми розвитку енергетичного сектора на принципах сталості.

Впровадження підходів smart grid дає можливість забезпечити розвиток енергетичної системи на інноваційній основі, що проявляється у таких ключових перевагах [32]:

1. Підвищення енергоефективності (використання менше енергії для виконання тієї ж роботи або отримання того ж результату; зменшення потреби в додаткових потужностях). Підвищення енергоефективності досягається шляхом:
 - мінімізації втрат при передачі енергії завдяки точному моніторингу навантаження і перенаправленню потоків у лініях електропередач;

- використання інтелектуальних лічильників у житлових будинках, на підприємствах, які дозволяють аналізувати споживання та змінювати поведінку користувачів;

- автоматичного регулювання навантаження на мережу; гнучкого управління навантаженням (система сама пропонує користувачам зменшити споживання в години піку, наприклад, за фінансову винагороду); автоматизованого управління приладами (наприклад, кондиціонер або бойлер можуть вмикатися тоді, коли електроенергія найдешевша, вимикатися, коли пікове навантаження у енергосистемі).

Енергоефективність досягається через залучення споживачів, як активних учасників енергосистеми (наприклад, шляхом продажу надлишку електроенергії), а також smart grid дає можливість споживачам економити кошти завдяки гнучкому тарифу.

2. Підвищення стабільності і надійності енергопостачання, тобто, мережа самостійно виявляє та локалізує аварії, забезпечує швидше відновлення після збоїв. Smart grid забезпечує стабільність та надійність таким чином:

- сенсори в мережі постійно фіксують напругу, струм, частоту та інші параметри, запобігаючи аваріям;

- автоматичне виявлення та локалізація збоїв (система може миттєво переключити подачу енергії в обхід пошкоджених ділянок);

- гнучкість щодо джерел енергії (smart grid здатна легко інтегрувати нестабільні джерела (сонце, вітер), регулюючи їх вплив на загальну мережу);

- резервування (smart grid заздалегідь передбачає ймовірні навантаження або загрози (наприклад, негоду) і оптимізує свої ресурси).

3. Зменшення негативного впливу на довкілля, зменшення викидів CO₂, завдяки оптимізації роботи енергетичної системи, інтеграції ВДЕ, що обумовлює чистіше повітря, досягнення цілей декарбонізації енергетики. Такі цілі досягається, зокрема, шляхом:

- використання ВДЕ; зменшення потреби в ТЕС (зменшення спалювання вугілля та газу);

- зниження споживання через точний контроль і зміну поведінки користувачів;
- електромобільності (транспорт заряджається вночі, коли генерація енергії менше затребувана).

4. Підвищення кібербезпеки; використання сучасних протоколів захисту даних, що є надзвичайно важливим в умовах сучасних кіберзагроз. Smart grid відкривають двері до цифрових можливостей, але вони також можуть ставати об'єктами кібератак. У цьому контексті smart grid підсилює захист завдяки:

- мережі шифрування та системі виявлення загроз на всіх рівнях (від лічильника до центральної системи управління);
- аналізу поведінкових моделей для виявлення нетипової активності (наприклад, спроби віддаленого втручання);
- сегментації мережі (у разі атаки одна ділянка ізолюється без загрози для всієї системи);
- інтеграції з національними центрами кіберзахисту, що актуально в умовах гібридної війни.

Також smart grid дає можливості здійснювати інтелектуальне прогнозування, використовуючи алгоритми машинного навчання.

У контексті стрімкого зростання темпів урбанізації прогнозується, що до 2050 р. близько 68% населення світу проживатиме у міських агломераціях [253]. Така демографічна динаміка формує безпрецедентний тиск на існуючі енергетичні системи, більшість з яких зберігають централізований характер, характеризуються технологічною зношеністю та обмеженою адаптивністю до зростаючої складності міських енергетичних потреб. Традиційні електричні мережі дедалі менше відповідають вимогам сталого розвитку, глобальному тренду розширення частки відновлюваних джерел енергії та міжнародним зобов'язанням щодо скорочення викидів парникових газів. За таких умов smart microgrids постають як ефективний інструмент подолання структурних дисбалансів і посилення стійкості міських енергетичних систем [149; 304], застосовують дані моніторингу в режимі реального часу, передові системи

управління та високотехнологічні комунікаційні рішення [170; 212], здатні динамічно реагувати на зміну навантажень, зменшувати тиск на централізовані мережі та запобігати масштабним відмовам [257]. Разом з тим, масштабне впровадження таких систем стримується низкою технічних, економічних і регуляторних бар'єрів, що потребує переосмислення підходів до планування та реалізації енергетичної політики [156].

У межах децентралізованих енергетичних архітектур ключовим елементом є розподілені енергетичні ресурси (distributed energy resources – DERs), системи інноваційного накопичення та інтелектуальні енергетичні системи управління (energy management systems – EMS). Їх інтеграція у локалізовані енергетичні комплекси забезпечує підвищення енергетичної ефективності, адаптивності та стійкості [336]. Smart microgrids відрізняються від традиційних енергетичних мереж за архітектурою, принципами управління, джерелами енергії, рівнем резильєнтності та екологічною результативністю (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

Порівняння традиційних енергомереж та smart microgrids*

Функція	Традиційна мережа	Розумні мікромережі
Джерело енергії	Централізований, на основі викопного палива	Децентралізований, зосереджений на відновлюваних джерелах енергії
Надійність	Схильний до відключень електроенергії та збоїв	Самовідновлювальний, стійкий та адаптивний
Енергоефективність	Високі втрати при передачі	Зменшення втрат завдяки локалізованій генерації
Гнучкість	Жорсткий та важко розширюється	Модульна та масштабована
Механізм управління	Централізоване управління	Адаптивне управління в режимі реального часу на основі штучного інтелекту
Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії	Обмежені можливості	Безшовна інтеграція із сонячною та вітровою енергією
Реакція на перебої	Повільне відновлення, централізована залежність	Швидке відновлення з можливістю острівного розташування
Економічна модель	Високі експлуатаційні витрати, залежність від комунальних послуг	Економічно ефективна торгівля енергією через P2P
Нормативно-правова база	Надмірно регульована, повільна адаптація політики	Економіка, що розвивається, потребує підтримуючої політики
Масштабованість	Складно та дорого оновлювати	Легко розширюється в міських умовах

*систематизовано автором.

Подальший розвиток smart microgrids можливий завдяки впровадженню децентралізованих систем управління на основі периферійних обчислень та штучного інтелекту. На відміну від централізованих рішень, які створюють «точки відмови» та підвищену вразливість до кібератак, системи забезпечують локальну обробку даних, зменшують затримки та забезпечують адаптивну реакцію на зміни у виробництві й споживанні енергії [204]. Такі системи підвищують ефективність за рахунок раннього виявлення дефектів, предиктивного обслуговування та оптимізації операційних процесів [152]. Значною їх перевагою є зростання стійкості до кібератак та мережевих збоїв. Водночас їх упровадження потребує значних фінансових вкладень та створює додаткові ризики, пов'язані з конфіденційністю даних.

Smart microgrids інтегрують різні види DERs, насамперед сонячні фотоелектричні панелі, вітрові турбіни та сучасні системи акумулювання енергії.

Також важливим інноваційним підходом є використання акумуляторних батарей електромобілів у «другому житті», здатних до повторного використання, що сприяє зменшенню екологічного навантаження, до того ж, вони є суттєво дешевшими порівняно з новими акумуляторами аналогічної місткості. Акумулятори, які вже не відповідають вимогам автомобільної промисловості, ще зберігають достатній залишковий ресурс для стаціонарних систем накопичення, зарядних станцій, телекомунікаційних вузлів та домашніх енергетичних систем [303]. Дослідження демонструють, що інтеграція таких батарей у міські smart microgrids може знизити витрати на енергію на 30% у п'ятирічній перспективі. Такі рішення сприяють розвитку циркулярної економіки через зменшення потреби у видобутку первинної сировини та обсягів відходів [248]. Водночас неоднорідність характеристик батарей та складність їх інтеграції створюють технічні бар'єри, проте сучасні системи управління батареями та діагностика з використанням штучного інтелекту значно підвищують їхню ефективність [223].

Запровадження smart microgrids у міському просторі є логічним етапом еволюції енергетичних систем. По-перше, вони збільшують частку відновлюваних джерел енергії у структурі генерації, що допомагає містам

досягати кліматичних цілей та виконувати міжнародні зобов'язання. Одночасно smart microgrids виконують функцію експериментальних майданчиків для апробації концепцій «вуглецево-нейтральних районів», сприяючи практичному переходу до сталих форм міського розвитку. По-друге, smart microgrids створюють економічні переваги, зокрема зменшують транзакційні витрати, дозволяють уникати або відтерміновувати масштабні капіталовкладення у розширення мережі та сприяють більш ефективному використанню наявної інфраструктури [271]. У Нью-Йорку впровадження smart microgrids у районах з високою щільністю споживання сприяло уникненню або відтермінуванню масштабної модернізації мережі, яка потребувала б значних капіталовкладень [299].

Важливим стратегічним обґрунтуванням інтеграції smart microgrids у міські енергетичні системи є посилення їх захищеності та стійкості до збурень і кризових впливів. Природні катастрофи, кібератаки, акти тероризму та інші форми деструктивного впливу в умовах великих міст здатні спричиняти критичні порушення у роботі централізованих енергетичних систем. У цьому контексті smart microgrids розглядаються як потужний інструмент підтримання функціонування базових суспільно важливих сервісів у кризових ситуаціях [235]. Резильєнтність smart microgrids зумовлена їх здатністю від'єднуватися від основної мережі та працювати в автономному режимі (тобто реалізується функція режиму «острівного з'єднання») під час надзвичайних ситуацій. Це дозволяє забезпечувати електропостачання критичних споживачів – закладів охорони здоров'я, центрів реагування на надзвичайні ситуації, транспортних вузлів навіть за умов масштабних відмов централізованої мережі [292]. Показовим є досвід Каліфорнії, де smart microgrids цілеспрямовано впроваджувалися в пожежонебезпечних районах для гарантування безперервного енергопостачання об'єктів критичної інфраструктури у періоди надзвичайних ситуацій, превентивних відключень електроенергії (з метою забезпечення безпеки мешканців) [270].

Додатковий вимір інноваційності smart microgrids пов'язаний із використанням аналітики великих даних (big data analytics) та інтелектуальних систем управління для переходу від реактивної до проактивної моделі забезпечення енергетичної безпеки. Інформація, що надходить від розгалужених сенсорних мереж, розміщених у різних сегментах міського енергетичного середовища, обробляється системами керування на основі штучного інтелекту, які виявляють відхилення, що сигналізують про перевантаження, аномальну поведінку обладнання або підвищений ризик відмови. Такий підхід дає змогу не лише запобігати аварійним відключенням, а й істотно скорочувати витрати на екстрене обслуговування та ремонт. Дослідження [227] показало, що міста, які інтегрували предиктивну аналітику у свої системи smart microgrids, змогли знизити витрати на технічне обслуговування приблизно на 30% і суттєво скоротити тривалість простоїв порівняно з традиційними підходами.

Ключова перевага smart microgrids у контексті формування міської резильєнтності та енергетичної безпеки полягає у їх здатності забезпечувати безперервне електропостачання незалежно від зовнішніх умов. В умовах високої щільності населення відмови в енергопостачанні спричиняють значні економічні й соціальні збитки, тому показники надійності та стійкості енергосистеми набувають критичного значення. Використання предиктивної аналітики дає змогу завчасно проводити профілактичні заходи, зменшуючи частоту та масштаб аварійних відключень. У щільно забудованих міських агломераціях можливість об'єднання кількох мереж у мережеві конфігурації (networked microgrids) посилює потенціал перерозподілу навантажень і раціонального використання ресурсів, додатково зміцнюючи стійкість всієї енергосистеми.

Розробка індикативної моделі стійкості smart microgrids у міській енергетичній системі є об'єктивно необхідною та науково обґрунтованою відповіддю на зростаючу складність сучасного енергетичного середовища, яке формується під впливом гібридних загроз, кліматичних змін, інтенсифікації урбанізаційних процесів та цифрової трансформації. Вона не лише формує каркас вимірювання окремих параметрів роботи smart microgrids, а є

комплексною концептуальною рамкою, що дозволяє інтегрувати енергетичні, технічні, цифрові, економічні, екологічні та соціально-управлінські виміри стійкості в єдину аналітичну систему. Крім того, розробка такої моделі надзвичайно важлива для прийняття управлінських рішень на рівні міської влади, операторів енергетичних систем та державних інституцій, оскільки забезпечує методичну основу для планування модернізації інфраструктури, визначення критичних зон вразливості та встановлення пріоритетів інвестицій. Індикативна модель дозволяє здійснювати прогнозування стану енергетичної системи у різних сценаріях (мирних, кризових, аварійних чи післявоєнних), що є особливо актуальним для України, де безпекові виклики безпосередньо впливають на стійкість критичної інфраструктури. Не менш важливою є можливість використання такої моделі як універсального інструменту гармонізації української практики управління міською енергетикою з європейськими методиками оцінювання енергетичної резильєнтності та реалізації цілей Європейського зеленого курсу.

Запропонована індикативна модель стійкості *smart microgrids* не лише дозволяє системно оцінювати та підвищувати ефективність децентралізованих енергетичних систем, але й формує концептуальну основу переходу до функціонування міст на засадах сучасної парадигми енергетичного управління – стійкої, цифрової та кліматично нейтральної (рис. 3.8). Індикативна модель стійкості *smart microgrids* у міській енергетичній системі відображає системний, багаторівневий і взаємопов'язаний характер формування стійкого, низьковуглецевого та кіберзахищеного енергетичного середовища. Її структурна логіка ґрунтується на тому, що стійкість децентралізованої енергетичної системи не може бути результатом одного елементу чи технології, а формується як результат комплексної взаємодії чинників. Відповідно, модель демонструє поетапний рух від фундаментальних умов до інтегрального результату інтегральної резильєнтної системи у вигляді стійкого *smart microgrid*.

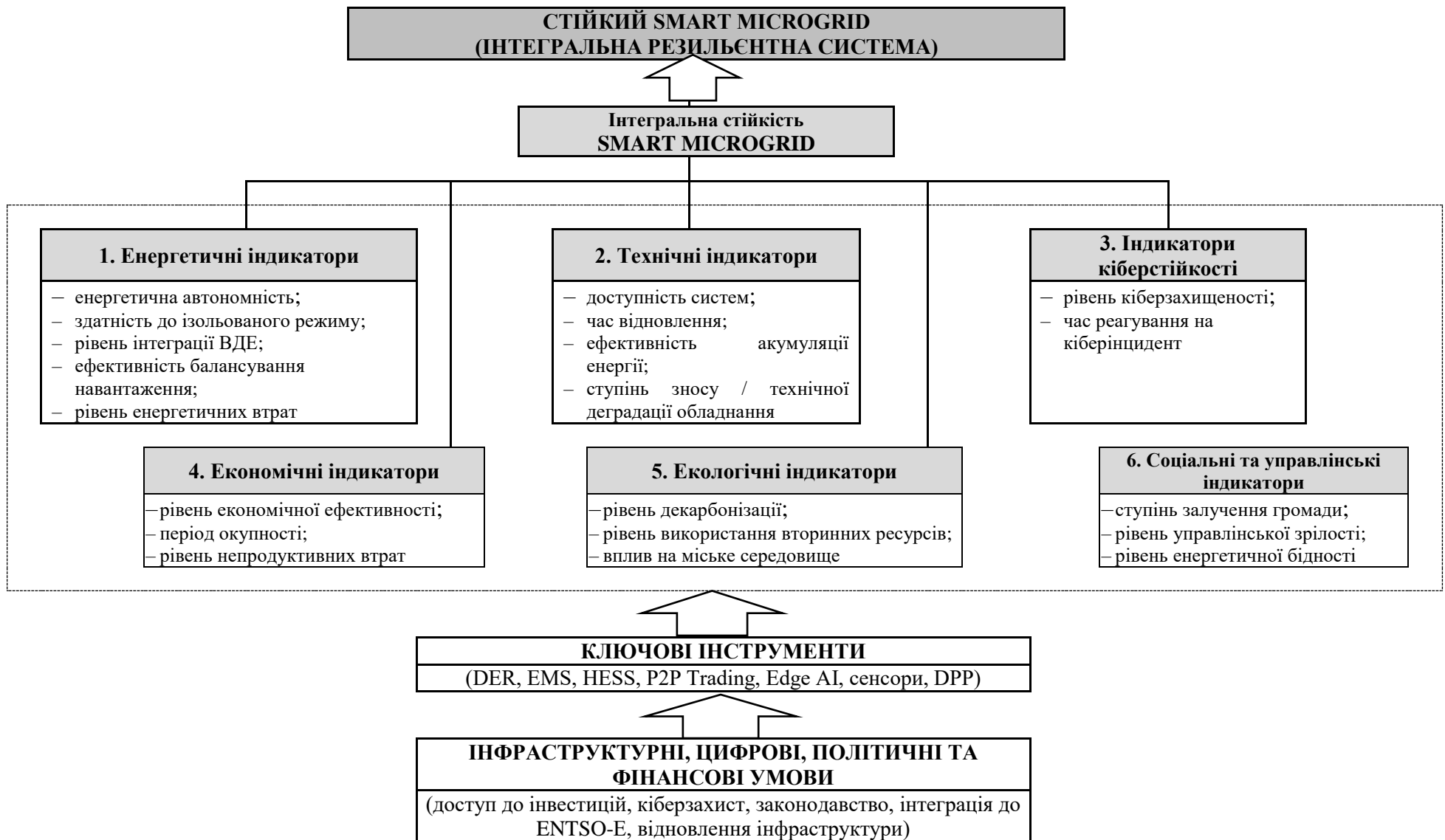


Рис. 3.8. Індикативна модель стійкості Smart Microgrid, запропоновано автором.

На базовому рівні модель враховує інфраструктурні, цифрові, політичні та фінансові передумови, які визначають можливість функціонування та масштабування smart microgrids у міському середовищі. Цей рівень є зовнішнім щодо microgrids, але критичним для запуску усіх наступних механізмів.

Другий рівень моделі утворюють інструментальні технології, які складають технічне ядро smart microgrids: DER, EMS, HESS, платформи енергетичного обміну P2P, сенсорні мережі та Edge/AI-компоненти. Кожен із цих інструментів виконує окремі функції, однак саме їх інтеграція забезпечує адаптивність, автономність і здатність системи до самооновлення. Технологічний рівень у моделі виконує роль «операційного ядра», яке забезпечує інтелектуальність і гнучкість microgrids. Детальна характеристика інструментів репрезентована у таблиці К.2 додатку К. Сукупність інструментів упровадження smart microgrids в енергетичній системі міст охоплює взаємопов'язані технологічні, управлінські, інфраструктурні та регуляторні рішення, що формують цілісну архітектуру децентралізованої та стійкої енергетики. Центральне місце у цій системі займають DER, які забезпечують локалізоване виробництво та зменшують залежність від централізованих високовольтних мереж. Функціональне ядро smart microgrids становлять EMS, які забезпечують моніторинг, прогнозування та автоматизоване балансування потоків енергії. HESS виконують стабілізаційну функцію, компенсуючи інтермітентність ВДЕ та забезпечуючи пікове балансування. P2P платформи виступають інституційно-технологічним інструментом, що формує основу локалізованих енергетичних ринків. Технологія «перефінансування» та децентралізовані системи управління забезпечують оперативність прийняття рішень, мінімізацію затримок та здатність smart microgrids функціонувати при часткових збоях зв'язку. Інтегровані сенсорні мережі та системи моніторингу дозволяють відстежувати характеристики мережевого обладнання у режимі реального часу, виявляти аномалії та запобігати аварійним відключенням. Регуляторні та інституційні інструменти формують нормативне поле для впровадження smart microgrids, інфраструктурні рішення та модульні архітектури microgrids створюють основу

масштабованості й адаптивності систем, дозволяючи розвивати smart microgrids без надмірних реконструкцій, а фінансово-економічні інструменти обумовлюють втілення / життєздатність проєктів smart microgrids.

Державно-приватні партнерства посідають вагоме місце у фінансуванні та розгортанні міських smart microgrids, однак водночас ускладнюють координацію зацікавлених сторін/стейкхолдерів та дотримання регуляторних вимог (залучення приватного капіталу до розвитку децентралізованої енергетичної інфраструктури потребує узгодження інтересів учасників (держави, органів місцевого самоврядування, операторів систем розподілу, інвесторів), що ускладнює реалізацію таких проєктів). З метою стимулювання впровадження smart microgrids уряди можуть застосовувати податкові пільги, цільові субсидії, пільгові кредитні лінії, спрощені дозвільні процедури та інші стимули, спрямовані на зниження трансакційних витрат і ризиків.

Важливим напрямом зміцнення фінансової бази локальних енергетичних проєктів є підтримка енергетичних стартапів, які генерують інноваційні рішення щодо розвитку генерації, енергоефективності, накопичувачів енергії та цифрових систем управління microgrids тощо, а також механізми акселераційних програм та партнерств (зокрема, між університетами й громадами). Розвиток венчурного фінансування, акселераційних програм та партнерств, залучення прямих іноземних інвестицій створює умови для швидкого тестування і масштабування технологій, що здатні суттєво підвищити гнучкість та інноваційність локальних енергетичних систем [39; 192].

Практика Німеччини та Японії демонструє ефективність поєднання фінансових та регуляторних інструментів, зокрема «зелених» кредитів та механізмів стимулюючих тарифів на відпуск електроенергії з відновлюваних джерел. Водночас розвиток локалізованих енергетичних ринків, що покликані підтримувати децентралізовані моделі генерації та споживання, стримується фрагментарністю регуляторних рамок і наявністю технологічних бар'єрів, насамперед у частині цифрової інфраструктури, стандартів обміну даними та інтеграції з існуючими мережами [261].

Наступним рівнем моделі виступають шість блоків індикаторів стійкості, які в моделі представлено як взаємопов'язані площини: енергетична, технічна, кібернетична, економічна, екологічна та соціально-управлінська стійкість. Індикатори стійкості smart microgrid відображають багатовимірну природу функціонування децентралізованої енергосистеми та дозволяють комплексно оцінити здатність забезпечувати безперебійність, адаптивність і екологічну результативність енергопостачання в умовах зростаючих техногенних, соціальних та безпекових викликів. Кожен блок індикаторів оцінюється через систему показників стійкості smart microgrid (таблиця К.3 додатку К).

Енергетична стійкість охоплює автономність, частку ВДЕ, здатність до ізолюваного режиму та ефективність балансування навантаження. Одним із ключових індикаторів виступає коефіцієнт енергетичної автономності, який характеризує частку локально згенерованої енергії у загальному балансі microgrid. Високі значення цього показника свідчать про незалежність системи від централізованих мереж, що є критично важливим у контексті гібридних загроз та можливих перебоїв у функціонуванні магістральної інфраструктури. Водночас показник здатності до ізолюваного режиму відображає спроможність smart microgrid функціонувати автономно під час аварій та руйнувань, забезпечуючи живлення об'єктів критичної інфраструктури, що суттєво підвищує загальну резильєнтність міських систем. Не менш важливим є рівень інтеграції відновлюваних джерел енергії, який характеризує внесок ВДЕ у загальну генерацію та відображає ступінь декарбонізації локальних енергосистем. Високі значення цього індикатора узгоджуються з політикою досягнення кліматичної нейтральності та сприяють підвищенню екологічної стійкості міських агломерацій. Ефективність балансування навантаження та обсяг внутрішніх енергетичних втрат демонструють технічну стабільність smart microgrid: здатність адаптивно реагувати на пікові навантаження та забезпечувати мінімальні втрати під час передачі енергії.

Технічна стійкість характеризується доступністю системи, швидкістю відновлення після відмов, ефективністю накопичення енергії та рівнем деградації

обладнання. Технічна надійність відображається через коефіцієнт доступності системи та показник часу відновлення після аварій. Ці індикатори є важливими для оцінювання життєздатності microgrid у режимах надзвичайних ситуацій, зокрема під час кібератак або руйнувань енергетичної інфраструктури. Ефективність акумулювання енергії та рівень технічної деградації обладнання визначають довгострокову працездатність та стабільність локальних контурів, оскільки саме системи зберігання забезпечують баланс у випадку інтермітентності ВДЕ.

Кіберстійкість визначає здатність системи протистояти цифровим загрозам і забезпечувати надійний захист даних і алгоритмів управління. Індикатори кіберзахищеності та швидкість реагування на кіберінциденти набувають особливої ваги в умовах цифровізації енергетики та гібридної війни. Їх значення полягає у визначенні здатності smart microgrid протистояти кібератакам, забезпечувати цілісність даних та мінімізувати ризики втручання у роботу систем управління.

Економічні індикатори (рівень економічної ефективності, період окупності та рівень непродуктивних втрат) дозволяють оцінити фінансову доцільність впровадження smart microgrid, його життєздатність у контексті муніципальних інвестицій і можливостей державно-приватного партнерства.

Економічна стійкість вимірює фінансову життєздатність smart microgrid, тоді як екологічна, – відповідність системи принципам декарбонізації та циклічної економіки. Зокрема індекс декарбонізації та показник циркулярності, визначають вплив функціонування microgrid на довкілля, включаючи можливість перероблення компонентів обладнання.

Соціально-управлінська стійкість охоплює рівень участі громади, управлінську зрілість та доступність енергопостачання для населення, відображає важливі аспекти соціальної справедливості й ефективності комунікації між зацікавленими сторонами. Високі значення цих індикаторів вказують на інституційну готовність міста до впровадження децентралізованих

енергетичних рішень, наявність громадської підтримки та потенціал локальної кооперації у генерації та розподілі енергії.

Отже, сукупність індикаторів стійкості smart microgrid дозволяє не лише оцінити функціонування локальних енергетичних систем у нормальних та кризових умовах, а й сформувавши науково обґрунтовану основу для прийняття стратегічних управлінських рішень щодо розвитку міської енергетики.

Верхній рівень моделі – сталий розвиток smart microgrid міста – відображає цільовий стан системи, який досягається за умови оптимальних параметрів системи (показників). Він характеризує енергетичну систему, як здатну забезпечувати місто надійною, безпечною, екологічною та економічно ефективною енергією в умовах зростаючих викликів (воєнних загроз, кліматичних змін, кібернетичних атак, урбанізації).

Важливо наголосити, що блоки моделі утворюють взаємозалежну структуру, у якій дисфункція одного елемента призводить до зниження загальної стійкості системи.

Таким чином, запропонована індикативна модель демонструє, що стійкість smart microgrid є результатом системної інтеграції технологічних інновацій, інституційних реформ, цифрових рішень, екологічних механізмів і соціальної взаємодії. Вона забезпечує методичну основу для оцінювання, порівняння, планування розвитку міських smart microgrid та може бути використана як основа у процесі прийняття управлінських рішень у сфері міської енергетичної політики.

Висновки до третього розділу

1. Сучасна парадигма розвитку енергетичного сектора полягає у стратегічному переосмисленні архітектури, реалізації комплексної концептуальної моделі його трансформації на засадах адаптивності, безпечності (у т. ч. екологічної), стабільності, ефективності, доступності (у т. ч. соціальної), прозорості. Вона має включати підвищення гнучкості енергосистеми, розвиток

децентралізованих енергосистем, ринкових механізмів регулювання, цифровізацію та інтелектуалізацію управління енергетикою, інституційну модернізацію та інтегроване стратегічне планування, розвиток відновлюваної енергетики та низьковуглецевих технологій, підвищення рівня фізичної та кібербезпеки, формування стійкої енергетичної інфраструктури, здатної забезпечувати безперервність енергопостачання в умовах війни та руйнування об'єктів критичної інфраструктури, погодних, гібридних загроз.

На основі визначеної парадигми сталого розвитку енергетичного сектора розроблено ланцюг цінності, який охоплює блоки (інституційно-управлінський, технологічно-інфраструктурний, безпековий, еколого-інноваційний, інтеграційно-економічний), кожен з яких формує власну додану цінність і забезпечує основу для наступного етапу. Реалізація концепуально визначених парадигмою основ розвитку енергетичного сектора формує нормативну визначеність, забезпечує операційну спроможність, стійкість, інноваційний розвиток на принципах кліматичної нейтральності, інтеграцію України до європейського енергетичного простору, реалізацію спільних проєктів, залучення інвестицій тощо, та створює кумулятивний ефект щодо забезпечення енергетичної безпеки.

Визначено інструменти, реалізація яких направлена на досягнення кліматичної нейтральності енергетичного сектора, який серед інших галузей найбільше продукує викидів CO₂. Розвиток енергетичного сектора на принципах сталості потребує урахування повного життєвого циклу енергетичних технологій, включаючи управління відходами сонячних панелей, акумуляторів, лопатей ВЕС та відходів ядерного циклу. Визначені елементи системи управління процесами утилізації відходів відновлювальних джерел енергії та суміжних енергетичних систем (розширена відповідальність виробника щодо переробки відходів, «проєктування переробки», інноваційний рециклінг композитів та розбудова інфраструктури для переробки небезпечних відходів) доповнюють контекст реалізації сучасної парадигми сталого розвитку енергетичної галузі, забезпечують перехід від лінійної до циркулярної моделі

розвитку енергетики, що відповідає сучасним підходам і практикам досягнення цілей сталого розвитку.

2. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України ґрунтуються на інтеграції системи заходів та засобів у рамках організаційного (визначає правила гри та створює умови для розвитку локальних енергетичних систем, включаючи громади й екоіндустріальні парки), економічного (забезпечує ресурсну та інвестиційну базу трансформацій, сприяє розвитку ВДЕ, стимулює модернізацію й децентралізацію) та функціонального (забезпечується здатність системи адаптуватися до ризиків, управляти складними процесами та приймати рішення на основі прогностичної аналітики) вимірів. Їх синергія формує стійку, гнучку та інноваційно орієнтовану модель енергетичної безпеки України, здатну відповідати на сучасні загрози та виклики сталого розвитку.

Платформами забезпечення децентралізації, оптимального використання ресурсів і зменшення залежності від централізованих мереж визначено локальні енергетичні хаби та екоіндустріальні парки. Їх функціонування створює умови для підвищення енергетичної автономності громад, диверсифікації джерел енергії та формування циркулярних моделей використання ресурсів.

Інженерний менеджмент забезпечує техніко-економічне обґрунтування рішень, раціональне планування та інтеграцію гнучких технологій у роботу мереж. У системі ризик орієнтованого управління інженерний підхід дозволяє здійснювати більш точну ідентифікацію та оцінку загроз на основі аналітичних моделей, цифрових платформ і нейромережевих інструментів, що підсилює здатність системи завчасно реагувати на небезпеки. Поєднання економічних, організаційних і технічних рішень формує адаптивну систему реагування на виклики, загрози та посилює здатність енергетичного сектора до відновлення і розвитку.

3. В умовах воєнних та гібридних загроз забезпечення енергетичної безпеки України вимагає переходу від централізованих моделей енергопостачання до децентралізованих, цифровізованих та стійких архітектур,

здатних гарантувати автономність, адаптивність і безперервність функціонування. Ключовими компонентами трансформації енергетичної системи є розподілена генерація, інтелектуальні мережі, цифрові системи моніторингу та прогнозування, сучасні технології накопичення енергії та інновативні механізми кіберзахисту, які спільно формують енергетичну резильєнтність. Інституційні та регуляторні механізми, інструменти державно-приватного партнерства, стимули для розвитку відновлюваної енергетики та моделі громадської енергетики створюють необхідні умови для масштабування інноваційних технологій.

Розроблено індикативну модель стійкості smart microgrid, яка відображає системну, багаторівневу та взаємопов'язану логіку формування стійкої енергетичної інфраструктури. Модель об'єднує взаємопов'язані блоки: структурно-організаційні передумови (інфраструктурні, цифрові, політичні та фінансові), технологічні інструменти стійкості (DER, EMS, HESS, сенсорні мережі, P2P-платформи, Edge/AI-рішення), а також систему індикаторів оцінювання (енергетичні, технічні, кібернетичні, економічні, екологічні та соціально-управлінські). Запропоновано використовувати цю модель як методичну основу для оцінювання стійкості, порівняльного аналізу різних конфігурацій microgrid та підтримки стратегічних управлінських рішень у сфері енергетичного планування для забезпечення енергетичної безпеки.

Основні наукові результати опубліковані у таких авторських працях: [24; 27; 28; 29; 32; 34; 35; 37; 38; 40; 45; 47; 193; 194; 196].

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження сформовано теоретико-методичні основи та організаційно-практичні рекомендації щодо сталого розвитку енергетичного сектора та забезпечення енергетичної безпеки України на засадах сталого розвитку. Отримані наукові результати дозволяють сформулювати такі висновки:

1. Безпека, як фундаментальна категорія суспільного розвитку, еволюціонувала від філософських роздумів про самозбереження людини до сучасного системного розуміння національної безпеки та її складових. Енергетична безпека є ключовою складовою економічної/національної безпеки. Поняття «економічна безпека» ми трактуємо як збалансований та стійкий стан національної економіки, який досягається на основі ефективно функціонуючого механізму протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам (у т. ч. цілеспрямованим впливам), шляхом реалізації комплексу заходів, спрямованих на сталий розвиток країни у врівноважених вимірах (економічному, соціальному, екологічному). Поняття «енергетична безпека» ми трактуємо як динамічний стан захищеності національної енергетичної системи від внутрішніх і зовнішніх загроз, що забезпечує стабільне, економічно ефективне, технічно надійне, екологічно збалансоване та соціально прийнятне енергозабезпечення потреб суспільства й економіки у стабільних умовах функціонування, в умовах кризових ситуацій та трансформацій; передбачає інституційну спроможність держави до формування, реалізації та адаптації політики в енергетичній сфері з метою захисту національних інтересів і підтримки сталого розвитку.

2. Управління енергетичною безпекою є складною, багаторівневою та динамічною системою. Узгодженість дій між рівнями (мікро-, мезо-, макро-, глобальний), а також ефективна реалізації визначених принципів слугують методичним підґрунтям для ефективного формування та реалізації політики щодо забезпечення енергетичної безпеки. З урахуванням контексту сучасних реалій «ризиків» енергоринку визначено як імовірність виникнення певних

наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспрямованих дій контрагентів. «Управління ризиками» в енергетичному секторі визначено як цілеспрямований, системний, проактивний та адаптивний процес ідентифікації та постійного моніторингу, оцінювання викликів та загроз (технічних, економічних, екологічних, соціальних, кібернетичних та геополітичних) з використанням традиційних методів (страхування, диверсифікація, резервування, хеджування) та високим рівнем інформованості за рахунок використання цифрової аналітики, планування з метою оперативного реагування на динамічні виклики та упередження/ нівелювання/ мінімізації загроз енергетичній безпеці та стабільному функціонуванню галузі.

3. Світовий досвід засвідчує, що функціонування енергетичної системи та управління енергетичною безпекою базується на поєднанні державного стратегічного регулювання, технологічних інновацій і диверсифікації джерел енергії. Кожна країна формує власну модель, адаптовану до національних ресурсів, економічних можливостей і геополітичних реалій. Аналіз світового досвіду свідчить про сталий тренд на збільшення частки генерації з відновлюваних джерел енергії (вітрової, сонячної, гідроенергетики), а також набувають розвитку проєкти генерації енергії з використанням малих модульних атомних реакторів. Розвиток цих видів генерації енергії дозволяє знижувати вуглецеву інтенсивність електроенергетики, що є важливим у контексті забезпечення розвитку енергетики на принципах сталості.

Успішні міжнародні практики управління енергетичною безпекою, підвищення енергетичної незалежності, зменшення вуглецевого сліду та забезпечення стабільності енергетичного сектора в умовах глобальних викликів доцільно адаптувати до національних умов. У той же час, Україна згенерувала власний практичний досвід забезпечення функціонування енергетичної системи в умовах війни та безпрецедентних цілеспрямованих ракетних атак РФ по її об'єктах енергетики. Такий досвід є цінним для країн світу в контексті реагування на масштабні виклики та загрози енергетичній безпеці.

4. Аналіз основних макроекономічних показників України, детермінант розвитку енергетичного комплексу України засвідчує функціонування у турбулентному середовищі, що обумовлено поєднанням історично-еволюційних структурних дисбалансів, масштабними викликами та загрозами періоду повномасштабної війни. Макроекономічні індикатори засвідчують вразливість національної економіки, залежність від імпорту, зовнішньої підтримки (кредити, гранти тощо), що створює загрози безпеці, зокрема енергетичній.

Енергетичний сектор продовжує відігравати ключову роль у забезпеченні можливостей функціонування галузей національної економіки та життєдіяльності населення, однак його стійкість та підтримання операційної стабільності об'єднаної енергетичної системи суттєво знижена через системні атаки на критичні енергетичні об'єкти, втрати потужностей генерації енергії та високу залежність від впливу зовнішніх чинників.

5. Результати аналізу свідчать про наявну невідповідність між поточними трендами розвитку енергетичного сектору та цільовими орієнтирами України до 2030 р. в межах завдань Цілі 7 «Доступна та чиста енергія». Зокрема, частка відновлюваних джерел у кінцевому споживанні зростає недостатньо швидкими темпами; енергомісткість ВВП, попри тренд зниження, залишається однією з найвищих у Європі; показники енергоефективності та технологічних втрат у мережах відстають від планових значень; рівень диверсифікації джерел постачання енергоресурсів не відповідає стратегічним орієнтирам щодо зменшення імпортозалежності.

Ідентифіковано спектр викликів та загроз енергетичній безпеці України за напрямками (руйнування, спричинені війною, фінансово-економічні, техніко-технологічні, кіберзагрози та інформаційні атаки, екологічні вимоги та кліматичні виклики, корупція та неефективне управління). Систематизовано групи ризиків, які впливають на досягнення цілей сталого розвитку.

6. Існуючі підходи до оцінювання загроз енергетичній безпеці засвідчують їх фрагментарність. Сформовано науково-методичні засади ідентифікації, оцінювання загроз та управління ризиками енергетичній безпеці України, що

передбачають комплексне поєднання індикаторного аналізу, аналітичної логіки моделі DPSIR та інтелектуальних методів обробки даних. Запропонована модель забезпечує структурування циклу управління ризиками: від формування інформаційної бази та класифікації чинників до побудови нейромережевого механізму оцінювання ступеня загроз, пріоретизації ризиків та визначення відповідних управлінських реакцій. Поєднання індикативних систем з логікою DPSIR, інструментами аналізу та кластеризації дозволяє ідентифікувати як статичні, так і динамічні загрози, виявляти приховані взаємозв'язки між чинниками, визначати системні кластери ризиків і формувати науково-обґрунтовані управлінські рішення.

Розроблена система є не лише інструментом діагностики, але й практичним механізмом підтримки рішень, здатним орієнтувати політику енергетичної безпеки на випередження ризиків, мінімізацію їх впливу та посилення стійкості функціонування енергетичного сектора в умовах невизначеності та криз.

7. Сучасна парадигма розвитку енергетичного сектора полягає у стратегічному переосмисленні його архітектури, реалізації комплексної концептуальної моделі трансформації енергетичної системи на засадах сталого розвитку. У рамках сучасної парадигми розроблено ланцюг доданої цінності який охоплює інституційно-управлінський, технологічно-інфраструктурний, безпековий, еколого-інноваційний, інтеграційно-економічний блоки. Реалізація концепуально визначених парадигмою основ розвитку енергетичного сектора формує нормативну визначеність, забезпечує операційну спроможність, стійкість, інноваційний розвиток енергетичної системи та інтеграцію України до європейського енергетичного простору на принципах кліматичної нейтральності, реалізацію спільних проєктів, залучення інвестицій, перехід від лінійної до циркулярної моделі розвитку енергетики, що відповідає сучасним підходам і практикам досягнення цілей сталого розвитку, та створює кумулятивний ефект щодо забезпечення енергетичної безпеки.

8. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України ґрунтуються на інтеграції системи заходів та засобів у рамках

організаційного, економічного та функціонального вимірів. Платформами забезпечення децентралізації, оптимального використання ресурсів і зменшення залежності від централізованих мереж визначено локальні енергетичні хаби та екоіндустріальні парки. Інженерний менеджмент забезпечує техніко-економічне обґрунтування рішень, раціональне планування та інтеграцію гнучких технологій у роботу мереж, дозволяє здійснювати більш точну ідентифікацію та оцінку загроз на основі аналітичних моделей, цифрових платформ і нейромережевих інструментів, що підсилює здатність системи завчасно реагувати на небезпеки.

9. Інноваційними трансформаціями в умовах воєнних та гібридних загроз забезпечення енергетичної безпеки України є перехід від централізованих моделей енергопостачання до децентралізованих, цифровізованих та стійких архітектур, здатних гарантувати автономність, адаптивність і безперервність функціонування. Розроблено індикативну модель стійкості smart microgrid, яка відображає системну, багаторівневу та взаємопов'язану логіку формування стійкої енергетичної інфраструктури. Модель об'єднує взаємопов'язані блоки: структурно-організаційні передумови (інфраструктурні, цифрові, політичні та фінансові), технологічні інструменти стійкості (DER, EMS, HESS, сенсорні мережі, P2P-платформи, Edge/AI-рішення), а також систему індикаторів оцінювання (енергетичні, технічні, кібернетичні, економічні, екологічні та соціально-управлінські). Запропоновано використовувати цю модель як методичну основу для оцінювання стійкості, порівняльного аналізу різних конфігурацій microgrid та підтримки стратегічних управлінських рішень у сфері енергетичного планування для забезпечення енергетичної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрусів У. Інституційні особливості енергетичного ринку України: виклики для трейдерів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Серія «Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості»*. 2025. № 1(31). С. 46-56. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2025-1\(31\)-46-56](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2025-1(31)-46-56)
2. Бандурка О. М., Духов В. Є., Петрова К. Я., Червяков І. М. *Основи економічної безпеки: підручник*. Харків: Вид-во Нац. ун-ту внутр. справ, 2003. 236 с.
3. Барановський О. І. *Фінансова безпека в Україні (методологія оцінки та механізми забезпечення): монографія*. Київ: КНТЕУ, 2004. 759 с.
4. Біогазові електростанції. URL: <https://madek.ua/ua/biogas-ua>
5. Бобров Є. А. *Енергетична безпека держави: монографія*. Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2013. 308 с.
6. Британський уряд руйнує правила, щоб зрушити з місця атомне будівництво – заява уряду. URL: <https://infoatom.news/2025/02/06/06022025>
7. Васильківський Д. Використання енергоефективних технологій у формуванні національної політики підвищення енергоефективності. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 326(1). С. 470-473. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-326-75>
8. Васильківський Д., Сисюк В. Європейські механізми підвищення енергоефективності економіки та перспективи їх впровадження в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024. № 66. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44>
9. Виробництво електроенергії в Україні у 2023 році порівняно з 2022 роком. URL: <https://greendealukraine.org/gd-tracker/figure-of-the-week/2024/ukraine-electricity-generation-2023-2022>
10. Відновлювана енергія. URL: https://ukraineinvest.gov.ua/en/industries/energy/renewable-energy/?utm_source=chatgpt.com
11. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. *Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія*. Київ: КНЕУ, 2004. 480 с.

12. Вітлінський В. В., Верченко П. І. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком : навч.-метод. посіб. Київ: КНЕУ, 2000. 292 с.
13. Внутрішнє виробництво енергії за джерелами, Україна, 1990-2023 pp. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=UKRAINE&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>
14. Всеукраїнська енергетична асамблея. Аналітика. URL: <https://uaea.com.ua/dysp.html>
15. Глобалізація та безпека розвитку: монографія; ред. О. Г. Білорус. Київ: КНЕУ, 2001. 733 с.
16. Гораль Л., Шкварилук М., Войтків Л., Корнієнко А. Інжиніринг в енергетиці як запорука підвищення фінансово-економічної ефективності її діяльності. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (економічні науки)*. 2023. № 3. С. 99-103. <https://doi.org/10.20998/2519-4461.2023.3.99>
17. Гораль Л. Стратегічні аспекти управління енергетичною безпекою промислових підприємств в умовах мінливості зовнішнього середовища. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 334(5). С. 404-411. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-334-61>
18. Губський Б. В. Економічна безпека України: методологія виміру, стан і стратегія забезпечення. Київ: ДП «Укрархбудінфор», 2001. 122 с.
19. Дарнопих Г. Ю. Елементи системи національної економічної безпеки. *Економічна безпека: проблеми і стратегія забезпечення в Україні*: зб. наук. праць. Харків: ХІБМ, 1998. С. 9-17.
20. Демченков Я. Як війна в Україні пришвидшує перехід ЄС на відновлювані джерела енергії. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/05/12/686934/>
21. Динаміка і структура споживання електроенергії в Україні. URL: <https://uaea.com.ua/dysp/ee-cons.html>
22. Диха В. В. Аналіз виробництва електроенергії у системі досягнення цілей сталого розвитку. *Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство*: тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (27-28 березня 2025 р.). Київ: КУК, КНУКиМ, 2025. Ч. 3. С. 51-53. URL: <https://elar.khmnmu.edu.ua/handle/123456789/18570>

23. Диха В. В., Диха М. В. Інноваційний розвиток енергетики у системі повоєнного розвитку України. *Фінансово-економічна платформа парадигмальних змін повоєнного розвитку України*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті проф. Войнаренка М. П. (27-28 жовтня 2022 р.). Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 46-48. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13099>

24. Диха В. В. Інженерний менеджмент у системі забезпечення енергетичної безпеки України. *Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (10 квітня 2025 р.). Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2025. С. 83-85. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18567>

25. Диха В., Лук'янова В. Ризики енергоринку: сутність дефініції та характеристики. *MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS*. 2023. № 1. С. 28-36. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-7-4> ; <https://mdes.khmnu.edu.ua/index.php/mdes/article/view/134/116>

26. Диха В., Любохинець Л., Танасієнко Н. Виклики та загрози для забезпечення економічної безпеки суб'єктів енергоринку. *Підприємництво та стратегічні напрями розвитку бізнес-процесів в умовах глобальних викликів*: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. екон. форуму (5-7 грудня 2024 р.). Хмельницький: ХНУ, 2024. С. 174-178. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18565>

27. Диха В. Обґрунтування важливості декарбонізації у системі цілей сталого розвитку. *Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (15-16 лютого 2024 р.). Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2024. С. 37-39. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18568>

28. Диха В. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025. № 348(6). С. 66-71. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-348-6-9> ; <https://heraldes.khmnu.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/2531/2588>

29. Диха В. В. Парадигма розвитку енергетичного ринку на принципах сталості. *Стратегії, моделі та технології управління економічними системами*: матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. (6 грудня 2024 р.). Хмельницький:

ХНУ, 2024. С. 38-43. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18569>

30. Диха В. В., Таранюк О. В. Еволюція становлення системи забезпечення економічної безпеки. Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості. 2023. № 2(28). С. 53-62. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2\(28\)-53-62](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2(28)-53-62) ;

<https://eung.nung.edu.ua/index.php/ecom/article/view/580/392>

31. Диха В. Управління ризиками енергоринку. *Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 125-річчю НУБіП України (26 квітня 2023 р.). Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2023. С. 115-118. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18566>

32. Диха В. В. Smart grid як концепція інноваційного розвитку енергетичної системи. *Сталі розумні міста та території: європейський досвід та можливості для України у повоєнний період*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 травня 2025 р.). Луцьк: ЛНТУ, 2025. С. 100-102. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/19287>

33. Диха М., & Диха В. Адаптивність як ключова вимога до корпоративного управління в умовах сучасних викликів. *MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS*. 2025. № 2. С. 395-401. <https://doi.org/10.31891/mdes/2025-16-50> ;

<https://mdes.khmnu.edu.ua/index.php/mdes/article/view/656>

34. Диха М., Диха В. Активізація можливостей використання деривативів на аграрному та енергетичному ринках України. *Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 65-річчю ВП НУБіП України «БАТІ» (10 квітня 2024 р.). Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2024. С. 38-42. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/16225>

35. Диха М. В., Диха В. В. Економіка сталого розвитку: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2024. 408 с. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/17542>

36. Диха М. В., Диха В. В. Енергетична безпека України у контексті загроз запуску «Північний потік-2». *Інструменти регулювання національної економіки та національної безпеки в умовах сучасних глобальних викликів*:

матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (5 листопада 2021 р.). Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 60-63. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/10862>

37. Диха М. В., Диха В. В. Енергоменеджмент у системі стратегічного управління. *Розвиток України та її регіонів: реалії і перспективи*: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (20 жовтня 2021 р.). Хмельницький: ХТЕК КНТЕУ, 2021. С. 52-56. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/11539>

38. Диха М. В., Диха В. В., Зима В. М. Екологічність як складова сучасної парадигми розвитку енергетичної системи. *Актуальні проблеми управління соціально-економічними системами*: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (15 грудня 2023 р.). Луцьк: ЛНТУ, 2023. Ч. 1. С. 52-54. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/15268>

39. Диха М. В., Диха В. В., Зима В. М. Прямі іноземні інвестиції в економіці України: стан, тенденції та перспективи залучення. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Серія «Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості»*. 2022. Т. 2(26). С. 53-64. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2022-2\(26\)-53-64](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2022-2(26)-53-64)

40. Диха М., & Диха В. Інструменти хеджування в управлінні ціновими ризиками (на прикладі аграрного і енергетичного ринків України). *Економіка України*. 2024. № 67(03(748)). С. 19-36. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.03.019> ; <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/economyukr/article/view/2024-03-2/2024-03-02>

41. Диха М., & Диха В. Підходи, моделі та інструменти корпоративного управління в умовах війни та економічної турбулентності. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025. № 344(4). С. 390-396. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-344-4-54>

42. Диха М., Диха В. Рівень інноваційності розвитку України в глобальному вимірі та окреслення його перспектив. *Київський економічний науковий журнал*. 2023. № 2. С. 5-15. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-2-1>

43. Диха М., & Диха В. Тенденційний аналіз макроекономічних показників України та шляхи їх покращення. *Київський економічний науковий журнал*. 2025. № 11. С. 107-118. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-11-14> ; <https://journals.kymu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/304/297>

44. Диха М. В., Диха В. В. Функціонування енергетичної сфери України в

умовах війни. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті, подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи в умовах воєнного стану*: матеріали XXI Міжнар. наук. семінару (4-8 липня 2022 р., Київ – оз. Світязь). Київ: НАУ, 2022. С. 18-20. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13186>

45. Диха М., Диха В. Цифрові технології у системі забезпечення сталого розвитку: екологічний аспект. *Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (18 жовтня 2023 р.). Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2023. С. 23-27. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/15271>

46. Диха М. В. Газовидобування в Україні: стан, проблеми, перспективи у системі енергоринку. *Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості*. 2021. № 2(24). С. 7-16. URL: <https://eung.nung.edu.ua/index.php/ecom/article/view/357/310>

47. Диха М. В., Диха В. В. Циркулярна економіка як вектор трансформації системи управління соціально-економічним розвитком. *Актуальні проблеми управління та адміністрування: теоретичні і практичні аспекти: зб. тез X Міжнар. наук.-практ. конф. науковців та здобувачів вищої освіти (15 травня 2025 р.)*. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. С. 7-10. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18523>

48. Диха М. В. Економічна безпека країни: сутність та складові. *Нова траєкторія розвитку національної економіки: мікро-, макро- та прикладні аспекти*: монографія / під ред. О. В. Покатаєвої, М. В. Болдуєва, Г. Ю. Кучерової. Запоріжжя: КПУ, 2017. С. 284-298. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/7635>

49. Диха М. В. Соціальна сфера України в контексті забезпечення соціальної безпеки. *Сучасні питання економіки і права: зб. наук. праць. Серія «Економічні науки»*. Київ: КиМУ, 2020. Вип. 1(11). С. 119-128. URL: <https://kymu.edu.ua/arkhiv-zbirnykiv-naukovykh-prats-suchasni-pytannya-ekonomiky-i-prava-2011-2018-rr-/>

50. Дзьоба О. Г., Кінаш І. П. Вплив глобальних чинників на розвиток газового ринку. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості*. 2019. № 2. С. 33-44. URL:

<http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/7462>

51. ДТЕК. URL: <https://dtek.com/about/>
52. Економіка енергетики: підручник за ред. Л.Г. Мельника, І.М. Сотник. Суми. Університетська книга. 2015. 378 с.
53. *Економічна енциклопедія*: у 3 т. Т. 1: А–К. / за ред.: С. В. Мочерного. Київ: Видавничий центр «Академія», 2000. 503 с.
54. *Економічна енциклопедія*: у 3 т. Т. 2 / за ред. С. В. Мочерного. Київ: Видавничий центр «Академія», 2001. 848 с.
55. Енергетична система України: стан на кінець 2024 року та сценарії на 2025. URL: https://oil-gas.com.ua/statti/enerhetychna_systema_ukrainy_stan_na_kinets_2024_roku_ta_stsenarii_na_2025
56. Європейський зелений курс. URL: <https://eur-lex.europa.eu/>
57. Єрмошенко М. М. *Фінансова безпека держави: національні інтереси, реальні загрози, стратегія забезпечення*. Київ: КНТЕУ, 2001. 309 с.
58. Жаліло Я. А. До формування категоріального апарату науки про економічну безпеку. *Стратегічна панорама*. 2004. № 3. С. 97-104.
59. Загальне енергопостачання (ТЕС) за джерелами, Україна, 1990-2023 pp. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=UKRAINE&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>
60. Збитки і втрати енергетики України внаслідок війни перевищують \$56 млрд. URL: <https://minprom.ua/news/315189.html>
61. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на листопад 2024 року. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf
62. Земляний М. Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки: концептуальні підходи. *Стратегічна панорама*. 2009. № 2. С. 56-64.
63. Івченко І. Ю. Моделювання економічних ризиків і ризикових ситуацій: навч. посібник. Київ: ЦУЛ, 2007. 344 с.
64. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Оцінка технічної стійкості енергосистеми України, 2018-2024. URL: <https://www.ive.org.ua/language/en/>

65. Камінський А. Б. Економічний ризик та методи його вимірювання: монографія. Київ: Козаки, 2002. 119 с.
66. Караєва Н. В., Войтко С. В., Сорокіна Л. В. Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики: інформаційна підтримка прийняття рішень: навч. посібник. Київ: Альфа Реклама, 2013. 308 с.
67. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи: монографія. Київ: ПІНБ, 2003. 472 с.
68. Клят Ю., Соломицький О., & Таран О. Обґрунтування системи показників оцінювання енергетичної безпеки держави. *Міжнародний науковий журнал «Military Science»*. 2024. № 2(2). С. 5-12. <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.2.01>
69. Кравчик Ю. Воднева енергетика як ключовий елемент енергоефективної економіки України. *Innovation and Sustainability*. 2024. № 4. С. 174-179. <https://doi.org/10.31649/ins.2024.4.174.179>
70. Кравчик Ю., Каткова Т. Інноваційні рішення для енергоефективного виробництва водню: перспективи для України. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 336(6). С. 613-618. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-92>
71. Лойко В. В. Енергетична безпека в контексті економічної безпеки. *Ефективна економіка*. 2013. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2150>
72. Ліпкан В. А. Безпекознавство: навчальний посібник. Київ: Європейський університет, 2003. 208 с.
73. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А. Вітрова енергетика у Львівській області та проблеми перероблення непридатних вітрових установок. *Екологічні науки*. 2022. № 2(41). С. 156-163.
74. Лук'янова В. В. Діагностика ризику діяльності підприємства: монографія. Хмельницький: ПП Ковальський В. В., 2007. 312 с.
75. Мазур І. М. Дефініція поняття «енергетична безпека»: денотативний підхід. *Науково-інформаційний вісник. Економіка*. 2013. № 8. С. 302-314. URL: <https://visnyk.iful.edu.ua/wp-content/uploads/2019/02/8-46-13.pdf>
76. Матвійчук Н. М., Сидорук С. В. Механізм забезпечення енергетичної безпеки України: сутність, структура та проблеми формування. *Східна Європа*:

економіка, бізнес та управління. 2019. № 6(23). С. 164-172.
<https://doi.org/10.32782/easterneurope.23-24>

77. Матійчук Л. П. Аналіз та оцінювання тенденцій формування індикаторів стану електроенергетичного ринку України як основного базису для формування її електроенергетичної безпеки. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. 2023. № 1-2. С. 36-43. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/b15b7eed-528a-4675-8e8a-2020f15419d1/content>

78. Машина Н. І. Економічний ризик і методи його вимірювання: навч. посібник. Київ: ЦУЛ, 2003. 188 с.

79. Микитенко В. На чому базується енергетична безпека держави. *Вісник НАН України*. 2005. № 3. С. 41-46.

80. Миколук О. Теоретичні підходи до трактування поняття «енергетична безпека». *Причорноморські економічні студії*. 2016. Вип. 7. С. 129-133.

81. Міністерство енергетики України. Інформація офіційного сайту. URL: <https://mev.gov.ua/> ; <https://mev.gov.ua/storinka/istoriya-enerhetyky> Інтеграція у європейську електромережу ENTSO-E. URL: <https://mev.gov.ua/reforma/intehratsiya-u-yevropeysku-elektromerezhu-entso-e>

82. Мінфін. Індекси. URL: <https://index.minfin.com.ua/>

83. Моделювання економічної безпеки: держава, регіон, підприємство / за ред. В. М. Гейця. Харків: ВД «Інжек», 2006. 240 с.

84. Мунтіян В. І. Економічна безпека України: монографія. Київ: КВШ, 1999. 462 с.

85. Національна безпека України (методологічні аспекти, стан і тенденції розвитку): навчальний посібник / за заг. ред. П. В. Мельника, Н. Р. Нижник. Ірпінь, 2000. 304 с.

86. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна». URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=6f446a44-9bba-41b0-8642-8db3593e696e&title=NatsionalnaDopovid-tsiliStalogoRozvitku-Ukraina->

87. Німеччина більше не перешкоджатиме визнанню атомної енергетики «зеленою» в ЄС. URL: https://24tv.ua/economy/nimechchina-zminyuye-kurs-shhodo-atomnoyi-energetiki-24_n2825670

88. НАК «Нафтогаз України». Інформація офіційного сайту. URL: <https://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf?Open> ;
https://www.naftogaz.com/files/Zvity/NG_STRATEGY_2025_18.02.2021.pdf
89. Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку. URL: <https://www.nssmc.gov.ua/>
90. НКРЕКП. Методика визначення рівня концентрації та ліквідності на ринку електроенергії. Київ, 2020. <https://www.nerc.gov.ua/>
91. Омельчук Л., Хитра О. Синергетичні аспекти трансформації механізмів управління енергетичною безпекою в умовах геополітичної нестабільності. *Наукові записки університету*. 2024. № 4(100). С. 20-42. <https://doi.org/10.37491/UNZ.100.2>
92. Осовська Г. В., Осовський О. А. Менеджмент організацій: навч. посібник. Київ: Кондор, 2005. 854 с.
93. Останкова Л. А., Шевченко Н. Ю. Аналіз, моделювання та управління економічними ризиками: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 256 с.
94. Павлова О. М., Павлов К. В., Писанко С. В., Матійчук Л. П. Регулювання інвестиційно-інноваційної активності в електроенергетичній галузі України: монографія. Луцьк: ФОП Мажула Ю. М., 2023. 204 с.
95. Пакет ЄС «Fit for 55». URL: <https://ecoaction.org.ua/paket-ies-fit-for-55.html>
96. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / за заг. ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка. К.: УЕЗ, 2001. 398 с.
97. Паризька угода. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
98. Пасічник В. Г., Акіліна О. В. Планування діяльності підприємства: навч. посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2005. 256 с.
99. Пастернак-Таранушенко Г. А. Економічна безпека держави. Методологія забезпечення: монографія. Київ: Київський економічний інститут менеджменту, 2003. 320 с.
100. ПАТ «Укрнафта». URL: <https://www.ukrnafta.com/> ;
<https://www.ukrnafta.com/novini>,
101. Перспективи використання деривативів на зерновому ринку України:

звіт Проєкту USAID «Трансформація фінансового сектору». Київ, 2020. 70 с.
URL: https://www.nssmc.gov.ua/wp-content/uploads/2020/04/grain-market-research_27.4.2020.ukr_.pdf

102. Пріоритетні напрями удосконалення державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки України: аналітична записка. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1753/>

103. Про визнання права власності, витребування майна з володіння та зобов'язання вчинити дії. Постанова № 910/14243/22 від 24.07.2024 р. Верховний Суд. Касаційний господарський суд. URL: https://verdictum.ligazakon.net/document/120626000?utm_source=biz.ligazakon.net&utm_medium=news&utm_content=bizpress02

104. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення залучення інвестицій та запровадження нових фінансових інструментів: Закон України № 738-IX від 19.06.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/738-20#Text>

105. Про затвердження Вимог до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій від 07 листопада 2016 р. № 1449/29579 (із змінами і доповненнями). Державна інспекція ядерного регулювання України. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/re29579>

106. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України: Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 29 жовтня 2013 р. № 1277. URL: http://cct.com.ua/2013/29.10.2013_1277.htm

107. Про національну безпеку України: Закон України від 21 червня 2018 р. № 2469-VIII (зі змінами та доповненнями). URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T182469?an=1>

108. Про передачу, примусове відчуження або вилучення майна в умовах правового режиму воєнного чи надзвичайного стану. Закон України. Документ 4765-VI (поточна редакція від 21.06.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4765-17#Text>

109. Про ринок електричної енергії. Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII (зі змінами та доповненнями.). URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T172019?an=1>

110. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження Кабінету Міністрів України № 373-р від 21.04.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text>

111. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. Документ 605-2017-р, втратив чинність 21.04.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text>

112. Про схвалення Стратегії енергетичної безпеки: розпорядження Кабінету Міністрів України від 04.08.2021 р. № 907-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text>

113. Прокіп А. В. Гарантування енергетичної безпеки: минуле, сьогодення, майбутнє: монографія. Львів: ЗУКЦ, 2011. 154 с.

114. Проходження осінньо-зимових періодів 2022-2024 рр. Стан енергосистеми. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/04/2024_winterseasons_analysis_dixi_group_final.pdf

115. Пунда О. О., Арзянцева Д. А. Індустріальні парки як інструмент забезпечення інвестиційної безпеки та відновлення економіки регіону. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2025. № 9(39). С. 718-730. [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-9\(39\)-718-730](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-9(39)-718-730)

116. Рекордний імпорт та мінімальний експорт електроенергії за останнє десятиліття показала Україна у 2024 році. URL: <https://dixigroup.org/rekordnyj-import-ta-minimalnyj-eksport-elektroenergiyi-za-ostannye-desyatylittya-pokazala-ukrayina-u-2024-roczy/>

117. Середньодобове споживання електроенергії за місяцями. URL: <https://greendealukraina.org/gd-tracker/figure-of-the-week/2024/average-daily-electricity-consumption-by-month>

118. Скільки відходів продукує атомна енергетика та як їх переробляють. URL: <https://ecoaction.org.ua/iaderni-vidkhody.html>

119. Сотник І. М., Курбатова Т. О., Передерій Т. А. Оцінка економічної ефективності реалізації проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій в побутовому секторі України. Scientific monograph. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2024. С. 409-423. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-480-1-17>

120. Статистична інформація. Державна служба статистики України.

Доступна та чиста енергія. <https://www.ukrstat.gov.ua/>

121. Стешенко О. Д. Економічні ризики: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 145 с.

122. Сухін Є. І. Нетрадиційна енергетика як фактор економічної безпеки держави: автореф. дис. ... д-ра екон. наук: 21.04.01. Київ: РНБО України; Національний ін-т проблем міжнародної безпеки, 2005. 38 с.

123. Суходоля О., Харазішвілі Ю., Бобро Д. Методологічні засади ідентифікації та стратегування рівня енергетичної безпеки України. *Економіка України*. 2020. № 6(703). С. 20-42. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2020.06.020>

124. Суходоля О. М. Визначення рівня та оцінювання загроз енергетичній безпеці: збірник аналітичних доповідей / [О. М. Суходоля, Г. Л. Рябцев, Ю. М. Харазішвілі та ін.; за ред. О. М. Суходолі] ; Національний інститут стратегічних досліджень, Центр безпекових досліджень. Київ: НІСД, 2022. 159 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.13>

125. Сухоруков А. І., Мошенський С. З., Петрук О. М. Національна економічна безпека. Житомир: Рута, 2010. 384 с.

126. Сухоруков А. І., Харазішвілі Ю. М. Моделювання та прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України: монографія. Київ: НІСД, 2012. 368 с.

127. У Франції допустили будівництво понад 14 нових ядерних реакторів. URL: <https://www.eurointegration.com.ua/news/2024/01/7/7176923/>

128. Українська енергетична біржа та «Оператор ринку» будуть разом розвивати строковий ринок електроенергії. *ExPro Consulting*. 2020. 25 бер. URL: <https://expro.com.ua/novini/ueb-ta-operator-rinku-budut-razom-rozvivati-strokoviy-rinokelektroenerg>

129. Урядовий портал. Новини органів влади. URL: <https://www.kmu.gov.ua/> ; <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/ekonomichne-zrostannya/energetychnabezbeza>

130. Філософія. 50 видатних творів / Т. Балтер-Будон; пер. з англ. Н. Лаврської. 2021. 496 с. URL: <https://bukva.ua/ua/catalog/browse/239/1/766699>

131. Функціонування індустріальних парків в Хмельницькій області: розвиток економічного середовища громад. URL: <https://km-oblrada.gov.ua/funkczionuvannya-industrialnyh-parkiv-v-hmelnyczkij-oblasti->

rozvytok-ekonomichnogo-seredovyshha-gromad/

132. Халатов А. А., Фіалко Н. М., Тимченко М. П. Енергетична безпека України: методологічні засади оцінки рівня безпеки та порівняльний аналіз поточного стану. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2020. Т. 42, № 2. С. 18-30.

133. Харазішвілі Ю. М. Системна безпека сталого розвитку: інструментарій оцінки, резерви та стратегічні сценарії реалізації: монографія. Київ: НАН України, Ін-т економіки промисловості, 2019. 304 с

134. Чи безпечні ВЕС для дикої природи. URL: <http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/10/VES.pdf>

135. Чи є проблемою переробка відпрацьованих сонячних панелей та акумуляторів в Україні? URL: <https://ucn.org.ua/?p=4750>

136. Швець Н., Гораль Л., Шкварилук М. Перехід до циркулярної економіки як передумова для розвитку «зеленої» енергетики. *Науковий огляд*. 2023. № 6(91). [https://doi.org/10.26886/2311-4517.6\(91\)2023.3](https://doi.org/10.26886/2311-4517.6(91)2023.3)

137. Шевцов А. І., Земляний М. Г., Дорошкевич А. З. Енергетична безпека України: стратегія та механізми забезпечення / за ред. А. І. Шевцова. Дніпро: Пороги, 2002. 264 с.

138. Шевчук Я. В. Енергетична безпека регіонів України та її фактори. *Ефективна економіка*. 2014. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4941>

139. Шлемко В. Т., Бінько І. Ф. Економічна безпека України: сутність і напрямки забезпечення: монографія. Київ: НІСД, 1997. 144 с.

140. Шнипко О. С. Економічна безпека ієрархічних багаторівневих систем: регіональний аспект: монографія. Київ: Генеза, 2006. 288 с.

141. Щуров І. В. Концепція формування інституціонального середовища управління енергетичною безпекою. *Проблеми економіки*. 2022. № 4. С. 194-200. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-4-194-200>

142. Яценко О., Мордань В., Яценко О. Потенціал водню для сталого розвитку глобальної енергетики: інновації та динаміка торгівлі. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025. № 338(1). С. 94-100. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-13>

143. Яценко О. М. Розвиток інноваційного бізнесу та міжнародної торгівлі воднем: інституціональне забезпечення енергетичного переходу для сталого

поствуглецевого майбутнього. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Т. 10. № 1. С. 92-103.

144. 400 робочих місць та 763 млн грн інвестицій: Уряд вніс до реєстру новий індустріальний парк на Закарпатті. URL: <https://me.gov.ua/News/Detail/086cadac-bf9b-45dd-822a-e3ae191257df?lang=uk-UA>

145. A Global Firm Built Over Generations on a Foundation of Client Service. URL: <https://www.lazard.com>

146. Abdullah B., Iqbal R., Hyder S. I., Jawaid M. Energy security indicators for Pakistan: An integrated approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 133. 110122. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v133y2020ics1364032120304135.html>

147. Abdullah F. B., Iqbal R., Ahmad S., El-Affendi M. A., Kumar P. Optimization of Multidimensional Energy Security: An Index Based Assessment. *Energies*. 2022. Vol. 15(11). 3929. <https://doi.org/10.3390/en15113929>

148. Ahmad T., Zhu H., Zhang D., Tariq R., Bassam A., Ullah F., AlGhamdi A. S., Alshamrani S. S. Energetics Systems and Artificial Intelligence: Applications of Industry 4.0. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 334-361.

149. Akash F. A., Shovon S. M., Rahman W., Rahman M. A., Chakraborty P., Monir M. U. Greening the Grid: A Comprehensive Review of Renewable Energy in Bangladesh. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. e27477.

150. Akter A., Zafir E. I., Dana N. H., Joysoyal R., Sarker S. K., Li L., Muyeen S. M., Das S. K., Kamwa I. A Review on Microgrid Optimization with Meta-Heuristic Techniques: Scopes, Trends and Recommendation. *Energy Strategy Reviews*. 2024. Vol. 51. 101298.

151. Alemzero D. A., Sun H., Mohsin M., Iqbal N., Nadeem M., Vo X. V. Assessing Energy Security in Africa Based on Multi-Dimensional Approach of Principal Composite Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 2158–2171.

152. Alijoyo F. A. AI-Powered Deep Learning for Sustainable Industry 4.0 and Internet of Things: Enhancing Energy Management in Smart Buildings. *Alexandria Engineering Journal*. 2024. Vol. 104. P. 409-422.

153. Alkema V., Hryhoruk P., Skhidnytska H., Sylkin O. Resilience and strategic management: ways to ensure economic and social security of Ukrainian

enterprises during long-term warfare. *Clío. Revista de Historia, Ciencias Humanas y Pensamiento Crítico*. 2025. Vol. 5, No. 9. P. 740-767. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14567109>

154. Alrumaih T. N. I., Alenazi M. J. F., AlSowaygh N. A., Humayed A. A., Alablani I. A. Cyber Resilience in Industrial Networks: A State of the Art, Challenges, and Future Directions. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2023. Vol. 35. 101781.

155. Altaf M. W., Arif M. T., Islam S. N., Haque M. E. Microgrid Protection Challenges and Mitigation Approaches – A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 38895-38922.

156. Amine H. M., Aissa B., Rezk H., Messaoud H., Othmane A., Saad M., Abdelkareem M. A. Enhancing Hybrid Energy Storage Systems with Advanced Low-Pass Filtration and Frequency Decoupling for Optimal Power Allocation and Reliability of Cluster of DC-Microgrids. *Energy*. 2023. Vol. 282. 128310.

157. Ang B. W., Choong W. L., Ng T. S. Energy Security: Definitions, Dimensions and Indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 42. P. 1077-1093.

158. Ante L., Steinmetz F., Fiedler I. Blockchain and Energy: A Bibliometric Analysis and Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 137. 110597.

159. APERC, Asia Pacific Energy Research Centre. *A Quest for Energy Security in the 21st Century: Resources and Constraints*. Institute of Energy Economics, Japan, 2007.

160. Augutis J., Krikštolaitis R., Martišauskas L., Urbonienė S., Urbonas R., Ušpurienė A. Analysis of energy security level in the Baltic States based on indicator approach. *Energy*. 2020. Vol. 199. 117427. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054422030534X>

161. Azzuni A., Aghahosseini A., Ram M., Bogdanov D., Caldera U., Breyer C. Energy Security Analysis for a 100% Renewable Energy Transition in Jordan by 2050. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(12). 4921. <https://doi.org/10.3390/su12124921>

162. Azzuni A., Breyer C. Definitions and Dimensions of Energy Security: A Literature Review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. 2018. Vol. 7. e268.

163. Bahgat G. Europe's Energy Security: Challenges and Opportunities. *International Affairs*. 2006. Vol. 82. P. 961-975.
164. Bar-Lev D., Katz S. A Portfolio Approach to Fossil Fuel Procurement in the Electric Utility Industry. *Journal of Finance*. 1976. Vol. 31. P. 933-947.
165. Barton B., Redgwell C., Rønne A., Zillman D. N. *Energy Security: Managing Risk in a Dynamic Legal and Regulatory Environment*. Oxford: Oxford University Press, 2004.
166. Bielecki J. Energy security: is the wolf at the door? *Quarterly Review of Economics and Finance*. 2002. Vol. 42. P. 235-250.
167. Bielenia M., Marušić E., Dumanska I. Rethinking the Green Strategies and Environmental Performance of Ports for the Global Energy Transition. *Energies*. 2024. Vol. 17(24). 6322. <https://doi.org/10.3390/en17246322>
168. Blum H., Legey L. F. L. The challenging economics of energy security: ensuring energy benefits in support to sustainable development. *Energy Economics*. 2012. Vol. 34. P. 1982-1989.
169. Bohi D. R., Toman M. A. Energy security: externalities and policies. *Energy Policy*. 1993. Vol. 21. P. 1093-1109.
170. Bompard E. F., Conti S., Masera M. J., Soma G. G. A New Electricity Infrastructure for Fostering Urban Sustainability: Challenges and Emerging Trends. *Energies*. 2024. Vol. 17. 5573.
171. British energy security strategy. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy>
172. Brown D., Sappington D. E. M. Employing Simple Cost-Sharing Policies to Motivate the Efficient Implementation of Distributed Energy Resources. *USAAE Working Paper*. 2018. 54 p. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3213275>
173. Bruusgaard K. V. Protecting the energy weapon – new tasks for the Russian armed forces? Report No. ISBN 978-82-464-1115-6. Norway: Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2006.
174. Carr E., Wingard P., Yorty S., Thompson-Hall M., Jensen N., Roberson J. Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 2007. Vol. 14. <https://doi.org/10.1080/13504500709469753>
175. Čehulić L., Kuznetsov A. V., Celikpala M., Gleason G. Energy security in

South East Europe. In: Cross S., Kentera S., Nation R. C., Vukadinović R. (eds.). *Shaping South East Europe's Security Community for the Twenty-First Century: Trust, Partnership, Integration*. London: Palgrave Macmillan, 2013. P. 114-133.

176. Gesetz zur Förderung von Mieterstrom und zur Änderung weiterer Vorschriften des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/mieterstrom-gesetz-bgbl.pdf?__blob=publicationFile&v=1

177. Cervan D., Rodriguez C. V., Inga C. E. Energy Security: Multidimensional Analysis for South American Countries. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2022. Vol. 12. P. 1131-1139. URL: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/12982>

178. Cherp A., Jewell J. The concept of energy security: beyond the four A's. *Energy Policy*. 2014. Vol. 75. P. 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>

179. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. 184 p. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf

180. Global Britain in a Competitive Age: The Integrated Review of Security, Defence, Development and Foreign Policy. HM Government, March 2021. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/60644e4bd3bf7f0c91eababd/Global_Britain_in_a_Competitive_Age_-_the_Integrated_Review_of_Security__Defence__Development_and_Foreign_Policy.pdf.

181. Closson S. The Energy Curse: Dependency in Soviet and Russian Policy. Woodrow Wilson Institute and Patterson School of Diplomacy and International Commerce. Lexington, KY; Washington, DC, 2010.

182. Coutinho G. L., Vianna J. N., Dias M. A. Alternatives for improving energy security in Cape Verde. *Utilities Policy*. 2020. Vol. 67. 101112. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178720301065>

183. Cox E. Assessing Long-Term Energy Security: The Case of Electricity in the United Kingdom. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P.

2287-2299.

184. Hippel D. von, Suzuki T., Williams J. H., Savage T., Hayes P. Energy security and sustainability in Northeast Asia. *Energy Policy*. 2011. Vol. 39(11). P. 6719-6730. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.001>

185. Dawn S., Ramakrishna A., Ramesh M., Das S. S., Rao K. D., Islam M. M., Selim Ustun T. Integration of Renewable Energy in Microgrids and Smart Grids in Deregulated Power Systems: A Comparative Exploration. *Advanced Energy and Sustainability Research*. 2024. Vol. 5. 2400088.

186. Deese D. A. Energy: economics, politics, and security. *International Security*. 1979. Vol. 4. P. 140-153.

187. Dorian J. P., Franssen H. T., Simbeck D. R. Global challenges in energy. *Energy Policy*. 2006. Vol. 34. P. 1984-1991.

188. Dreyfus G. *Neural Networks: Methodology and Applications*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 498 p.

189. Dumanska I. Energy security of ukraine through the lens of european union sustainable development practices. *MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS*. 2025. № (4). P. 243-252. <https://doi.org/10.31891/mdes/2025-18-30>

190. Dumanska I., Khmelevskyi O., Pavlova O. Combating illicit energy trade in the strategic imperatives of diversifying import dependence. In: *Adaptation mechanisms of socio-economic systems to global changes and challenges: resource-efficient technologies, environmental protection, security, sustainable development*. HSSE Publishing Complex. 2024. P. 217-230. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12158339>

191. Dykha M., Dykha V. Bezpieczeństwo energetyczne Ukrainy pod pryzmatem wojny. *Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu. Poland*. 2023. T. 53 (1). S. 71-84. https://pracenaukowe.wwszip.pl/prace/PN_53.pdf

192. Dykha M., Dykha V., & Gonta S. Development of the startup industry in Ukraine: status, challenges, perspectives. *CITY DEVELOPMENT*. 2024. Vol. 2 (02). P. 45-54. <https://doi.org/10.32782/city-development.2024.2-6> ; <https://journals.ndirom.kyiv.ua/index.php/city-development/article/view/46>

193. Dykha M., Dykha V., Pylypyak O., Poplavska O., Tanasiienko N.,

Tanasiienko V. Risk Management of the Startup Projects. In: *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2023. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10311582>

194. Dykha M., & Dykha V. The environmental component in the system of ensuring sustainable development under the prism of modern challenges. *CITY DEVELOPMENT*. 2024. Vol. 1 (01). P. 45-55. <https://doi.org/10.32782/city-development.2024.1-6> ; <https://journals.ndirom.kyiv.ua/index.php/city-development/article/view/27>

195. Dykha M., Dykha V. Ukraina w systemie przemian cywilizacyjnych świata i innowacyjnego rozwoju. *Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu. Poland*. 2022. T. 52(2). S. 149-162. https://pracenaukowe.wwszip.pl/prace/PN_52.pdf

196. Dykha M., Dykha V. & Zyma V. Conceptual aspects of energy generation market development on the principles of sustainability. *International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert"*. 2024. Vol. 1 (2). P. 99-116. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2024-v1-i2-007> ; <https://scientific-journal.expert/archives/2024-v1-i2-007>

197. Dykha M., Karpenko V., Dykha V. World civilization security and development under the prism of the war in Ukraine. In: *Sustainable Development: Modern Theories and Best Practices: Materials of the Monthly International Scientific and Practical Conference (April 28-29, 2023)*. Tallinn: Teadmus OÜ, 2023. P. 154-162. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/14203>

198. Dykha M., Lukianova V., Polozova V., Pylypiak O., Ivanov M. Transformation of Ukraine's socio-economic development in the context of global turbulence and war: Challenges and opportunities. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics"*. 2024. Vol. 11(2). P. 30-41. <https://doi.org/10.52566/msu-econ2.2024.30>

199. Dykha V., Dykha M., Górska M. Main aspects of rational use of natural resources and environmental protection in the system of ensuring sustainable development. *Zeszyty Naukowe. Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Handlu i Usług w Poznaniu*. 2025. Nr 50. S. 129-135. <https://cdn.wshiu.pl/wp-content/uploads/2025/09/Zeszyty-nr-50-2025.pdf>

200. Dykha V., Dykha M., Liubokhynets L., Tanasiienko N., & Poplavskyi Y. Scientific-methodical approach to assessing threats to Ukraine's energy security using

neural networks. *International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert"*. 2025. Vol. 2(1). P. 22-34. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2025-v2-i1-002> ; <https://scientific-journal.expert/archives/2025-v2-i1-002>

201. Dykha V., Dykha M., Lukianova V., Polozova V., Ivanov M. Energy security management in the context of current challenges and international experience. *POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL*. 2024. Volume 27, Issue 4. P. 133-154. <https://doi.org/10.33223/epj/190485> ; <https://epj.minpan.krakow.pl/Energy-security-management-in-the-context-of-current-challenges-and-international,190485,0,2.html>

202. Dykha V. World experience in ensuring energy security. *Kyiv Economic Scientific Journal*. 2025. № 10. P. 41-50. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-10-6> ; <https://journals.kymu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/272/266>

203. Economic Security: Neglected Dimension of National Security? URL: <https://govbooktalk.gpo.gov/2013/01/31/economic-security-neglected-dimension-of-national-security/>

204. El-Afifi M. I., Sedhom B. E., Padmanaban S., Eladl A. A. A Review of IoT-Enabled Smart Energy Hub Systems: Rising, Applications, Challenges, and Future Prospects. *Renewable Energy Focus*. 2024. Vol. 51. 100634.

205. Electricity production. URL: <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftproduksjon/>

206. Eleiwi M. A., Habeeb L. J. Strategic Engineering Management for Renewable Energy Projects: Trends, Challenges and Future Outlook. 2025. URL: <https://www.researchgate.net/.../Strategic-Engineering-Management-for-Renewable-Energy-Projects>

207. Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F. Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects and Their Enabling Technology. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2014. Vol. 39. P. 748-764.

208. Energyintensit. URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>

209. Energy Statistical Review of World Energy 2024. URL: https://www.energyinst.org/__data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL.pdf

210. Energy intensity using chain-linked GDP values. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview

211. Energy intensity. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ei/default/bar?lang=en

212. Esfandi S., Tayebi S., Byrne J., Taminiau J., Giyahchi G., Alavi S. A. Smart Cities and Urban Energy Planning: An Advanced Review of Promises and Challenges. *Smart Cities*. 2024. Vol. 7. P. 414-444.

213. European Commission. *A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy; Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe*. https://commission.europa.eu/index_en

214. Eurostat URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> ; <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/publications>

215. Eurostat Statistics Explained. Greenhouse gas emission statistics – emission inventories. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_statistics_-_emission_inventories

216. European Union Economic Growth 1970-2024. URL: <https://www.macrotrends.net/countries/EUU/european-union/economic-growth-rate>

217. Share of renewable energy in gross final energy consumption by sector. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_40/default/table?lang=en&category=t_nrg.t_nrg_sdg_07

218. Gawdat B. Energy security: The Caspian Sea. *Mineral Energy-Raw Material Report*. 2005. Vol. 20. P. 3-15.

219. Gerlach J., Eckhoff S., Breitner M. H. Decision Support for Strategic Microgrid Design Integrating Governance, Business, Intelligence, Communication, and Physical Perspectives. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 113. 105672.

220. Gesetz zur Förderung von Mieterstrom und zur Änderung weiterer Vorschriften des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. URL: <https://www.bmwk.de/.../mieterstrom-gesetz-bgbl.pdf>

221. Global Britain in a Competitive Age: The Integrated Review of Security, Defence, Development and Foreign Policy. HM Government, March 2021. URL:

- https://assets.publishing.service.gov.uk/.../Global_Britain_in_a_Competitive_Age.pdf
222. González P., Lisardo, Fensel A., Gómez Berbís J. M., Popa A., de Amescua Seco A. A Survey on Energy Efficiency in Smart Homes and Smart Grids. *Energies*. 2021. Vol. 14. 7273.
 223. Gu X., Bai H., Cui X., Zhu J., Zhuang W., Li Z., Hu X., Song Z. Challenges and Opportunities for Second-Life Batteries: Key Technologies and Economy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2024. Vol. 192. 114191.
 224. Guevara P. A Guide to Understanding 5×5 Risk Matrix. 2023. URL: <https://safetyculture.com/topics/risk-assessment/5x5-risk-matrix/>
 225. Gundlach J. Microgrids and Resilience to Climate-Driven Impacts on Public Health. *Sabin Center for Climate Change Law, Columbia Law School*. 2018. No. 18. P. 77-130.
 226. Haenni R., Romeijn J.-W., Wheeler G., Williamson J. *Probabilistic Logics and Probabilistic Networks*. Springer Netherlands, 2011. 55 p.
 227. Hamdan A., Ibekwe K. I., Ilojiana V. I., Sonko S., Etukudoh E. A. AI in Renewable Energy: A Review of Predictive Maintenance and Energy Optimization. *International Journal of Scientific Research Archive*. 2024. Vol. 11. P. 718-729.
 228. Hao H., Wang Y., Chen J. Empowering Scenario Planning with Artificial Intelligence: A Perspective on Building Smart and Resilient Cities. *Engineering*. 2024. Vol. 43. P. 272-283.
 229. Hassan A., Ibrahim M., Bala A. J. On the Pursuit of Energy Security: Evidence from the Nexus between Clean Energy Stock Price and Energy Security Elements. *International Journal of Sustainable Energy*. 2022. Vol. 41. P. 846-867.
 230. Hossain Y., Loring P. A., Marsik T. Defining energy security in the rural North – historical and contemporary perspectives from Alaska. *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 16. P. 89-97.
 231. Hotaling C., Bird S., Heintzelman M. D. Willingness to Pay for Microgrids to Enhance Community Resilience. *Energy Policy*. 2021. Vol. 154. 112248.
 232. Huang Sh., Chung Y., Wu T.-H. Analyzing the relationship between energy security performance and decoupling of economic growth from CO₂ emissions for OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 152. 111633. URL: <https://www.researchgate.net/publication/354477916>
 233. Hughes L. Preparing for the peak: energy security and Atlantic Canada. In:

Second International Green Energy Conference (IGEC). University of Ontario Institute of Technology; Dalhousie University, 2006.

234. Huovila A., Siikavirta H., Antuña Rozado C., et al. Carbon-Neutral Cities: Critical Review of Theory and Practice. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 341. 130912.

235. Hussain A., Bui V.-H., Kim H.-M. Microgrids as a Resilience Resource and Strategies Used by Microgrids for Enhancing Resilience. *Applied Energy*. 2019. Vol. 240. P. 56-72.

236. Integrated Review Refresh 2023: Responding to a More Contested and Volatile World. HM Government, March 2023. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1145586/11857435_NS_IR_Refresh_2023_Supply_AllPages.pdf ; https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1145586/11857435_NS_IR_Refresh_2023_Supply_AllPages_Revision_7_WEB_PDF.pdf

237. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/>

238. International Energy Agency. Energy system of France. URL: <https://www.iea.org/countries/france> ; <https://www.iea.org/areas-of-work/energy-security>

239. International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2023*. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

240. Jan K., Goldwyn D. L. *Energy and Security: Toward a New Foreign Policy Strategy*. Washington, DC: Woodrow Wilson Center Press, 2005.

241. Jansen J. C. *Energy Services Security: Concepts and Metrics*. Amsterdam: Energy Research Center of the Netherlands (ECN), 2009.

242. Jewell J., Cherp A., Riahi K. Energy security under de-carbonization scenarios: an assessment framework. *Energy Policy*. 2014. Vol. 65. P. 743-760. <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v65y2014icp743-760.html>

243. Jewell J., Cherp A., Vinichenko V., et al. Energy security of China, India, the EU and the USA under long-term scenarios: results from six IAMs. *Climate Change Economics*. 2013. Vol. 4. 1340011. URL: <https://scispace.com/pdf/energy-security>

244. Jie H., Khan I., Alharthi M., Zafar M. W., Saeed A. Sustainable Energy

Policy and Socio-Economic Development. *Utilities Policy*. 2023. Vol. 81. 101490.

245. Johansson T. B., Nakićenović N. *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, 2012.

246. Kabeyi M. J. B., Olanrewaju O. A. Smart Grid Technologies and Application in the Sustainable Energy Transition: A Review. *International Journal of Sustainable Energy*. 2023. Vol. 42. P. 685-758.

247. Kaur R., Gabrijelčić D., Klobučar T. Artificial Intelligence for Cybersecurity: Literature Review and Future Research Directions. *Information Fusion*. 2023. Vol. 97. 101804.

248. Kebir N., Leonard A., Downey M., Jones B., Rabie K., Bhagavathy S. M., Hirmer S. A. Second-Life Battery Systems for Affordable Energy Access in Kenyan Primary Schools. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. 1374.

249. Khan I., Zakari A., Zhang J., Dagar V., Singh S. Study of Trilemma Energy Balance, Clean Energy Transitions, and Economic Expansion. *Energy*. 2022. Vol. 248. 123619.

250. Khan K. A., Quamar M. M., Al-Qahtani F. H., Asif M., Alqahtani M., Khalid M. Smart Grid Infrastructure and Renewable Energy Deployment: Conceptual Review of Saudi Arabia. *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 50. 101247.

251. Khan M. R. T., Dhakal Sh. Do experts and stakeholders perceive energy security issues differently in Bangladesh? *Energy Strategy Reviews*. 2022. Vol. 42. 100887.

252. Kocherov M., Dzhyhora O., Dykha M., Lukianova V., & Polozova V. Mechanisms of post-war economic recovery in Ukraine: The role of the international community. *Economic Affairs*, 2023, 68(2), 1311-1321. <https://doi.org/10.46852/0424-2513.2.2023.35> ; <http://ndpublisher.in/admin/issues/EAv68n3z9.pdf>

253. Kohlhase J. E. The New Urban World 2050: Perspectives, Prospects and Problems. *Regional Science Policy & Practice*. 2013. Vol. 5. P. 153-166.

254. Koirala B. P., Araghi Y., Kremers E., van Oost E. C. J., Hakvoort R. A. Local energy communities: A systematic review of European cases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 56. P. 722-744. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.080>

255. Kononov Y. D. Evaluation of strategic threats in predictive studies of power industry. *Studies on Russian Economic Development*. 2014. Vol. 25. P. 246-250.

256. Konoplyanik A., Walde T. Energy charter treaty and its role in international energy. *Journal of Energy & Natural Resources Law*. 2006. Vol. 24. P. 523.
257. Koohi-Kamali S., Rahim N. A. Coordinated Control of Smart Microgrid during and after Islanding Operation to Prevent Under-Frequency Load Shedding. *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 127. P. 623-646.
258. Kostenko G., Zaporozhets A. Enhancing of the Power System Resilience Through Micro Power Systems (microgrid) with Renewable Distributed Generation. *System Research in Energy*. 2023. No. 3(74). P. 25-38. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.025>
259. Kucharski J., Unesaki H. A policy-oriented approach to energy security. *Procedia Environmental Sciences*. 2015. Vol. 28. P. 27-36.
260. Lesbirel S. H. Diversification and energy security risks: the Japanese case. *Japanese Journal of Political Science*. 2004. Vol. 5. P. 1-22.
261. Liang X., Chen K., Chen S., Zhu X., Jin X., Du Z. IoT-Based Intelligent Energy Management System for Optimal Planning of HVAC Devices. *Energy Conversion and Management*. 2023. Vol. 292. 117369.
262. Li C., Chen Y., Shang Y. A Review of Industrial Big Data for Decision Making in Intelligent Manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2022. Vol. 29. 101021.
263. Li J., Wang L., Lin X., Qu Sh. Analysis of China's energy security evaluation system: based on data of 30 provinces. *Energy*. 2020. Vol. 198. 117346.
264. Liu Z., Sun Y., Xing C., Liu J., He Y., Zhou Y., Zhang G. Artificial Intelligence Powered Large-Scale Renewable Integrations. *Energy AI*. 2022. Vol. 10. 100195.
265. Lovins A. B., Lovins L. H. *Energy Policies for Resilience and National Security*. Washington, DC: Council on Environmental Quality, Executive Office of the President, 1981.
266. Masters T. *Practical Neural Network Recipes in C++*. Boston: Academic Press, 1993. P. 201-222.
267. Mauro M. R. Energy Security, Energy Transition, and Foreign Investments: An Evolving Complex Relationship. *Laws*. 2024. Vol. 13, No. 4. 48. <https://doi.org/10.3390/laws13040048>
268. Miller L. B., Lieber R. J., Maddox J., Mancke R., Vernon R., Willrich M.

Energy, security and foreign policy: a review essay. *International Security*. 1977. Vol. 1. P. 111-123.

269. Mishra P., Singh G. Energy Management Systems in Sustainable Smart Cities Based on the Internet of Energy: A Technical Review. *Energies*. 2023. Vol. 16. 6903.

270. Moreno R., Trakas D. N., Jamieson M., et al. Microgrids Against Wildfires: Distributed Energy Resources Enhance System Resilience. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2022. Vol. 20. P. 78-89.

271. Morris G. Y., Abbey C., Wong S., Joós G. Evaluation of the Costs and Benefits of Microgrids with Consideration of Services beyond Energy Supply. In: *Proceedings of the 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, 22-26 July 2012. P. 1-9.

272. Müller-Kraenner S. *Energy Security, Re-Measuring the World*. London: Routledge, 2007.

273. National Bureau of Statistics of China. URL: <http://www.stats.gov.cn/english/>

274. National Security Strategy. The White House. Washington, October 2022. URL: <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/10/Biden-Harris-Administrations-National-Security-Strategy-10.2022.pdf>

275. National Strategic Review 2022. République Française, Première Ministre, Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale. URL: <https://www.sgdsn.gouv.fr/files/files/rns-uk-20221202.pdf>

276. National Strategy to Increase Foreign Direct Investment in Ukraine. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/wp-content/uploads/2021/08/FDI-Strategy-Section-2-Energy-ENG.pdf>

277. Neff T. L. Improving Energy Security in Pacific Asia: Diversification and Risk Reduction for Fossil and Nuclear Fuels. Center for International Studies, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, 1997.

278. Nieuwenhuijsen M. J. Urban and Transport Planning Pathways to Carbon Neutral, Liveable and Healthy Cities: A Review of the Current Evidence. *Environment International*. 2020. Vol. 140. 105661.

279. Norwegian Norwegian Annual Report 2024. Norwegian Water Resources and Energy Directorate. URL: <https://www.nve.no/english/> ;.

- https://www.norwegian.com/globalassets/ip/documents/about-us/company/investor-relations/reports-and-presentations/annual-reports/norwegian_annual_report_2024.pdf
280. Novikau A. Energy Security in Security Studies: A Systematic Review of Twenty Years of Literature. *Central European Journal of International and Security Studies*. 2022. Online first.
281. Oladapo B. I., Olawumi M. A., Omigbodun F. T. Machine Learning for Optimising Renewable Energy and Grid Efficiency. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15. 1250.
282. Olujobi O. J., Okorie U. E., Olarinde E. S., Aina-Pelemo A. D. Legal Responses to Energy Security and Sustainability in Nigeria's Power Sector amidst Fossil Fuel Disruptions and Low Carbon Energy Transition. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. e17912.
283. Onamics GRC. *Onamics Energy Security Index Central and Eastern Europe*. Onamics LLC: Washington, DC; 2005.
284. Orehounig K., Evins R., Dorer V. Integration of Decentralized Energy Systems in Neighbourhoods Using the Energy Hub Approach. *Applied Energy*. 2015. Vol. 154. P. 277-289. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.114>
285. O'Sullivan M. L. The Entanglement of Energy, Grand Strategy, and International Security. In: Goldthau A. (ed.). *The Handbook of Global Energy Policy*. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2013. P. 30-47.
286. Our World in Data. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. URL: <https://ourworldindata.org/> ; <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
287. Our World in Data. Electricity Mix. URL: <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
288. Our World in Data. Energy consumption by source. URL: <https://ourworldindata.org/energy/country/united-states#what-sources-does-the-country-get-its-energy-from>
289. Our World in Data. Energy use per person. URL: <https://ourworldindata.org/energy#explore-data-on-energy> ; Per capita electricity generation. URL: https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-generation?country=GBR~USA~CHN~FRA~DEU~NOR~UKR~OWID_EUR
290. Our World in Data. Nuclear Energy. URL: <https://ourworldindata.org/nuclear-energy>

291. Our World in Data. Share of energy consumption by source, United States. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/share-energy-source-sub?country=~USA>
292. Padmavathy R., Singh S. K., Sindhu M., et al. Enhancing Power Grid Resilience against Cyber Threats in the Smart Grid Era. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 540. 10021.
293. Papadis E., Tsatsaronis G. Challenges in the Decarbonization of the Energy Sector. *Energy*. 2020. Vol. 205. 118025.
294. Parsons J., Hewlett J., Tranel C. Evaluating Risk Strategies with Decision Trees. 2021. URL: <https://cap.unl.edu/management/evaluating-risk-strategies-decision-trees>
295. Pascual C., Elkind J. *Energy Security: Economics, Politics, Strategies, and Implications*. Washington, DC: Brookings Institution Press, 2010.
296. Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W. Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues. *Energy Policy*. 2005. Vol. 33, No. 6. P. 787-798. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>
297. Rana A., Ahmed M., Al-Sakkaf L., Reza M. Assessment of Local Energy Trading in a Residential Energy Hub Model for Assessing the Possible Level of Local Sufficiency. *Journal of Cleaner Energy Systems*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724000283>
298. Rangarajan S. S., Raman R., Singh A., et al. DC Microgrids: A Propitious Smart Grid Paradigm for Smart Cities. *Smart Cities*. 2023. Vol. 6. P. 1690-1718.
299. Robust. Resilient. Sustainable. Integrated Security for Germany. *National Security Strategy*. The White House, Washington, October 2022. URL: <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/10/Biden-Harris-Administrations-National-Security-Strategy-10.2022.pdf>
300. Robust. Resilient. Sustainable. Integrated Security for Germany. National Security Strategy. The Federal Government, June 2023. URL: <https://www.nationalesicherheitsstrategie.de/National-Security-Strategy-EN.pdf>
301. Rossi M., Jin L., Monforti Ferrario A., et al. Energy Hub and Micro-Energy Hub Architecture in Integrated Local Energy Communities: Enabling Technologies and Energy Planning Tools. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 19. 4813. <https://doi.org/10.3390/en17194813>

302. Rutherford J. P., Scharpf E. W., Carrington C. G. Linking Consumer Energy Efficiency with Security of Supply. *Energy Policy*. 2007. Vol. 35. P. 3025-3035.
303. Sarker M. T., Haram M. H. S. M., Shern S. J., et al. Second-Life Electric Vehicle Batteries for Home Photovoltaic Systems: Transforming Energy Storage and Sustainability. *Energies*. 2024. Vol. 17. 2345.
304. Shahzad S., Abbasi M. A., Ali H., et al. Possibilities, Challenges, and Future Opportunities of Microgrids: A Review. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. 6366.
305. Siksnyte-Butkiene I. Defining the Perception of Energy Security: An Overview. *Economies*. 2023. Vol. 11, No. 7. 174.
<https://doi.org/10.3390/economies11070174>
306. Sovacool B. K. Evaluating Energy Security in the Asia Pacific: Towards a More Comprehensive Approach. *Energy Policy*. 2011. Vol. 39, No. 11. P. 7472-7479.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.008>
307. Štreimikienė D., Samusevych Y., Bilan Y., Vysochyna A., Sergi B. S. Multiplexing Efficiency of Environmental Taxes in Ensuring Environmental, Energy, and Economic Security. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 7917-7935.
308. Strojny J., Krakowiak-Bal A., Knaga J., Kacorzysk P. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 13. 5042.
<https://doi.org/10.3390/en16135042>
309. Summer Electricity Outlook 2024. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/05/summer_electricity_outlook_2024_final.pdf
310. Svarstad H., Petersen L. K. Discursive Biases of the Environmental Research Framework DPSIR. *Land Use Policy*. 2008. Vol. 25, No. 1. P. 116-125.
311. Thaler P., Hofmann B. The Impossible Energy Trinity: Energy Security, Sustainability, and Sovereignty in Cross-Border Electricity Systems. *Political Geography*. 2022. Vol. 94. 102579.
312. Thanh L. H., Thanh T. T. Global Value Chains and Energy Security: Evidence from Global Sample. *Energy Strategy Reviews*. 2022. Vol. 42. 100870.
313. Tutak M., Brodny J. Analysis of the Level of Energy Security in the Three Seas Initiative Countries. *Applied Energy*. 2022. Vol. 311. 118649.
314. Ukoba K., Olatunji K. O., Adeoye E., Jen T.-C., Madyira D. M. Optimizing

Renewable Energy Systems through Artificial Intelligence: Review and Future Prospects. *Energy & Environment*. 2024. Vol. 35. P. 3833-3879.

315. Ukoba K., Onisuru O. R., Jen T.-C. Harnessing Machine Learning for Sustainable Futures: Advancements in Renewable Energy and Climate Change Mitigation. *Bulletin of the National Research Centre*. 2024. Vol. 48. 99.

316. Ullah I., Adhikari D., Su X., et al. Integration of Data Science with the Intelligent IoT (IIoT): Current Challenges and Future Perspectives. *Digital Communications and Networks*. 2024. In press.

317. UNDP (United Nations Development Program); UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs); WEC (World Energy Council). *World Energy Assessment: Overview*. New York: United Nations. URL: <https://www.worldenergy.org/> ; <https://www.undp.org/publications/world-energy-assessment-energy-and-challenge-sustainability>

318. Unsere Energiewende: sicher, sauber, bezahlbar. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>

319. U.S. Energy Information Administration. United States Becomes a Net Energy Exporter. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40973>

320. Valdes J. Participation, Equity and Access in Global Energy Security Provision: Towards a Comprehensive Perspective. *Energy Research & Social Science*. 2021. Vol. 78. 102090.

321. Valentine S. V. Emerging Symbiosis: Renewable Energy and Energy Security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. P. 4572-4578.

322. Van de Graaf T., Colgan J. Global Energy Governance: A Review and Research Agenda. *Palgrave Communications*. 2016. Vol. 2. 15047.

323. Vivoda V. Evaluating Energy Security in the Asia-Pacific Region: A Novel Methodological Approach. *Energy Policy*. 2010. Vol. 38, No. 9. P. 5258-5263.

324. Voynarenko M., Dykha M. V., Mykoliuk O., Yemchuk L. and Danilkova A. Assessment of an enterprise's energy security based on multi-criteria tasks modeling. *Problems and Perspectives in Management*, 2018. № 16(4). 102-116. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(4\).2018.10](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(4).2018.10)

325. Wang D., Tian S., Fang L., Xu Y. A Functional Index Model for Dynamically Evaluating China's Energy Security. *Energy Policy*. 2020. Vol. 147.

111706.

326. Wang J., Shahbaz M., Song M. Evaluating Energy Economic Security and Its Influencing Factors in China. *Energy*. 2021. Vol. 229. 120638.

327. Wan Y., Kober T., Schildhauer T. Conditions for Profitable Operation of P2X Energy Hubs to Meet Local Demand under Market Access. *Advances in Applied Energy*. 2023. Vol. 10. 100127.

328. Willrich M. International Energy Issues and Options. *Annual Review of Energy*. 1976. Vol. 1. P. 743-772.

329. Wolfers A. *Discord and Collaboration: Essays on International Politics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1962. 150 p.

330. Wu T.-H., Chung Y.-F., Huang Sh.-W. Evaluating Global Energy Security Performances Using an Integrated PCA/DEA-AR Technique. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. Vol. 45. 101041.

331. Yang B., Ding L., Zhan X., Tao X., Peng F. Evaluation and Analysis of Energy Security in China Based on the DPSIR Model. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 607-615.

332. Yang J., Kwon Y., Kim D. Regional Smart City Development Focus: The South Korean National Strategic Smart City Program. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 7193-7210.

333. Yergin D. Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*. 2006. Vol. 85. P. 69-82.

334. Yivzhenko D. Chomu soniachni paneli – pohane rishennia dlia rezervnoho zhyvlennia na zymu? 2022. URL: <https://ain.ua/2022/12/29/sonyachni-paneli-pogane-rishennya-dlya-rezervnogo-zhyvlennya-na-zymu/>

335. Zhang J. Energy Management System: The Engine for Sustainable Development and Resource Optimization. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2023. Vol. 76. P. 618-624.

336. Zhang L., Bai W., Xiao H., Ren J. Measuring and Improving Regional Energy Security: A Methodological Framework Based on Both Quantitative and Qualitative Analysis. *Energy*. 2021. Vol. 227. 120534.

337. Zhang L., Yu J., Sovacool B. K., Ren J. Measuring Energy Security Performance within China: Toward an Inter-Provincial Perspective. *Energy*. 2017. Vol. 125. P. 825-836.

ДОДАТКИ

Додаток А



УКРАЇНА

ХМЕЛЬНИЦЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ

ДЕПАРТАМЕНТ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

майдан Незалежності, 2, м. Хмельницький, 29005,
 тел. (0382) 76-51-52, факс 79-53-42, e-mail: khm_econ@adm-km.gov.ua, код ЄДРПОУ 39924423

29.12.2025 № 03.01-227/2025
 на № _____ від _____

Довідка

про практичну значущість результатів дисертаційної роботи

здобувача ступеня доктора філософії

в галузі знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»

за спеціальністю 051 «Економіка»

Дихи Валерія Валерійовича на тему:

«Управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку»

Функціонування енергетичної галузі є базовою передумовою діяльності всіх сфер суспільного життя.

Енергетична безпека безпосередньо впливає на інноваційний економічний розвиток, оскільки:

- стимулює впровадження енергоефективних та ресурсозберігаючих технологій;
- створює умови для розвитку «зеленої» економіки та високотехнологічних секторів;
- підвищує інвестиційну привабливість регіонів та країни в цілому;
- сприяє технологічній модернізації виробництва та цифровізації.

Отримані результати дослідження Дихи В.В. є цінними для вирішення основних завдань, які визначені у Положенні про Департамент економічного розвитку, затвердженого розпорядженням Хмельницької обласної державної адміністрації від 24.05.2021 №517/2021-р (у редакції від 27.12.2022 №590/2022-р).

Департамент економічного розвитку відзначає науковий доробок автора щодо обґрунтування комплексної моделі інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків, яке є значимим для виконання завдання Департаменту в частині забезпечення реалізації на території області державної політики щодо створення і функціонування індустріальних (промислових) парків.

Надані автором пропозиції будуть враховуватися в подальшій роботі, зокрема під час розробки програм соціально-економічного розвитку області, Стратегії розвитку Хмельницької області та планів її реалізації, інших програм відповідно до визначених повноважень Департаменту.

Директор Департаменту



Олена БОХОНСЬКА



**ХМЕЛЬНИЦЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ РОЗВИТКУ ГРОМАД, БУДІВНИЦТВА
ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

вул. Грушевського, 87, м. Хмельницький, 29005
тел/факс (0382) 76-25-48, 76-31-60, E-mail: urrb@adm-km.gov.ua
Код згідно з СДРПОУ 39067570

від 29.12.2020 № 05/01-125

ДОВІДКА

**про практичне значення / впровадження результатів дисертаційної роботи
здобувача ступеня доктора філософії в галузі знань 05 «Соціальні та
поведінкові науки» за спеціальністю 051 «Економіка»
Дихи Валерія Валерійовича на тему:
«Управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку»**

Стабільне функціонування енергетичного сектору є критично важливим для функціонування усіх сфер економіки та забезпечення життєдіяльності людей. Питання управління енергетичною безпекою набуло особливої актуальності в умовах війни та стратегічно важливе у системі повосної відбудови України.

Основні положення, висновки та рекомендації, викладені у дисертаційному дослідженні Дихи В.В., проаналізовано, позитивно оцінені та можуть використовуватися у роботі Департаменту розвитку громад, будівництва та житлово-комунального господарства Хмельницької обласної військової адміністрації. Зокрема, відзначено пропозиції автора щодо забезпечення ефективного управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку шляхом обґрунтування цілісної системи структурних елементів парадигми розвитку енергетичного сектору (децентралізація, цифровізація, інтеграція ВДЕ та низьковуглецевих технологій, посилення фізичної та кібербезпеки, європейська інтеграція, інституційна модернізація, формування інфраструктури майбутнього) у поєднанні з групами інструментів досягнення кліматичної нейтральності (декарбонізація генерації, електрифікація та секторна інтеграція, smart-grid і системи накопичення, воднева платформа, енергоефективність, циркулярна енергетика, ринкові та інституційні механізми). Сформована автором концептуальна модель сталого енергетичного переходу, у якій узгоджуються безпекові, кліматичні та інвестиційні пріоритети держави має вагоме теоретико-методичне та практичне значення.

Надані результати дисертаційної роботи будуть враховані Департаментом розвитку громад, будівництва та житлово-комунального господарства Хмельницької обласної військової адміністрації при розробці Програми підвищення енергоефективності Хмельницької області на 2027–2031 роки.

Директор Департаменту

Віра БРИГАДИР



УКРАЇНСЬКИЙ СОЮЗ ПРОМИСЛОВЦІВ І ПІДПРИЄМЦІВ

**СОЮЗ ПРОМИСЛОВЦІВ І ПІДПРИЄМЦІВ
ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ (ХСПП)**

29010 м. Хмельницький, вул. Чорновола, 88
Тел: (03822) 64-43-53
E-mail: hsp@email.ua

Поточний рахунок UA113052990000026008036006619
в АТ «Приватбанк», МФО 305299
код ЗКПО 21317474

10.12.2025 р. № С-71/12-25

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи на тему:
«УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ УКРАЇНИ
НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

Дихи Валерія Валерійовича

Результати дисертаційної роботи Дихи В.В. щодо формування та реалізації ефективної системи управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку мають вагомe теоретико-методичне та практичне значення.

Союз промисловців та підприємців Хмельницької області відзначає цінність обґрунтованої комплексної моделі інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків, яка системно поєднує технологічні, інституційні, економічні та екологічні параметри їх взаємодії та базується на засадах циркулярної економіки, енергетичної автономності й стійкого регіонального розвитку. Удосконалена авторська модель інтеграції локальних енергетичних хабів та екоіндустріальних парків дозволяє оцінювати рівень доступності, економічної виправданості, технологічної прийнятності та соціальної підтримки впроваджуваних рішень; позитивної оцінки заслуговує запропонований автором організаційно-економічний механізм забезпечення інтеграції, який включає систематизований набір інституційних, фінансових, техніко-технологічних та регуляторних інструментів. Його застосування створює умови для формування стійких виробничо-енергетичних екосистем на рівні територіальних громад.

Надані пропозиції автора були відзначені під час засідань Союзу промисловців і підприємців Хмельницької області, а також будуть використовуватися надалі у розробці регіональних Програм та при підготовці пропозицій промисловців та підприємців щодо вдосконалення нормативно-правової бази в частині регулювання енергетичного ринку та забезпечення енергетичної безпеки України.

Голова Союзу промисловців і
підприємців Хмельницької області

Іван Дунець





ХМЕЛЬНИЦЬКА ТОРГОВО-ПРОМИСЛОВА ПАЛАТА

KHMELNITSKY CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY

Україна, 29001, м. Хмельницький, вул. Подільська, 109/1
тел./факс +38(0382)78-53-69, 78-53-79, 78-53-62
<http://tppua.org>

109/1, Podilska Str., Khmelnytsky, 29001, Ukraine
tel./fax +38(0382)78-53-69, 78-53-79, 78-53-62
tpp-ua@i.ua

№ 22-05/ 1241
від 24.12.2025 р.

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційної роботи
ДИХИ ВАЛЕРІЯ ВАЛЕРІЙОВИЧА
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 051 «Економіка» на тему:
«УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ УКРАЇНИ
НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

Тема дисертаційної роботи є надзвичайно актуальною. Результати дисертаційної роботи Дихи В.В. є вагомим внеском у розвиток теоретико-методичних основ щодо забезпечення енергетичної безпеки України та мають практичну значущість.

Основні положення дисертаційної роботи були представлені для апробації на підприємствах – членах Хмельницької торгово-промислової палати, якими відзначено цінність розвитку концептуальних основ формування стійкої моделі енергетичного розвитку, зокрема, в частині застосування принципу адаптивності у сучасних умовах, важливості узгодженості управлінських рішень із цілями сталого розвитку та вимогами післявоєнної відбудови України.

Пропозиції автора щодо системи оцінювання ризиків для забезпечення енергетичної безпеки з урахуванням сучасних реалій, технологічних трансформацій та вимог сталого розвитку будуть використані для подальшого формування ефективних управлінських рішень.

Надані пропозиції автора були відзначені під час засідань робочої групи з питань оновлення Стратегії регіонального розвитку Хмельницької області на основі смарт - спеціалізації на період до 2027р., а також будуть використовуватися надалі підприємствами регіону при підготовці проєктних ідей до планів реалізації Стратегій розвитку територіальних громад Хмельниччини та формування інституційного підґрунтя для розбудови інфраструктури енергетичних хабів і екоіндустріальних парків з метою забезпечення підвищення енергетичної незалежності бізнесу та територіальних громад на основі дотримання принципів циркулярної економіки, сприяння стійкому економічному розвитку Хмельницької області та створення нових точок економічного зростання відповідно Плану відновлення України після війни.

Президент
Хмельницької ТПП



Наталія БЄЛЯКОВА



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Інститутська 11, Хмельницький-16, 29016, тел.: (0382) 67-02-76, факс: (0382) 67-42-65
 e-mail: centr@khmnu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02071234

26.12.25 № 035/169

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів
 дисертаційної роботи ДИХИ ВАЛЕРІЯ ВАЛЕРІЙОВИЧА
 на тему: «УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ УКРАЇНИ НА
 ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»
 у навчальний процес

Теоретичні положення та практичні рекомендації, викладені в дисертаційній роботі Дихи Валерія Валерійовича, поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 «Економіка», використовуються у навчальному процесі Хмельницького національного університету при викладанні дисциплін «Економіка сталого розвитку», «Оцінювання ризиків при прийнятті управлінських рішень», «Соціально-економічна безпека бізнесу», «Управління проектами». Основні теоретико-методичні положення та практичні рекомендації щодо управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку знайшли відображення у робочих програмах, змісті лекцій, кейсових завданнях, методичних матеріалах до самостійної роботи навчальних дисциплін. Використання у навчальному процесі результатів дослідження дисертанта сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати завдання відновлення енергетичної системи в умовах війни та її повоєнної модернізації, імплементації європейських стандартів щодо забезпечення енергетичної безпеки, ефективного функціонування усіх галузей національної економіки.

Завідувач кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі Хмельницького національного університету
 д.е.н., професор

Павло ГРИГОРУК

Проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету
 д.т.н., професор

Олег СИНЮК





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Інститутська 11, Хмельницький-16, 29016, тел.: (0382) 67-02-76, факс: (0382) 67-42-65
 e-mail: centr@khmnu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02071234

26.12.25 № 035/169

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про участь у науково-дослідних темах

Дисертаційна робота Дихи Валерія Валерійовича на тему: «Управління енергетичною безпекою України на засадах сталого розвитку» виконана відповідно до напрямків науково-дослідної теми кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі Хмельницького національного університету: «Розвиток соціально-економічних систем та трансформація підприємницьких структур за умов глобальних викликів». Зокрема, автором досліджено теоретико-методологічні засади управління енергетичною безпекою в умовах воєнних та поствоєнних трансформацій, обґрунтовано інструментарій забезпечення стійкості енергетичної системи України на засадах сталого розвитку, розроблено концептуальний підхід до формування інноваційної моделі управління енергетичною безпекою із застосуванням механізмів децентралізації, цифровізації та «зеленої» трансформації, а також здійснено прикладну оцінку впливу сучасних технологічних рішень на підвищення резильєнтності національної енергетики.

У рамках госпдоговірної науково-дослідної теми «Розробка моделі діагностики ризиків у системі економічної безпеки промислових підприємств в умовах зовнішніх викликів» (номер ДР 0123U104699) автором обґрунтовано основні ознаки ризику як багатоаспектної категорії. Охарактеризовано об'єктивно-суб'єктивний контекст ризику; обґрунтовано важливість належного виконання функцій та завдань Міністерством енергетики України з метою унеможливлення / нівелювання імовірних негативних наслідків від ризиків для енергетичного ринку. Окреслено перелік чинників зовнішнього середовища, їх вплив на функціонування суб'єктів енергоринку. Запропоновано авторське визначення ризику енергоринку як імовірності виникнення певних наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів енергоринку, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспрямованих дій контрагентів.

Завідувач кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі Хмельницького національного університету
 д.е.н., професор

Павло ГРИГОРУК

Проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету
 д.т.н., професор

Олег СИНЮК



Додаток Б

Таблиця Б.1

Еволюція становлення системи забезпечення економічної безпеки держави*

Етап	Розуміння суті безпеки	Коротка характеристика етапу
1-й етап: VI тис. до нашої ери – VIII ст. нашої ери	Безпека – захист територій від потенційних загарбників	Відбувався розвиток господарств окремих територій, які ставали об'єктами посягань кочових народів. Останні у боротьбі за кращі землі здійснювали військові походи. Постійна боротьба із загарбниками не дозволяла стабілізувати економічний розвиток територій, забезпечити задоволення потреб у їжі, одязі, військових знаряддях та предметах праці, що обумовлювало у родових племен необхідність об'єднання з метою захисту територій від нападників.
2-й етап: IX – перша половина XIII ст.	Безпека – здатність до самозахисту розділених територій у межах держави	Внаслідок надмірної децентралізації територіального управління виникали диспропорції у рівнях безпечності функціонування та економічного розвитку князівств Київської Русі. Кожне князівство визначало свої підходи щодо забезпечення безпеки, без погодження їх з іншими князівствами, що не дозволяло сформувати цілісну систему захищеності держави. Прагнення окремих територій до автономії та нездатність побудувати досконалу систему їх захисту створило завойовникам у посяганні на князівства Київської Русі.
3-й етап: друга половина XIII – XVIII ст.	Безпека – намагання спільно протистояти зовнішнім негативним впливам на розвиток окремих територій заради національної безпеки	Українські землі перебували під владою різних країн, методи та засоби забезпечення економічної безпеки в яких залежали від політики держави, яка панувала на той час, і була спрямована на підпорядкування української економіки колоніальним інтересам. Внаслідок цього сформувалися особливості розвитку цих земель: використання земель України як важливого аграрно-сировинного додатку до пануючих імперій; нераціональне використання економічного потенціалу територій України; нав'язування порядку ведення господарства, побуту та традицій інших народів; неврахування бажань українців як нації та перешкоджання їх культурному, духовному та національному розвитку.
4-й етап: поч. XIX ст. – 40-і рр. XX ст.	Становлення економічного потенціалу територій та відродження цілісності українських земель як передумови забезпечення економічної безпеки держави	Відбувалося нарощення економічного потенціалу територій України. Проте, незважаючи на позитивні зрушення в індустріальному розвитку окремих галузей промисловості, українські землі залишились основними постачальниками сировини у розвинуті країни, що негативно позначалося на рівні економічної безпеки держави. Крім того, на західній частині територій України, які перебували під владою різних держав, продовжували посилюватись відмінності в особливостях економічного, соціального, культурного та релігійного розвитку східної частини територій України.
5-й етап: 1944 – 1991 рр. XX ст.	Безпека – основа політики уряду СРСР, спрямованої на захист від впливу зовнішніх негативних чинників	Нераціональність та незбалансованість розвитку Союзу та республік у його складі. СРСР розпався на вершині своєї військової могутності, яку було досягнуто в збиток економічній, екологічній, соціальній та політичній безпеці. Україна була повністю інтегрована в систему народногосподарського комплексу СРСР та в систему його безпекового простору.
6-й етап: 1991 р. – по теперішній час	Безпека є важливою передумовою стабільного розвитку України як незалежної держави	Формування самостійних засад функціонування держави. Становлення організаційно-правових засад щодо забезпечення національної безпеки, у т.ч. економічної безпеки України.

*складено автором на основі [48].

Таблиця Б.2

Трактування сутності поняття «економічна безпека»*

Автор	Сутність поняття «економічна безпека»
О. Бандурка, В. Духов, К. Петрова, І. Червяков, [2]	Здатність економічної системи країни протистояти негативному впливу об'єктивних та суб'єктивних чинників досягненню макроекономічних цілей розвитку на рівні постіндустріальних держав.
О. Білорус, Д. Лук'яненко, [15]	Стан національної економіки, який дозволяє зберігати стійкість до зовнішніх та внутрішніх загроз, здатність до розширеного самовідтворення та спроможний задовольняти потреби особи, сім'ї, суспільства, регіону, держави.
Г. Дарнопих, [19]	Найважливіша якісна характеристика економічної системи, яка визначає здатність підтримувати послідовну реалізацію інтересів, стійку дієздатність господарчих суб'єктів, нормальні умови життєдіяльності населення.
М. Диха, [48]	Стан національної економіки, який характеризується здатністю її забезпечення усіма необхідними ресурсами та їх ефективне використання, здатністю ефективно реалізації необхідних функцій на усіх рівнях, здатністю протидіяти внутрішнім та зовнішнім загрозам (у т. ч. з урахуванням системи превентивних заходів з недопущення загроз).
М. Єрмошенко, [57]	Стан економічного механізму країни, що характеризується збалансованістю та стійкістю до негативного впливу внутрішніх та зовнішніх загроз, його здатністю забезпечувати на основі реалізації національних інтересів стабільний і ефективний розвиток вітчизняної економіки та соціальної сфери.
Я. Жаліло, [58]	Складна багатофакторна категорія, що характеризує здатність національної економіки до розширеного відтворення з метою задоволення на визначеному рівні потреб власного населення і держави, протистояння дестабілізуючій дії чинників, що створюють загрозу стійкому збалансованому розвитку країни; забезпечення конкурентоспроможності національної економіки у світовій системі господарювання.
В. Мунтіян, [84]	Загальнонаціональний комплекс заходів спрямованих на постійний і стабільний розвиток економіки держави, що включає механізм протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам. Стан захищеності економічних інтересів особи, суспільства та держави, розвитку достатнього оборонного потенціалу, що сприятиме стійкому й ефективному функціонуванню економіки в режимі розширеного відтворення; створення передумов для підтримки та покращення рівня життя громадян, задоволення інтересів у виробничо-економічній, фінансовій, зовнішньоекономічній, технологічній, енергетичній, продовольчій та інших субекономічних сферах.
Н. Нижник, Г. Ситник, В. Білоус, [85]	Стан правових норм і відповідних їм інститутів безпеки, які гарантували б позитивні темпи економічного розвитку, здатність зберігати чи відновлювати виробництво, забезпечувати стійке функціонування кредитно-фінансової системи тощо.

Продовження таблиці Б.2

Г. Пастернак-Таранущенко, [99]	Стан держави, за яким вона забезпечена можливістю створення, розвитку умов для плідного життя її населення, перспективного розвитку її економіки в майбутньому та в зростанні добробуту її мешканців.
А. Сухоруков, С. Мошенський, О. Петрук, [125, с. 53]	Сукупність умов, за яких зберігається здатність країни підтримувати конкурентоспроможність економіки, ефективно захищати національні економічні інтереси і протистояти зовнішнім економічним загрозам, повністю використовувати конкурентні переваги в міжнародному поділі праці.
А. Сухоруков, Ю. Харазішвілі, [126]	Вертикально інтегрована трирівнева (національний, регіональний та місцеве самоврядування) система з розвиненими горизонтальними зв'язками (на кожному із зазначених рівнів), яка характеризується самодостатністю, забезпечує стійкість економіки від негативних зовнішніх і внутрішніх дій та сприяє її розвитку
В. Шлемко, Г. Бінько, [139]	Стан національної економіки, який дозволяє зберігати стійкість до внутрішніх і зовнішніх загроз і здатний задовольняти потреби особи, сім'ї, суспільства і держави.
О. Шнипко, [140]	Стан національної економіки, при якому країна залишається самостійною в прийнятті та реалізації стратегічних економічних і політичних рішень в інтересах власної стабільності та прогресу. «система економічної безпеки» – це система, що взаємодіє з навколишнім оточенням і має сукупність властивостей, які забезпечують здатність до самовиживання та розвитку в умовах виникнення зовнішньої або внутрішньої загрози
Диха В., авторське визначення	<i>Економічна безпека – збалансований та стійкий стан національної економіки, який досягається на основі ефективно функціонуючого механізму протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам (у т. ч. цілеспрямованим впливам), шляхом реалізації комплексу заходів, спрямованих на сталий розвиток країни у врівноважених вимірах (економічному, соціальному, екологічному).</i>

*систематизовано автором.

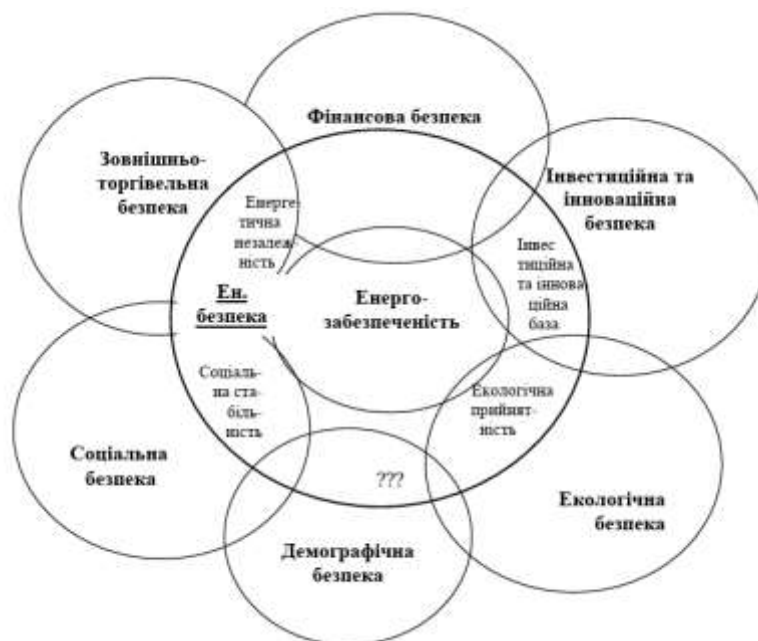


Рис. Б.1. Енергетична безпека в системі економічної безпеки (концептуальне зображення), [75, с. 308].



Рис. Б.2. Ієрархічна структура енергетичної безпеки, [76, с. 307].

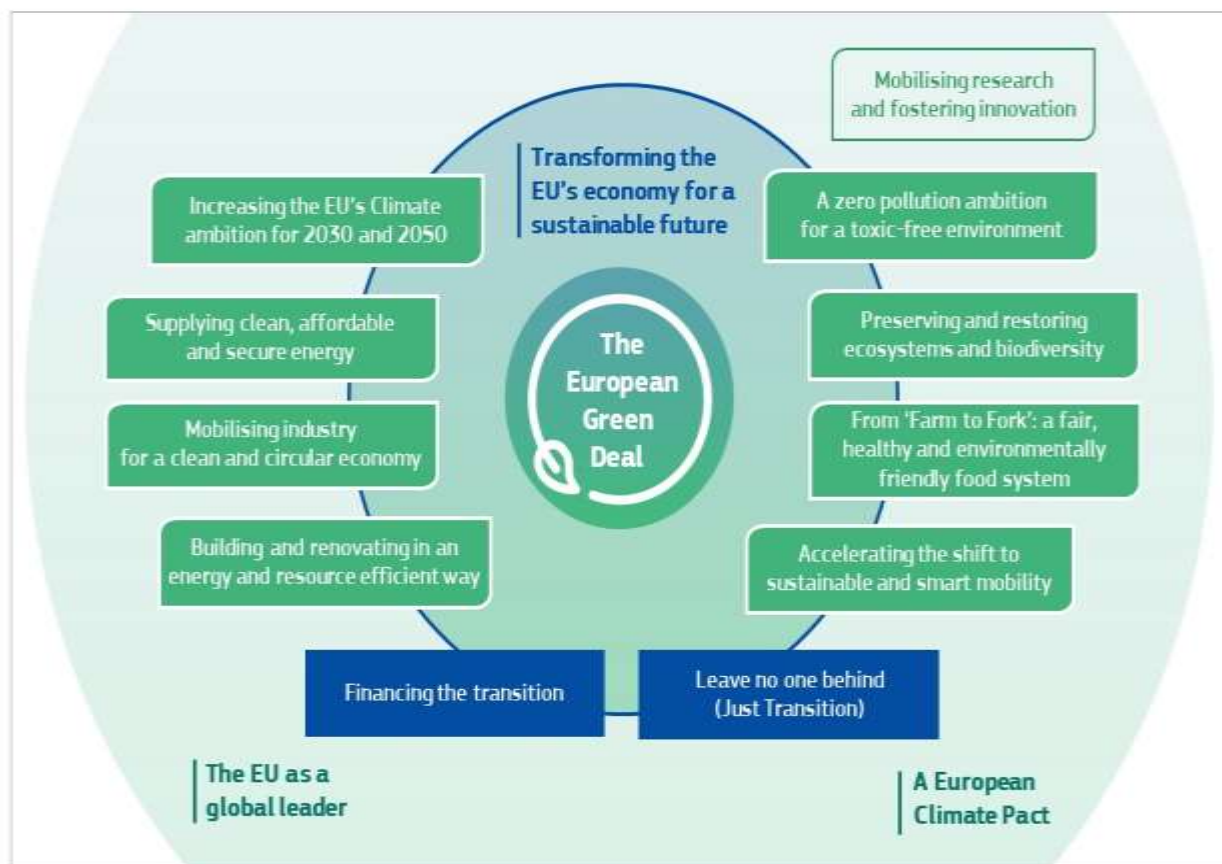


Рис. Б.3. Європейська зелена угода, [56].

Таблиця Б.3

Трактування сутності поняття «ризик»

Автор	Характеристика поняття «ризик»
В. Вітлінський, Г. Великоіваненко, [11, с. 5]	Ризик – це економічна категорія, яка відображає особливості сприйняття заінтересованими суб'єктами економічних відносин об'єктивно існуючих невизначеності та конфліктності, іманентних процесам цілепокладання, управління, прийняття рішень, оцінювання, що обтяжені можливими загрозами і невикористаними можливостями.
В. Вітлінський, П. Верченко, [12, с. 9]	Економічний ризик – це об'єктивно-суб'єктивна категорія у діяльності суб'єктів господарювання, що пов'язана з подоланням невизначеності та конфліктності в ситуації неминучого вибору. Вона відображає міру (ступінь) відхилення від цілей, від бажаного (очікуваного) результату, міру невдачі (збитків) з урахуванням впливу керованих і некерованих чинників, прямих та зворотних зв'язків стосовно об'єкта керування.
І. Івченко, [63, с. 18].	Ризик – це ймовірність виникнення збитків чи недоодержання доходів порівняно з прогнозованим варіантом.
А. Камінський, [65, с. 11]	Ризик – узагальнена об'єктивно-суб'єктивна характеристика ситуації прийняття рішення в умовах невизначеності, яка відбиває можливість прояву та значимість для суб'єкта прийняття рішення збитків, внаслідок прийняття того чи іншого рішення.
В. Лук'янова, [74, с. 22]	Ризик – об'єктивно-суб'єктивна категорія, пов'язана з подоланням невизначеності, випадковості, конфліктності в ситуації неминучого вибору, що відображає ступінь досягнення суб'єктом очікуваного результату.
Н. Машина, [78, с. 8].	Ризик – це об'єктивно-суб'єктивна категорія, яка пов'язана з подоланням невизначеності, випадковості і конфліктності в ситуації неминучого вибору й відображає ступінь досягнення очікуваного результату.
Г. Осовська, О. Осовський [92, с. 680]	Ризик – ситуаційна характеристика діяльності суб'єкта господарювання, пов'язана зі станом невизначеності.
Л. Останкова, Н. Шевченко [93, с. 8]	Економічний ризик – це об'єктивно-суб'єктивна категорія подолання конфліктності та невизначеності в ситуації неминучого вибору, що відображає ступінь досягнення очікуваного результату з урахуванням контрольованих і неконтрольованих факторів.
В. Пасічник, О. Акіліна, [98, с. 168]	Сутність ризику полягає в тому, що кожному підприємству постійно загрожує втрата прибутку і платоспроможності при здійсненні господарсько-фінансової діяльності під впливом непередбачених змін внутрішнього середовища.
О. Стешенко, [121, с. 11]	Ризик – це ймовірність (загроза) втрати підприємцем частини ресурсів, недоотримання прибутків або поява додаткових витрат внаслідок здійснення господарської діяльності.
Диха В., авторське визначення	<i>Ризик суб'єктів господарювання – імовірність виникнення певних наслідків від результатів дій (або бездіяльності) суб'єктів, їх взаємодії, впливу чинників зовнішнього середовища та від результатів імовірних цілеспямованих дій контрагентів.</i>

*систематизовано автором.

Таблиця Б.4

Методи управління ризиками

Метод	Характеристика
Прийняття рішень на основі наявної інформації	Відмова від реалізації проєктів через високий ступінь імовірних збитків або втрат; ухвалення рішень ризикувати, інвестувати кошти в проєкти на основі прогнозування імовірних результатів від їх впровадження як високоприбуткових; реалізація / впровадження заходів на основі оцінювання їх як потенційно дієвих, ефективних для підвищення енергетичної безпеки).
Отримання, придбання додаткової інформації	Обізнаність підвищує об'єктивність ухвалення рішень, їх обґрунтованість.
Передача ризиків	Аутсорсинг певного виду діяльності; відтак, відбувається й передача як імовірних ризиків втрат у випадках несприятливих обставин, так і надприбутків у випадках додаткового збігу сприятливого впливу чинників зовнішнього середовища.
Диверсифікація	Диверсифікація ринків, постачальників ресурсів, виробництва/ генерації енергії тощо.
Лімітування	До прикладу, ліміт вкладених інвестиційних ресурсів обмежить імовірні втрати у випадку несприятливих обставин, але при цьому обмежить імовірні прибутки у разі високої успішності інвестування.
Самострахування, резервування	Формування резервів (інвестиційних, матеріальних, трудових) дає можливість функціонувати у періоди настання форс-мажорних обставин, збоїв поставок ресурсів, дефіциту кадрів тощо; до прикладу, наявність резюме від потенційно бажаних працівників в компанії дозволяє залучити його в разі кадрових потреб.
Страхування	Імовірні збитки відшкодовуються згідно з договорами страхування.
Хеджування	Сукупність дій і засобів, спрямованих на управління ризиками. Інструментами хеджування є деривативи – стандартний документ, що засвідчує право придбати або продати базовий актив на визначених ним умовах у майбутньому (зокрема, форвардні контракти, ф'ючерсні контракти й опціони) [34; 40]. Форвардні контракти не знімають усіх ринкових ризиків, на відміну від ф'ючерсів і опціонів.

*складено автором на основі [34; 40].

Додаток В

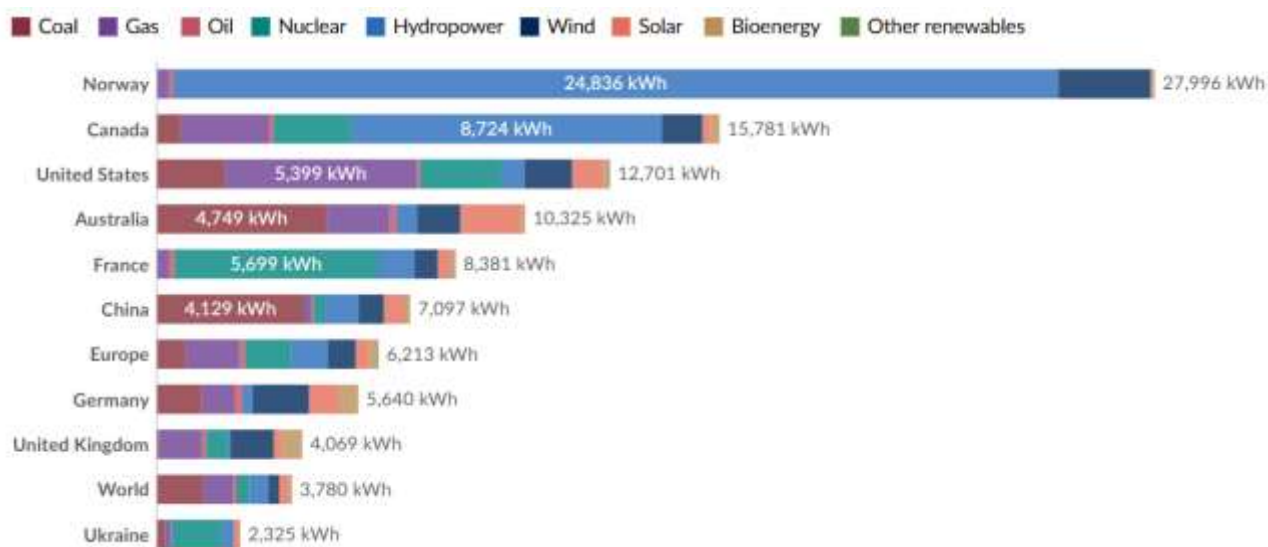


Рис. В.1. Виробництво електроенергії на душу населення за джерелами у 2024 р. [287].



Рис. В.2. Гідроенергетика: припливи, виробництво та споживання електроенергії у Норвегії, [205].

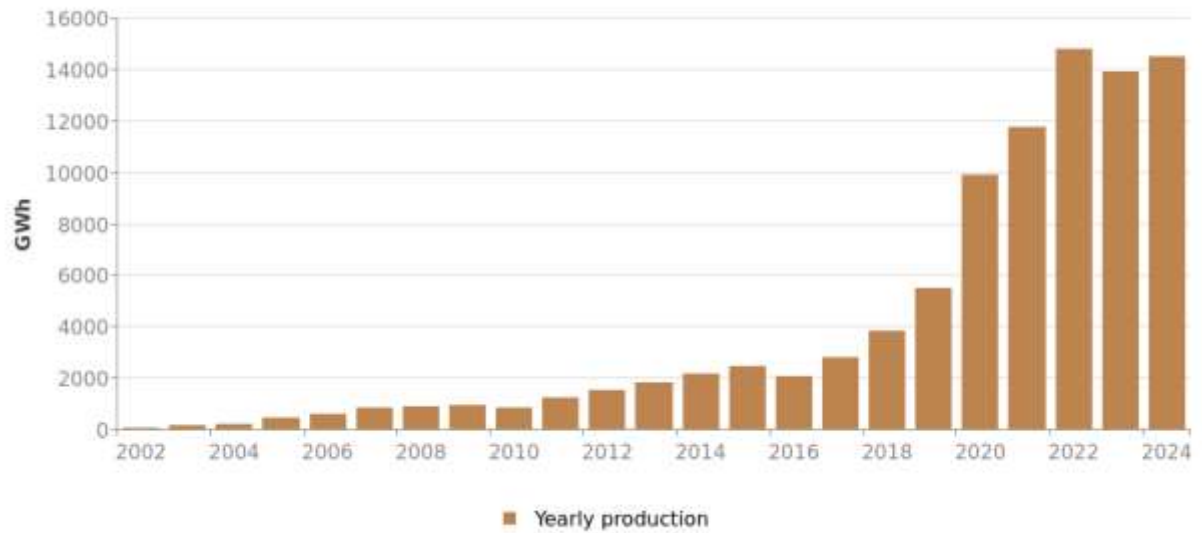


Рис. В.3. Виробництво вітрової енергії у Норвегії, [205].

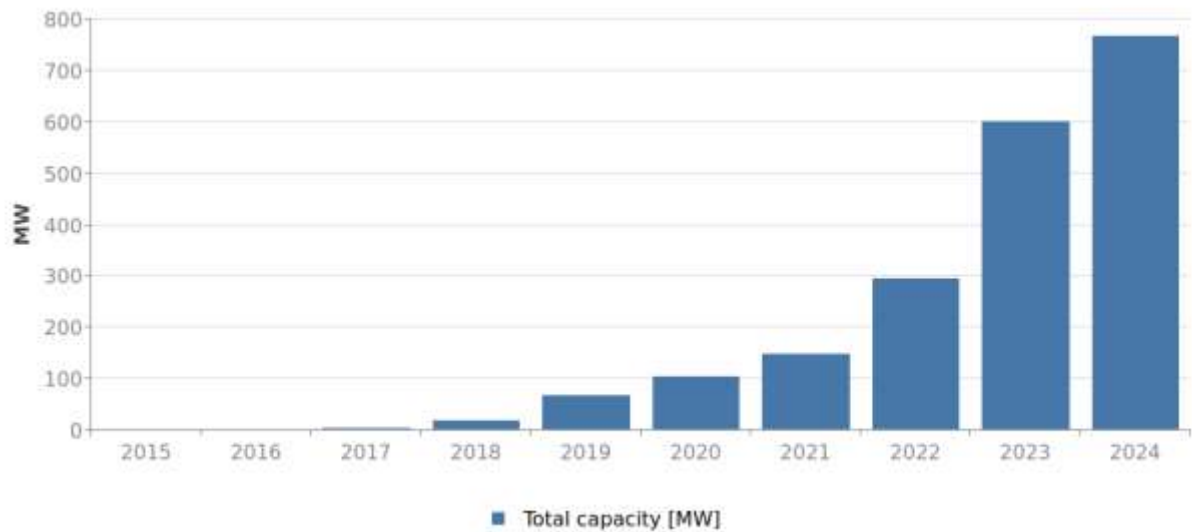


Рис. В.4. Виробництво сонячної енергії у Норвегії,
підключеної до мережі, [205].

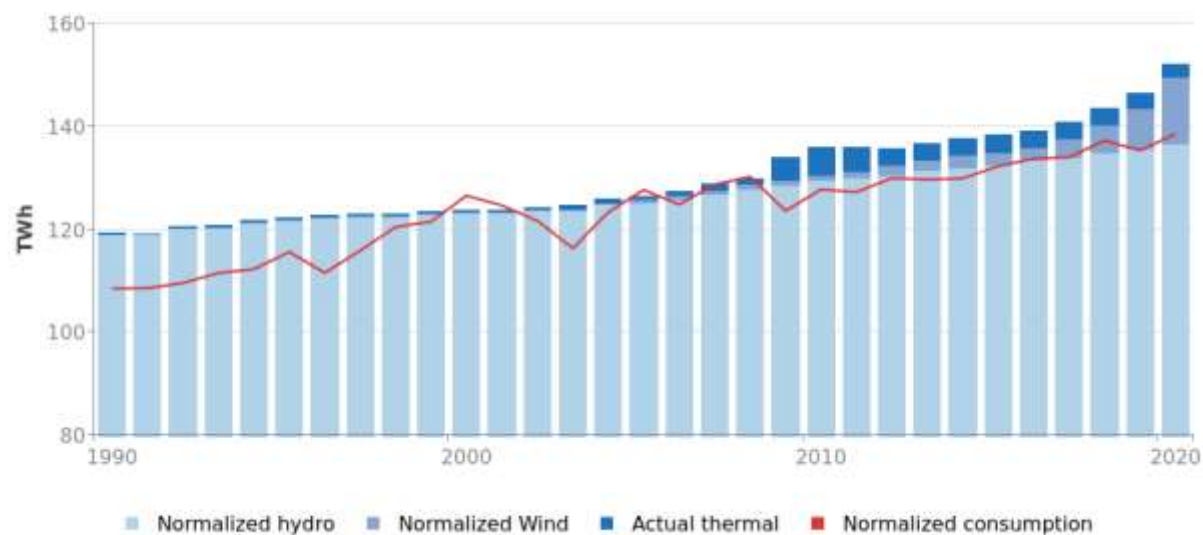


Рис. В.5. Нормалізоване виробництво та споживання електроенергії у Норвегії, [205].

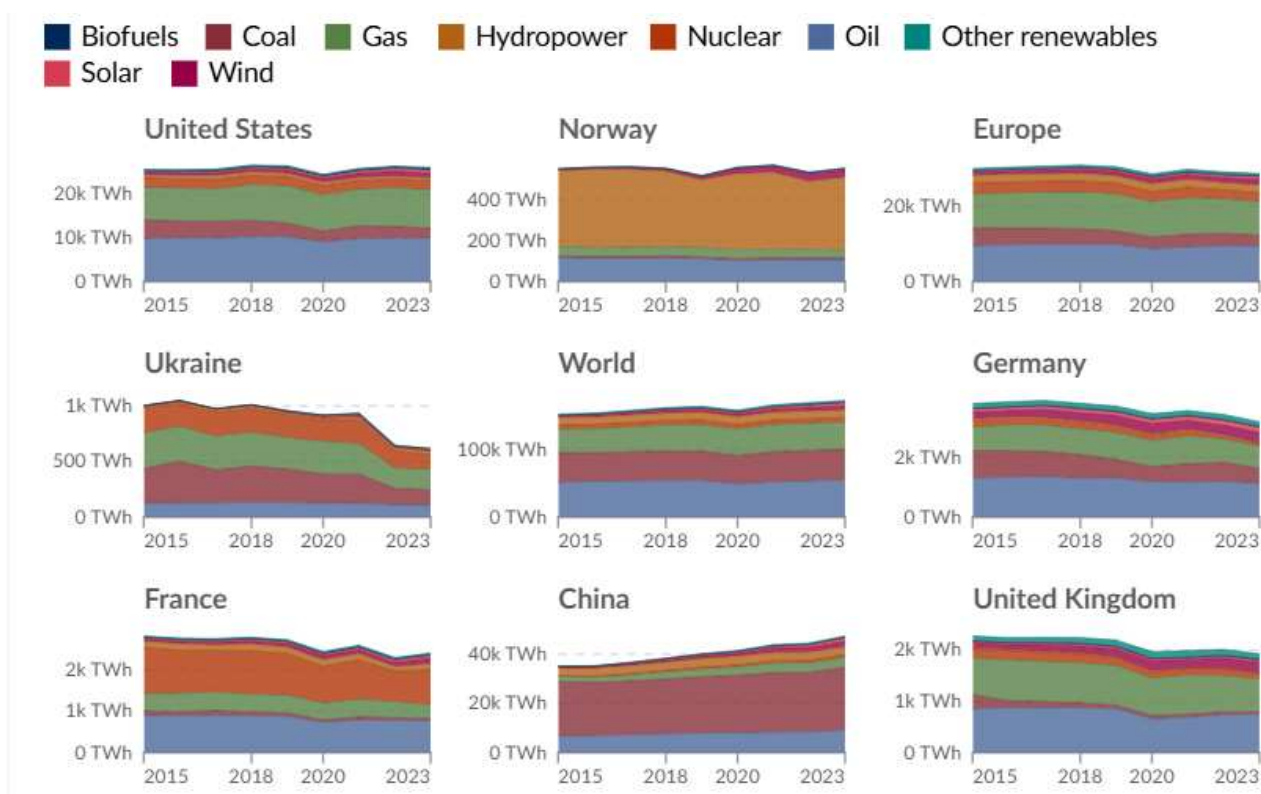


Рис. В.6. Структура споживання енергії за джерелами, [288].

Таблиця В.1

Виробництво атомної енергії у 2013-2023 рр. за країнами, [208]

Terawatt-hours	Growth rate per annum											Share	
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023	2013-23
Canada	102.7	106.5	101.1	100.7	100.8	100.0	100.3	97.5	92.0	86.8	89.0	2.8%	-1.4%
Mexico	11.8	9.7	11.8	10.6	10.9	13.6	11.2	11.2	11.9	10.8	12.4	14.2%	0.5%
US	830.5	839.1	839.1	845.1	847.3	849.6	852.0	831.5	820.7	812.1	816.2	0.5%	-0.2%
Total North America	945.1	955.3	951.8	946.4	948.8	963.1	963.2	940.1	924.6	909.8	917.6	8.9%	-0.2%
Argentina	6.2	5.5	7.0	8.3	6.1	6.9	8.4	10.0	10.2	7.5	9.0	20.0%	3.7%
Brazil	15.4	15.4	14.7	15.9	15.7	15.7	16.1	14.1	14.7	14.8	14.5	-0.3%	-0.6%
Chile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecuador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trinidad & Tobago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Central America	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Caribbean	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other South America	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total S. & Cent. America	21.7	20.3	21.8	24.1	21.8	22.5	24.6	24.1	24.9	22.3	23.5	6.6%	0.8%
Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Belgium	42.6	33.7	26.7	43.5	42.3	28.8	41.5	34.4	50.3	43.9	32.9	-25.0%	-2.6%
Bulgaria	14.2	13.9	15.4	15.8	15.5	16.1	16.8	16.6	16.5	16.5	16.2	-1.3%	1.3%
Croatia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyprus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Czech Republic	30.7	30.3	26.8	24.1	28.3	29.9	30.2	30.0	30.7	31.0	30.4	-2.0%	-0.1%
Denmark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finland	23.6	23.8	23.2	23.1	22.5	22.8	23.8	28.3	25.8	25.3	34.2	35.2%	3.8%
France	423.7	436.5	437.4	413.2	398.4	412.9	389.0	353.8	379.4	294.7	338.2	14.7%	-2.2%
Germany	97.1	87.1	91.8	84.8	70.1	76.0	75.1	64.4	69.1	54.7	7.2	-79.2%	-22.9%
Greece	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hungary	15.4	15.8	15.8	16.1	16.1	15.7	16.3	16.1	16.0	15.8	15.9	0.7%	0.4%
Iceland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ireland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Latvia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lithuania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luxembourg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Netherlands	2.9	4.1	4.1	4.0	3.4	3.5	3.9	4.1	3.8	4.2	4.0	-4.1%	3.3%
North Macedonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Norway	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Portugal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	11.8	11.7	11.8	11.3	11.5	11.4	11.3	11.5	11.3	11.1	11.2	0.9%	-0.4%
Slovakia	15.7	15.5	15.1	14.8	15.1	14.8	15.3	15.4	15.7	15.9	18.3	15.2%	1.6%
Slovenia	5.3	6.4	5.6	5.7	6.3	5.8	5.8	6.4	5.7	5.6	5.8	0.6%	0.2%
Spain	56.7	57.3	57.3	58.8	58.1	55.8	58.3	58.3	58.6	58.6	56.8	-3.0%	2.1%
Sweden	66.5	64.8	56.3	63.1	65.7	68.5	68.1	49.1	53.0	51.9	48.4	-6.8%	-3.1%
Switzerland	26.2	27.8	23.1	21.3	20.5	24.4	25.3	23.0	18.5	23.1	23.3	1.0%	-1.1%
Turkey	83.2	88.4	87.6	81.0	85.6	84.4	81.0	76.2	86.2	82.1	52.4	-15.8%	-4.5%
Ukraine	70.6	63.7	70.3	71.7	70.3	65.1	56.2	50.3	45.9	47.7	40.7	-14.6%	-5.3%
United Kingdom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Europe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Europe	986.2	982.4	968.0	941.8	931.8	931.8	926.7	933.6	982.1	942.2	795.9	-0.8%	-2.9%
Azerbaijan	-	-	-	-	-	-	-	0.3	5.8	4.7	19.7	150.5%	0.4%
Belarus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kazakhstan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Russian Federation	172.5	180.8	195.5	198.6	211.1	204.6	209.0	215.9	222.4	213.7	217.4	-2.8%	2.3%
Turkmenistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uzbekistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other CIS	2.4	2.5	2.8	2.4	2.8	2.1	2.2	3.8	2.0	2.8	2.7	-4.8%	1.4%
Total CIS	174.9	183.2	198.3	199.0	205.4	204.7	211.2	219.0	230.2	231.2	231.8	0.3%	2.9%
Iran	4.3	4.3	3.5	6.5	7.0	6.9	6.4	8.3	3.5	6.8	6.8	1.1%	4.5%
Iraq	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Israel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuwait	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qatar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saudi Arabia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
United Arab Emirates	-	-	-	-	-	-	-	1.6	10.5	20.1	32.3	80.5%	1.2%
Other Middle East	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Middle East	4.3	4.1	3.5	6.5	7.0	6.9	6.4	8.3	14.1	26.7	38.9	43.9%	24.8%
Algeria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Egypt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morocco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
South Africa	14.1	13.8	12.2	19.0	14.2	11.8	13.3	9.9	12.4	10.1	8.3	-11.9%	-4.5%
Eastern Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Middle Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Western Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Northern Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Southern Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Africa	14.1	13.8	12.2	19.0	14.2	11.8	13.3	9.9	12.4	10.1	8.3	-11.9%	-4.5%
Australia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bangladesh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
China	111.5	133.2	171.4	213.2	348.1	295.0	348.7	386.2	407.5	417.8	434.7	4.1%	14.6%
China Hong Kong SAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
India	33.3	34.7	38.3	37.8	37.4	39.1	45.2	44.6	43.9	46.2	48.2	4.4%	3.8%
Indonesia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Japan	14.6	-	4.5	17.7	20.1	49.1	69.8	43.0	61.2	51.8	77.5	48.6%	18.2%
Malaysia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
New Zealand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pakistan	4.3	4.7	4.1	5.3	8.1	8.2	9.2	9.5	15.7	22.2	22.4	0.6%	18.0%
Philippines	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Singapore	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
South Korea	118.8	156.4	184.8	182.0	148.4	131.5	145.9	180.2	158.0	176.1	188.5	2.5%	2.7%
Sri Lanka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taiwan	41.8	42.4	38.5	31.7	22.4	27.7	32.3	31.4	27.8	23.8	17.8	-25.1%	-8.7%
Thailand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vietnam	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Asia Pacific	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Asia Pacific	344.1	371.4	416.7	461.7	491.8	551.8	648.8	695.0	714.1	737.8	781.1	5.9%	8.5%
Total World	2100.8	2141.8	2132.8	2113.7	2137.6	2200.7	2177.6	2153.6	2107.5	2073.8	2111.8	2.2%	1.0%
of which: OECD	1815.7	1888.3	1914.5	1923.0	1928.6	1969.7	1994.1	1873.0	1812.2	1790.0	1831.7	2.3%	-0.8%
Non-OECD	514.6	562.8	600.8	640.7	677.4	730.5	801.6	817.0	890.4	889.0	906.0	1.8%	5.8%
European Union	816.2	812.5	788.8	767.9	759.5	761.9	765.9	683.5	711.7	659.3	619.4	1.7%	-2.6%

* Based on gross generation and not accounting for cross-border electricity supply.
 Note: Annual changes and shares of total are calculated using terawatt-hour figures.

Додаток Г

Таблиця Г.1

Номінальний валовий внутрішній продукт України у фактичних цінах*

Рік	млн грн	відхилення до попереднього року (+,-)		млн дол США	відхилення до попереднього року (+,-)	
		млн грн	%		млн дол США	%
2021	5 459 574	1 265 472	30,2	199 770	44 188	28,4
2022	5 191 028	-268 546	-4,9	161 990	-37 780	-18,9
2023	6 537 825	1 346 797	25,9	181 220	19 230	11,9
2024	7 658 659	1 120 834	17,1	190 740	9 520	5,3

*складено автором за даними [82]; динаміка валового внутрішнього продукту в доларах істотно відрізняється від динаміки в гривнях, що обумовлено динамікою валютного курсу в Україні; співвідношення гривні до долара див. детальніше [82].

Таблиця Г.2

Дефіцит (-) / профіцит (+) державного бюджету України*

Рік	Доходи		Видатки		Кредитування		Сальдо	
	млн грн	% ВВП	млн грн	% ВВП	млн грн	% ВВП	млн грн	% ВВП
2021	1 296 852,9	23,75	1 490 258,9	27,30	4531,4	0,08	-197 937,4	-3,63
2022	1 787 395,6	34,43	2 705 423,3	52,12	-3326,0	-0,06	-914 701,7	-17,62
2023	2 671 998,0	40,87	4 014 418,1	61,40	-9309,5	-0,14	-1 333 110,7	-20,39
2024	3 122 713,4	40,77	4 486 682,7	58,58	-5469,3	-0,07	-1 358 500,1	-17,74

*складено автором за даними [82].

Таблиця Г.3

Видатки державного бюджету України за функціональною класифікацією*

Видатки	2021 р.		2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	млн грн	%	млн грн	%	млн грн	%	млн грн	%
Загальнодержавні функції (у т.ч. обслуговування держборгу)	206 643,1	13,87	201 999,1	7,47	296 139,1	7,38	374 306,6	8,34
Оборона	127 527,3	8,56	1 142 872,4	42,24	2 097 620,5	52,25	2 304 475,1	51,36
Громадський порядок, безпека, судова влада	174 409,6	11,70	443 323,2	16,39	574 614,6	14,31	692 658,7	15,44
Економічна діяльність	180 989,9	12,14	95 368,4	3,53	134 307,6	3,35	163 133,8	3,64
Охорона навколишнього середовища	8 200,2	0,55	4 714,1	0,17	5 202,5	0,13	9 515,1	0,21
Житлово-комунальне господарство	164,1	0,01	528,6	0,02	8 369,4	0,21	7 540,5	0,17
Охорона здоров'я	170 505,2	11,44	184 267,8	6,81	179 258,2	4,47	201 445,4	4,49
Духовний та фізичний розвиток	15 970,3	1,07	11 051,3	0,41	11 817,7	0,29	16 202,7	0,36
Освіта	63 837,1	4,28	58 508,1	2,16	60 452,2	1,51	64 738,0	1,44
Соціальний захист та соціальне забезпечення	339 278,9	22,77	425 987,0	15,75	469 251,2	11,69	464 734,4	10,36
Міжбюджетні трансферти	202 733,3	13,6	136 803,3	5,06	177 385,2	4,42	187 932,4	4,19
Усього	1 490 258,9	100	2 705 423,3	100	4 014 418,1	100	4 486 682,7	100

*складено автором за даними [82].

Таблиця Г.4

Державний та гарантований державою борг України*

Показник	Одиниця виміру	Значення показника станом на			
		31.12.2021	31.12.2022	31.12.2023	31.12.2024
Загальний борг	млн грн	2 671 827,6	4 071 683,1	5 519 483,9	6 980 964,9
	млн дол США	97 947,4	111 343,7	145 316,9	166 059,3
у тому числі					
Зовнішній борг	млн грн	1 560 230,0	2 610 945,6	3 862 987,6	5 048 475,3
	млн дол США	57 197,0	71 398,6	101 704,7	120 090,3
Внутрішній борг	млн грн	1 111 597,6	1 460 737,5	1 656 496,3	1 932 489,6
	млн дол США	40 750,4	39 945,1	43 612,2	45 969,0

*складено автором за даними [82]; динаміка державного боргу в доларах істотно відрізняється від динаміки в гривнях, що обумовлено динамікою валютного курсу в Україні; співвідношення гривні до долара див. детальніше [82].

Таблиця Г.5

Зовнішній державний та гарантований державою борг України*

Показник	Значення показника станом на							
	31.12.2021		31.12.2022		31.12.2023		31.12.2024	
	млн дол США	%	млн дол США	%	млн дол США	%	млн дол США	%
Зовнішній державний борг	47 654,7	83,30	63 590,9	89,07	94 790,5	93,20	114 877,2	95,66
Зовнішній гарантований державою борг	9 542,3	16,70	7 807,7	10,93	6 914,2	6,80	5 213,1	4,34
Сукупний зовнішній борг України	57 197,0	100	71 398,6	100	101 704,7	100	120 090,3	100

*складено автором за даними [82].

Таблиця Г.6

Зовнішньоторговельний баланс України*

Рік	Номінальний ВВП	Експорт товарів та послуг		Імпорт товарів та послуг		Сальдо	
	млн грн	млн грн	% ВВП	млн грн	% ВВП	млн грн	% ВВП
2021	5 459 574	2 224 704	40,7	-2286 067	-41,9	-61 363	-1,1
2022	5 191 028	1 840 563	35,5	-2 712 325	-52,3	-871 762	-16,8
2023	6 537 825	1 868 904	28,6	-3 237 014	-49,5	-1 368 110	-20,9
2024	7 658 659	2 252 428	29,4	-3 702 410	-48,3	-1 449 982	-18,9

*складено автором за даними [82].

Додаток Д

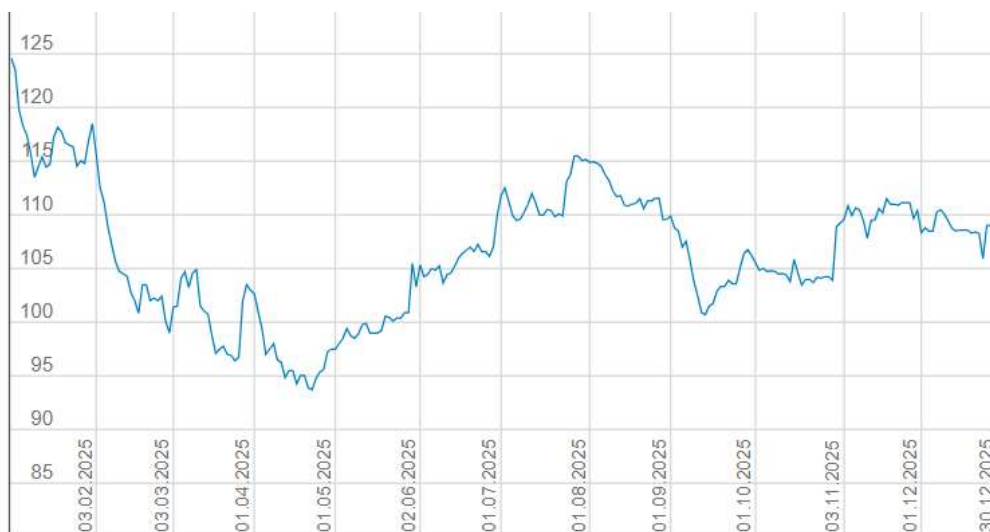


Рис. Д.1. Динаміка світових біржових цін на вугілля у 2025 р.,
дол США за тону, [82].

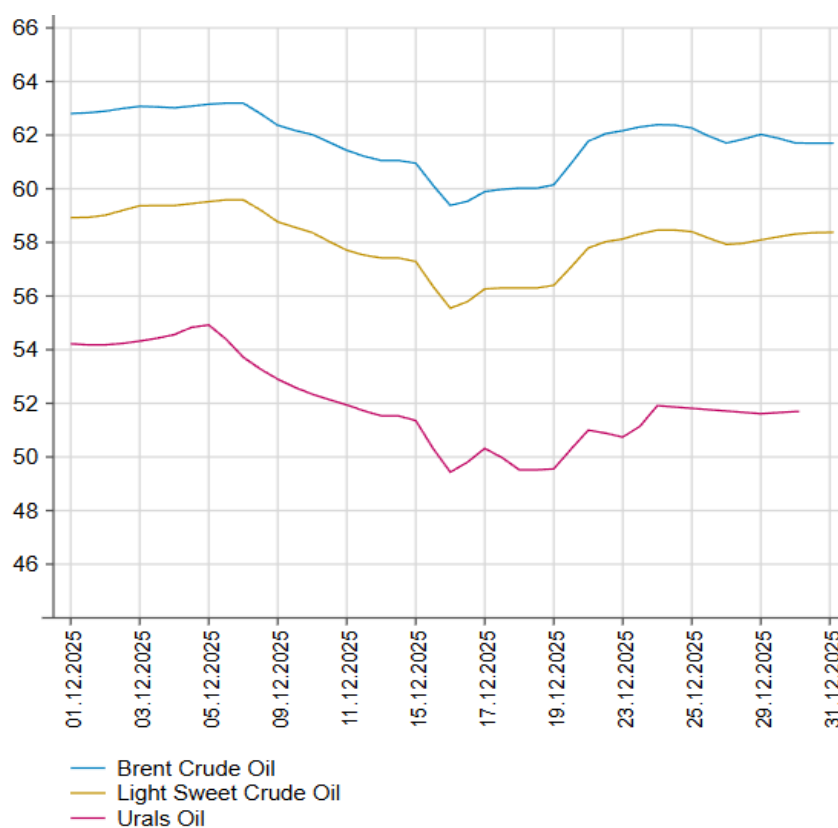


Рис. Д.2. Динаміка цін на маркерні сорти нафти (Brent, WTI, Urals)
у грудні 2025 р., дол за барель, [82].



Рис. Д.3. Динаміка цін на природний газ на Лондонській біржі ICE у жовтні-грудні 2025 р., GB p / thm, [82].

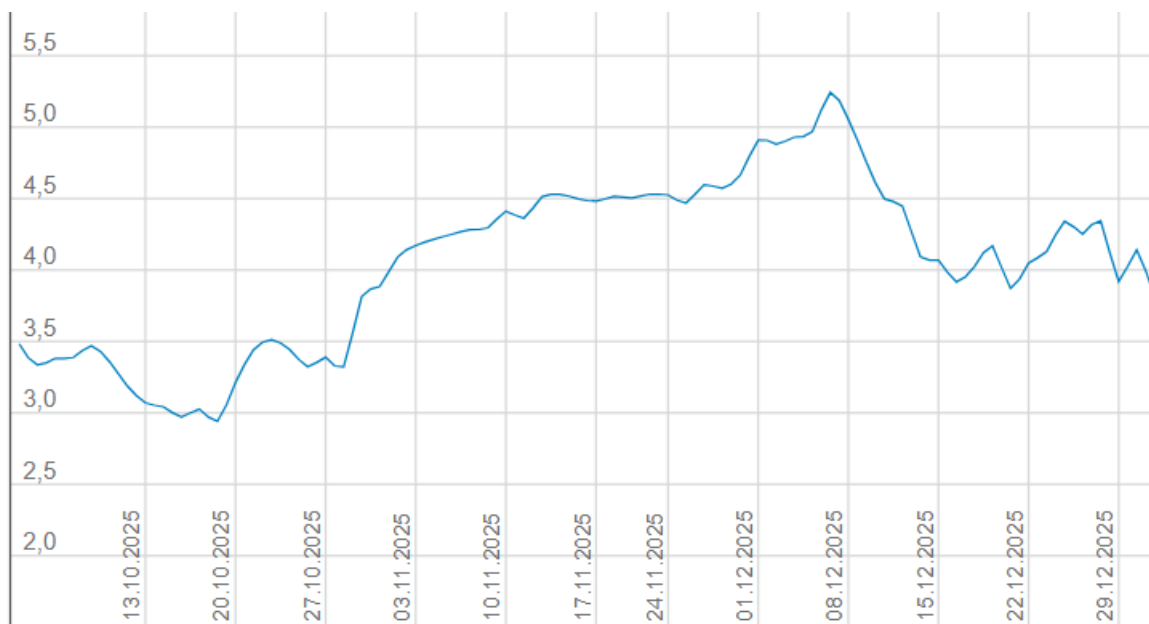


Рис. Д.4. Динаміка цін на природний газ на Нью-Йоркській товарній біржі у жовтні-грудні 2025 р., дол США / MMBtu, [82].

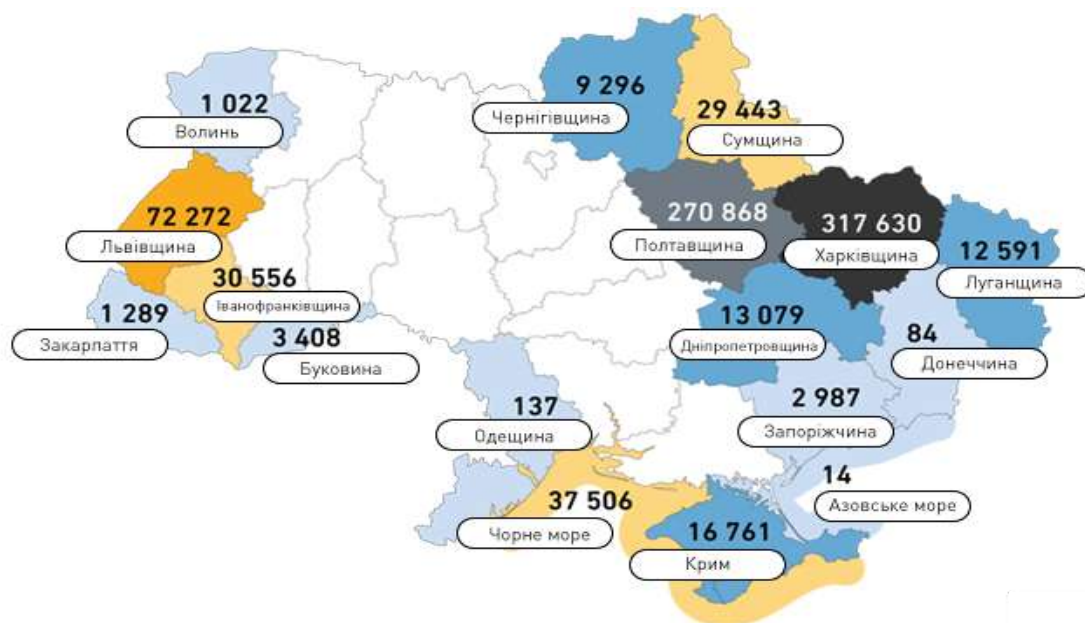


Рис Д.5. Розподіл запасів природного газу по адміністративних областях, млн м³, [46].

Таблиця Д.1

Валовий видобуток газу в Україні за 2015-2020 рр., млрд м³, [46]

Підприємство	Рік					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Приватні підприємства	3,9	4,2	4,1	4,4	4,6	4,9
ПАТ «Укрнафта»	1,5	1,3	1,1	1,1	1,2	1,15
АТ «Укргазвидобування»	14,5	14,6	15,3	15,5	14,9	14,15
Разом	19,9	20,1	20,5	21,0	20,7	20,2

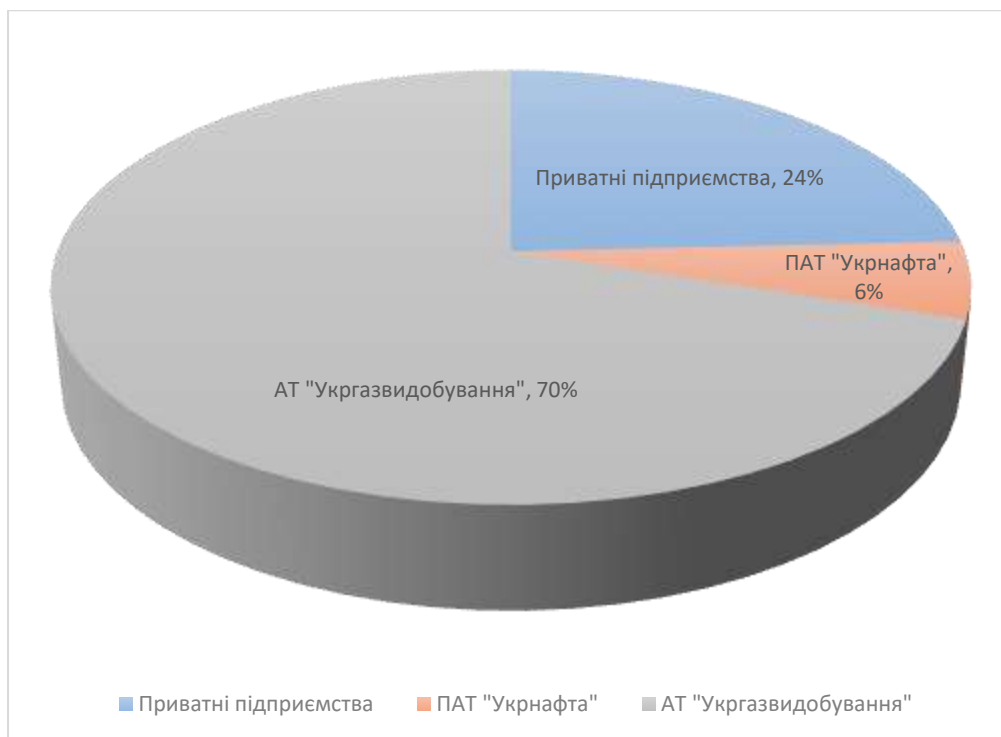


Рис. Д.6. Видобування природного газу на ринку України у 2020 р., %, [46].

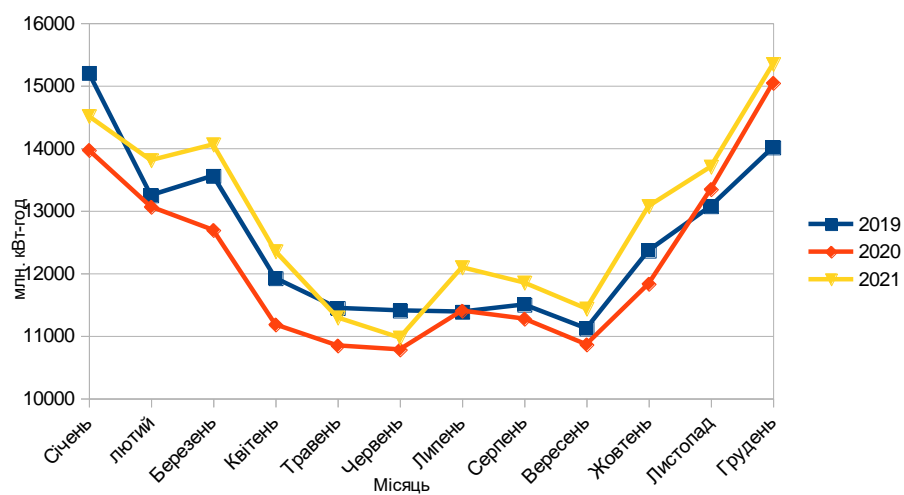


Рис. Д.7. Динаміка споживання електроенергії в Україні, [21].

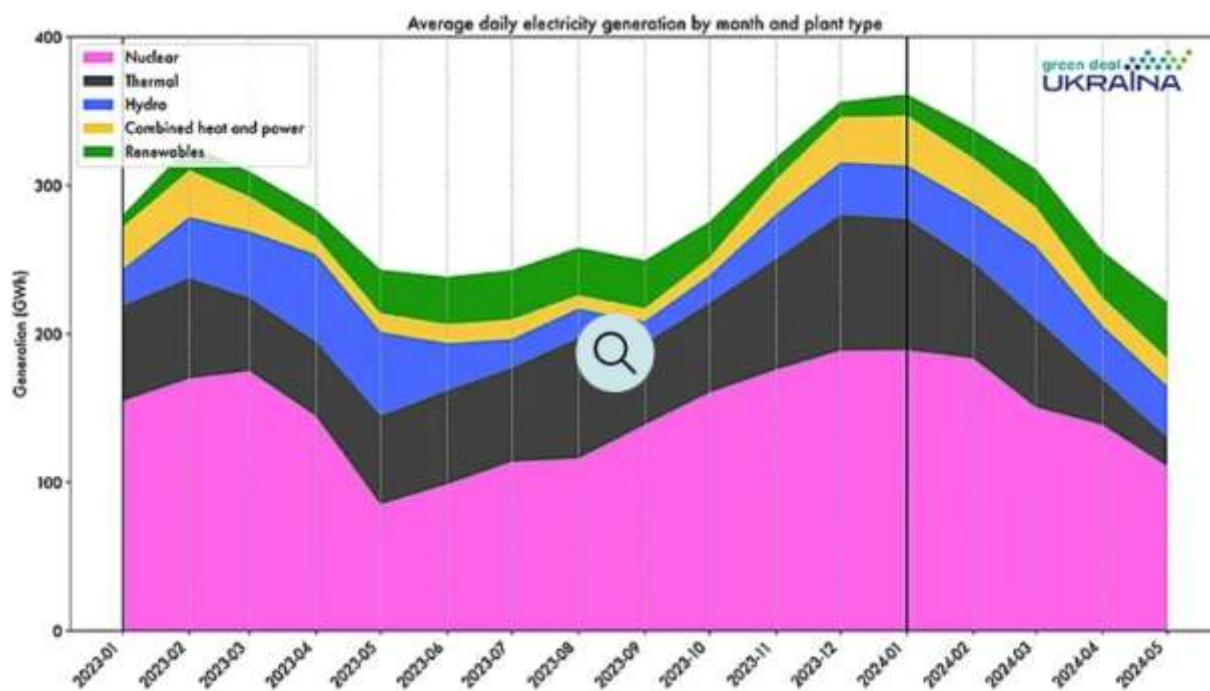


Рис. Д.8. Середньодобове споживання електроенергії за місяцями та типом в Україні, [117].

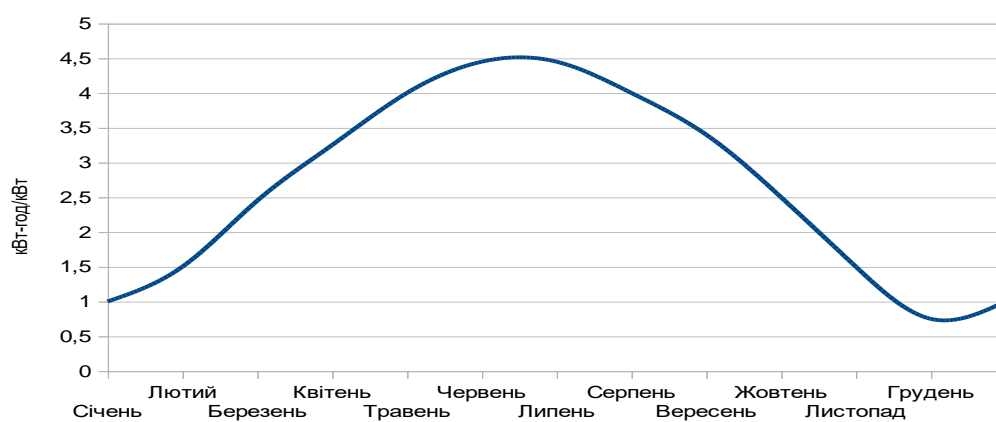


Рис. Д.9. Генерація енергії СЕС потужністю 1 кВт протягом року, [334].

Таблиця Д.2

Основні типи водню, технології виробництва та їх характеристики

Тип водню	Джерело/ технологія виробництва	Екологічність	Особливості / Переваги	Вартість (2021 р.)	Додаткова інформація
Зелений водень	Електроліз води з використанням енергії вітро-, гідро- та сонячних електростанцій	Абсолютно екологічний	Легко транспортабельний, висока енергоефективність, вирішує проблеми локальності та сезонності ВДЕ	9-10 дол/кг	Виробництво включено у «Водневу стратегію для кліматично- нейтральної Європи» (08.07.2020)
Жовтий водень	Електроліз води з використанням енергії атомних електростанцій	Екологічно чистий (атомна енергія визнана «зеленою» Єврокомісією)	Дозволяє балансувати потужності атомної генерації	9-10 дол/кг	Висока собівартість через ціну атомної енергії
Бірюзовий водень	Піроліз води та природного газу	Умовно екологічний (вуглець не потрапляє в атмосферу)	Побічний продукт – твердий вуглець, використовується у виробництві сталі та аккумуляторів	до 5 дол/кг	Ефективна технологія з мінімальними викидами CO ₂
Сірий водень	Парова конверсія метану	Неекологічний (викиди CO ₂)	Найдешевший тип; проста технологія	2-3 дол/кг	Виділяє обсяг CO ₂ , еквівалентний спаленню природного газу
Блакитний водень	Парова конверсія метану з уловлюванням і зберіганням CO ₂	Частково екологічний	Використання технологій уловлювання та зберігання вуглецю	до 9 дол/кг	CO ₂ зберігається на дні морів чи океанів
Бурий водень	Нагрівання кам'яного вугілля з водяною парою без доступу повітря	Неекологічний (високі викиди CO ₂)	Простий, але дуже забруднюючий метод	2-3 дол/кг	Викиди CO ₂ удвічі більші, ніж при спаленні природного газу

*складено автором на основі [213].

Таблиця Д.3

Хімічний склад біогазу*

Речовина	Хімічна формула	Вміст, %
Метан	CH ₄	40-75
Вуглекислий газ	CO ₂	25-55
Водяна пара	H ₂ O	0-10
Азот	N ₂	<5
Кисень	O ₂	<2
Водень	H ₂	<1
Сірководень	H ₂ S	<1
Аміак	NH ₃	<1

*складено автором на основі [4].

Додаток Е

Таблиця Е.1

Зіставлення завдань, визначених на глобальному та національному рівнях,
для досягнення Цілі 7 «Доступна та чиста енергія»*

Завдання (глобальне визначення)	Завдання (національне визначення)
7.1. До 2030 року забезпечити загальний доступ до недорогого, надійного і сучасного енергопостачання	7.1. Розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій. Завдання конкретизовано з урахуванням національної специфіки
	7.2. Забезпечити диверсифікацію постачання первинних енергетичних ресурсів. Завдання конкретизовано з урахуванням національної специфіки
7.2. До 2030 року значно збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у світовому енергетичному балансі	7.3. Збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у національному енергетичному балансі, зокрема за рахунок введення додаткових потужностей об'єктів, що виробляють енергію з відновлюваних джерел. Завдання конкретизовано з урахуванням національної специфіки
7.3. До 2030 року подвоїти глобальний показник підвищення енергоефективності	7.4. Підвищити енергоефективність економіки. Завдання конкретизовано з урахуванням національної специфіки
7.a. До 2030 року активізувати міжнародне співробітництво з метою полегшення доступу до досліджень і технологій у галузі екологічно чистої енергетики, включаючи відновлювану енергетику, підвищення енергоефективності та передові й чистіші технології використання викопного палива, заохочувати інвестиції в енергетичну інфраструктуру і технології екологічно чистої енергетики	Окремо завдання не встановлено, оскільки таке завдання враховано у відповідних програмних документах
7.b. До 2030 року розширити інфраструктуру і модернізувати технології для сучасного та сталого енергопостачання всіх у країнах, що розвиваються, зокрема у найменш розвинених країнах, малих островних державах, що розвиваються, і країнах, що не мають виходу до моря, з урахуванням їх відповідних програм підтримки	Окремо завдання не встановлено, оскільки таке завдання враховано у відповідних програмних документах

*сформовано автором на основі [86].

Таблиця Е.2

Цільові значення показників до 2030 р. в рамках завдань Цілі 7

Завдання	Показник	
	Назва показника	Цільові значення
7.1. Розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій	7.1.1. Виробництво електроенергії, млрд кВт·год	2015 – 157,7 2020 – 163,8 2025 – 178,4 2030 – 182,0
	7.1.2. Технологічні витрати електричної енергії в розподільчих електромережах, %	2015 – 11,5 2020 – 11,0 2025 – 10,0 2030 – 9,0
	7.1.3. Втрати тепла в тепломережах, %	2015 – 20 2020 – 18 2025 – 14 2030 – 12
7.2. Забезпечити диверсифікацію постачання первинних енергетичних ресурсів	7.2.1. Максимальна частка імпорту первинних енергоресурсів (крім ядерного палива) з однієї країни (компанії) в загальному обсязі їхнього постачання (імпорту), %	2015 – 40 2020 – < 15 2025 – < 12 2030 – < 12
	7.2.2. Частка одного постачальника на ринку ядерного палива, %	2015 – > 95 2020 – < 70 2025 – < 60 2030 – < 50
7.3. Збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у національному енергетичному балансі, зокрема за рахунок введення додаткових потужностей об'єктів, що виробляють енергію з відновлюваних джерел	7.3.1. Частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії, %	2015 – 4,9 2020 – 11,0 2025 – 14,2 2030 – 17,1
7.4. Підвищити енергоефективність економіки	7.4.1. Енергомісткість ВВП (витрати первинної енергії на одиницю ВВП), кг н. е. на 1 дол США за ПКС 2011	2015 – 0,28 2020 – 0,20 2025 – 0,17 2030 – 0,14

*сформовано автором на основі [86].

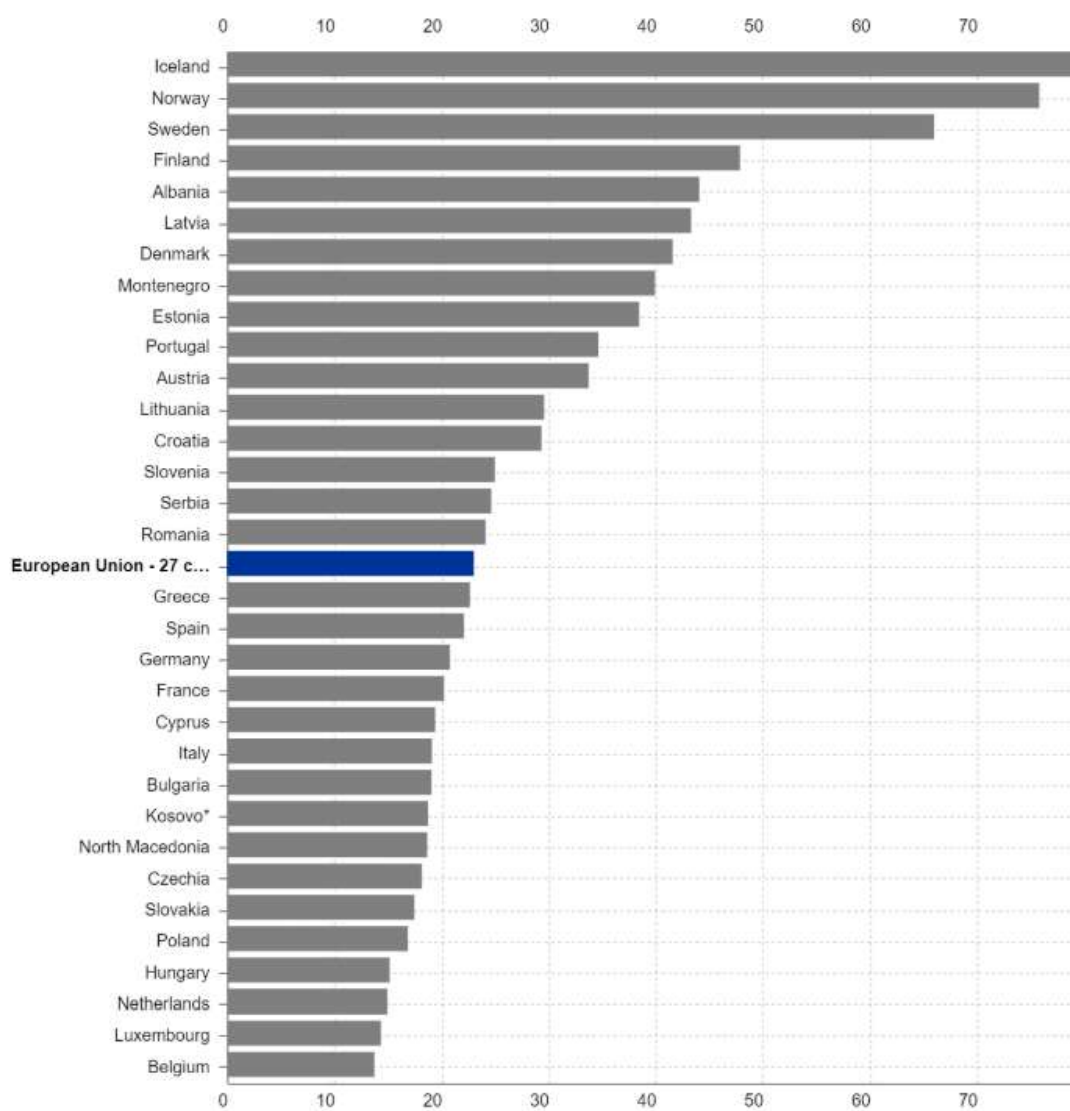


Рис. Е.1. Частка ВДЕ у валовому кінцевому
споживанні енергії за країнами, 2022 р., [217].



Рис. Е.2. Енергомiсткiсть ВВП країн свiту, 2022 р., [208].

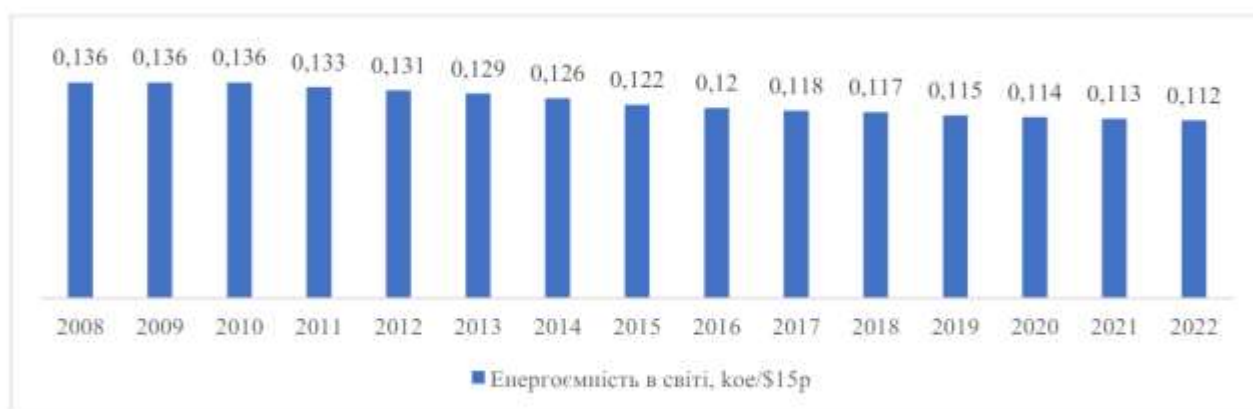


Рис. Е.3. Енергомiсткiсть ВВП у свiтi, 2008-2022 рр., [208].

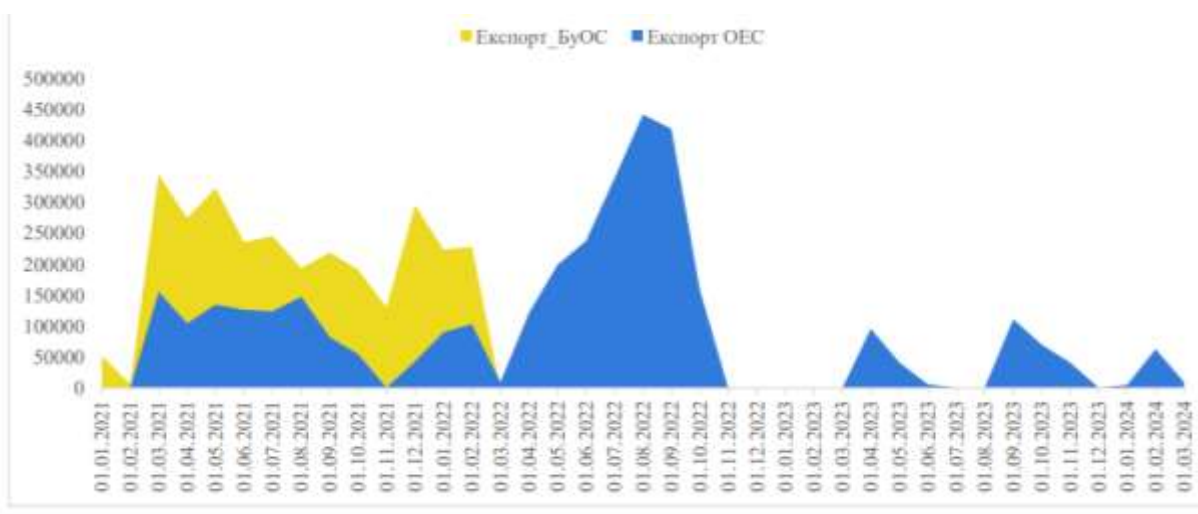


Рис. Е.4. Експорт електроенергії України протягом періоду січень 2021 р. - лютий 2024 р., МВт·год, [114].

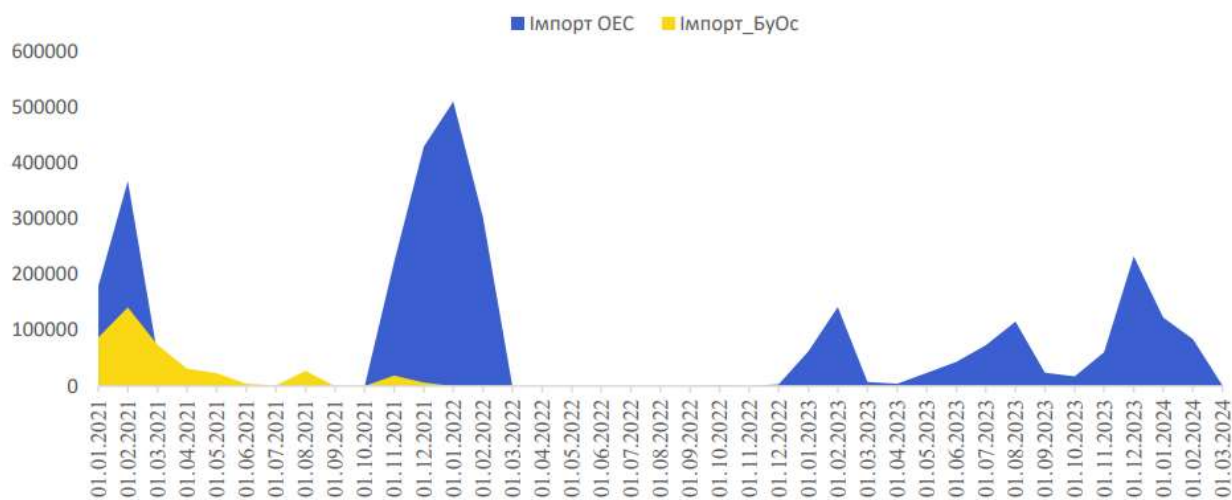


Рис. Е.5. Імпорт електроенергії України протягом періоду січень 2021 р. - лютий 2024 р., МВт·год, [114].

Додаток Ж

Таблиця Ж.1

**Основні підходи до оцінювання енергетичної безпеки
у публікаціях зарубіжних вчених***

Назва індикатора / підходу	Джерело (рік)	Ключові характеристики (показники, охоплення, дані)	Методичні особливості та внесок у галузь
Індекс енергетичної безпеки провінцій	Li J. et al. (2020), [263]	12 показників; Китай; дані щодо виробництва, споживання, різноманітності, ВДЕ, інфраструктури, доступності	Ентропійні ваги + експертна оцінка; сформовано та апробовано регіональний індекс для провінцій Китаю
Рівень енергетичної безпеки країн Балтії	Augustis J. et al. (2020), [160]	24 індикатори; Литва, Латвія, Естонія; дані про потужності, ринок, ВДЕ, ризики	Опитування експертів; новий регіональний індекс, придатний для міжкраїнних порівнянь
Індекс енергетичної безпеки Пакистану	Abdullah B. et al. (2020b), [146]	22 показники; аналіз 2000-2018 рр.; виробництво, імпорт, ефективність, забруднення	Аналіз головних компонент; застосовано національний індекс для довгострокової динаміки
Індекс енергетичної безпеки Кабо-Верде	Coutinho G. et al. (2020), [182]	20 показників; диверсифікація, доступ, географічні ризики, ВДЕ, інвестиції	Delphi + експертні інтерв'ю; створено спеціалізований індекс для малих островних економік
Динамічний індекс енергетичної безпеки	Wang D. et al. (2020), [325]	17 показників; Китай; акцент на імпортній залежності, інтенсивності, екології	Функціональний аналіз даних; новий підхід до динаміки енергобезпеки
Глобальний індекс енергетичної безпеки	Wu T. et al. (2021), [330]	18 індикаторів; 125 країн; виробництво, диверсифікація, ефективність, стабільність	Аналіз основних складових; інноваційний глобальний підхід, порівняльний аналіз на великій вибірці
Регіональний індекс енергобезпеки (Китай)	Zhang L. et al. (2021), [335]	28 індикаторів; виробництво, ефективність, соціальні параметри, екологія	Нечіткий аналіз; інноваційний підхід до оцінювання регіонів
Композитний індекс енергоекономічної безпеки	Wang J. et al. (2021), [326]	24 показники; Китай; акцент на економічних параметрах	Аналіз основних складових на регіональному рівні для моніторингу економічних ризиків
Індекс енергетичної безпеки країн ОЕСР	Huang S. et al. (2021), [232]	20 показників; доступ, ефективність, екологія, інституції	Аналіз основних складових; підхід для повторного застосування і міжнародного моніторингу
Індекс енергетичної безпеки Пакистану (розширений)	Abdullah B. et al. (2022), [147]	27 показників; аналіз довгострокових тенденцій	Аналіз основних складових + експертні ваги; корисний для багатовимірних досліджень
Енергетична безпека Південної Америки	Cerván D. et al. (2022), [177]	15 показників; постачання, доступність, відновлюваність	Новий індекс для дев'яти країн; порівняльний регіональний аналіз
Показники енергетичної безпеки (глобальний підхід)	Thanh L., Thanh T. (2022), [312]	7 ключових показників; споживання, екологія, інвестиції	Доведено нелінійний зв'язок між GVC та енергобезпекою
Рамкова програма енергобезпеки Бангладеш	Khan at al. (2022), [249]	23 індикатори; інституції, стійкість, інфраструктура	Delphi + опитування; враховано інституційні й соціальні чинники
Модель DPSIR	Yang B. et al. (2022), [331]	20 індикаторів; драйвери, тиски, стан, впливи, реакції	Інноваційна системна рамка; причинно-наслідковий аналіз енергобезпеки

*узагальнено автором.

Таблиця Ж.2

Підходи до оцінювання енергетичної безпеки (Україна)

Автор / інституція	Основна ідея та індикатори	Методичний інструментарій (зважування, аналітика)	Внесок у розвиток національної методології енергетичної безпеки
Національний інститут стратегічних досліджень, Суходоля О. та ін. [124]	Комплексна система з 48 індикаторів: виробництво, баланс, інституційні фактори, технології, екологія, ВДЕ, інвестиції, платоспроможність, якість політики	Аналіз основних компонент, нормалізація індикаторів, інтегральний індекс, кластеризація	Створено одну з найдетальніших українських систем оцінювання; розроблено методологію «енергетичної стійкості»; застосовано для стратегічного планування
НКРЕКП, [90]	Макропідхід: ринок, конкуренція, інституції, фінансова дисципліна, тарифи, борги	Методика визначення рівня концентрації та ліквідності на ринку електроенергії. Регуляторні індикатори, КРІ енергоринку	Створено практичний інструмент для держрегулювання та моніторингу енергетичної безпеки.
Міненерго України, [81]	Оцінка через «загрози та ризики» (стратегічні документи): імпортна залежність, дефіцит потужностей, безпека генерації, стан мереж	Моніторинг індикаторів, сценарне планування, експертні опитування	Актуалізовано систему ризиків в умовах війни; адаптовано до стандартів ЄС (Regulation (EU) 2019/941).

*узагальнено автором.

Додаток И

Таблиця И.1

Складові елементи у системі цифрових технологій та їх значимість у контексті забезпечення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку*

Складові системи цифрових технологій	Значимість у системі забезпечення сталого розвитку
Хмарні технології	Хмарні рішення дозволяють компаніям зменшити витрати на ІТ-інфраструктуру, забезпечуючи еластичність та масштабованість; сприяють сталому розвитку, зменшуючи енергоспоживання та викиди в атмосферу завдяки оптимізації ресурсів.
Інтернет речей (IoT)	IoT дозволяє з'єднувати фізичні об'єкти з цифровим світом, збираючи дані в режимі реального часу; сприяє забезпеченню сталого розвитку через інструменти інтелектуального управління енергоспоживанням, технології оптимізації логістики для зменшення викидів тощо.
Блокчейн	Блокчейн може забезпечити прозорість та безпеку транзакцій; може бути використаний для відстеження ресурсів, гарантуючи їх екологічність та соціальну відповідальність.
Біг Дата	Аналіз великих даних може допомогти компаніям краще розуміти свої впливи на довкілля та соціум; дозволяє приймати обґрунтовані рішення для забезпечення сталого розвитку.
Штучний інтелект та машинне навчання	ШІ може аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати тенденції; допомагає приймати оптимальні рішення. ШІ може допомогти в розробці енергоефективних рішень, управлінні водними ресурсами, відстеженні впливу на довкілля та у прийнятті рішень щодо вирішення інших завдань у системі забезпечення сталого розвитку.
Цифрові платформи та екосистеми	Цифрові платформи дозволяють створювати нові бізнес-моделі, соціально-орієнтовані, екологічно чисті проекти; проекти циркулярної економіки.
Віртуальна та доповнена реальність (VR/AR)	VR та AR можуть бути використані для навчання та освіти, допомагаючи людям краще розуміти вплив їхніх дій на довкілля та спільноту.
3D-друк	3D-друк дозволяє оптимізувати виробництво шляхом зменшення відходів та ефективнішого використання матеріалів, що сприяє сталому розвитку, зокрема, через раціональніше використання ресурсів та зменшення викидів.
Автоматизація та роботизація	Автоматизація процесів обумовлює зменшення витрат ресурсів, підвищення ефективності, зменшення викидів.
Кібербезпека	Захист даних та інформації є важливим аспектом у системі забезпечення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку, оскільки він гарантує прозорість, довіру та стабільність в цифровому світі.

*узагальнено автором.

Таблиця И.2

Характеристика моделей локальних енергетичних хабів*

Країна / модель	Ключові компоненти хабу	Управлінські та технологічні особливості	Можливості адаптації для України
Данія (модель енергетичних громад та енергетичних островів)	вітрові кооперативи; мікромережі з високою часткою ВДЕ; локальні теплові мережі; системи акумулювання; Smart Energy Systems	домінування громадської власності на генерацію; висока інтеграція ВДЕ (до 100% на окремих островах; балансування через секторну інтеграцію (power-to-heat, power-to-fuel); місцеве стратегічне планування	створення енергетичних кооперативів у громадах; розвиток локальних мікромереж для критичної інфраструктури; моделі «енергетичних островів» для віддалених населених пунктів
Німеччина (модель муніципальних енергетичних кластерів – Stadtwerke)	муніципальні енергокомпанії як ядро хабу; локальні біоенергетичні центри; інтелектуальні мережі;(Smart Grid); акумуляторні системи	сильне муніципальне управління енергетикою; розвинені енергетичні служби (енергоаудит, енергоменеджмент); моделі тарифного саморегулювання; підтримка ВДЕ через аукціони та FIT	підсилення ролі громад та муніципалітетів у управлінні енергоінфраструктурою; створення місцевих енергетичних підприємств у містах та регіонах; моделі кластеризації для індустріальних та екоіндустріальних парків
Нідерланди (модель енергетичних районів та цифрових платформ)	енергетичні мікрорайони (Energy Neighborhoods); IoT-системи моніторингу; P2P енерготоргівля; циркулярні та екоіндустріальні парки	високий рівень цифровізації енергомереж; blockchain для локальних ринків; активний попит (Demand Response); комплексна інтеграція електро-, тепло-, водневої енергетики	використання цифрових платформ для управління локальними ринками; P2P обмін енергією між домогосподарствами; створення екоіндустріальних парків як енергетичних кластерів
Велика Британія (Community Energy + локальні системи гнучкості)	локальні сонячні та вітрові кооперативи; гнучкі потужності (Flexibility Markets); home-batteries; EV-charging hubs	розвинені ринки гнучкості; інтеграція з цифровими сервісами (Octopus Energy, Flextricity); фінансова підтримка community energy projects	розвиток локальних ринків гнучкості в об'єднаних громадах; масштабування домашніх накопичувачів та електромобільності
США (моделі Microgrid Campuses & Resilience Hubs)	резервні мікромережі для університетів, лікарень, військових баз; комбіновані системи CHP + PV; великі системи батарей (BESS)	орієнтація на стійкість та аварійне резервування; партнерські моделі (Public–Private Partnerships); активна участь операторів мереж	створення resilience-hubs для критичної інфраструктури громад; використання механізмів державно-приватного партнерства

*систематизовано автором на основі [254; 284; 327].

Таблиця И.3

Характерні ознаки, переваги і недоліки деривативів

Характеристики	Форвардний контракт	Ф'ючерсний контракт	Опціон
Сутність	Стандартний документ, який засвідчує зобов'язання особи придбати (продати) базовий актив у певний час і на певних умовах у майбутньому, з фіксацією цін продажу під час укладення такого контракту	Стандартний документ, який засвідчує зобов'язання придбати (продати) базовий актив у визначений час і на визначених умовах у майбутньому, з фіксацією цін на момент виконання зобов'язань сторонами контракту	Похідний фінансовий інструмент, що засвідчує право придбати (опціон call) або право продати (опціон put) у майбутньому базовий актив (цінні папери, товари, валюту) на умовах, визначених на час укладення опціону
Особливості, переваги і недоліки	<p>Фіксація ціни, обсягів, якості товару і дати поставки дає змогу продавцям і покупцям планувати операції; продавцям розраховувати на грошові потоки, а покупцям – на отримання сировини для переробки і/або, наприклад, подальшого експорту.</p> <p>Сумнівний процес ціноутворення двосторонніх форвардних позабіржових контрактів в Україні з унікальними умовами для обох сторін, що ускладнює насамперед процес моніторингу ціноутворення, урегулювання невиконання однією із сторін зобов'язань.</p> <p>Фіксованість ціни може зашкодити фінансовому результату одному з контрагентів угоди в разі різкої зміни кон'юнктури ринку.</p> <p>Двосторонні договори укладаються без відома всього ринку.</p> <p>Лімітований вибір контрагентів через відсутність єдиного торговельного майданчика.</p> <p>Не існує централізованої ринкової звітності й збирання даних, тобто оперативної ринкової інформації.</p> <p>Умови є змінними і унікальними; укладення нових угод з новим контрагентом потребує часу і зусиль.</p> <p>Жорсткі й ригідні положення дострокового розірвання контрактів.</p> <p>Фінансовий розрахунок і/або поставка не гарантуються</p>	<p>Зобов'язання виконати умови контракту на день експірації</p> <p>Проймає активна торгівля з великою кількістю заявок від продавців і покупців, що максимально наближує ціну на інструмент до ефективного ринкового рівня й забезпечує достатній рівень ліквідності.</p> <p>Ф'ючерсні контракти і опціони – це стандартизовані строкові біржові контракти, чим обумовлюється можливість їх перепродажу іншій зацікавленій стороні; є ймовірність продажу контракту за ціною, нижчою або вищою за початкову.</p> <p>Укладаються переважно за наявності центрального контрагента, який зобов'язаний проводити щоденну переоцінку позиції учасника; у випадках різких змін кон'юнктури ринку зберігає стимули для обох сторін угоди виконувати її, що суттєво зменшує ризик для контрагента.</p> <p>Центральний контрагент, проводячи ринкову переоцінку (mark-to-market) і збираючи варіаційну маржу, знижує ризик дефолту учасника</p>	<p>Надає власнику право виконання контракту на день експірації (або в будь-який час залежно від типу опціону), тому вважається гнучкішим інструментом</p>

*складено автором на основі [104; 101].

Додаток К

Таблиця К.1

Інноваційні інструменти трансформації енергетичної системи, управління енергетичною безпекою на принципах сталості*

Група інноваційних інструментів	Зміст інструменту	Функціональне призначення	Ефекти застосування
1	2	3	4
1. Технології розподіленої генерації та децентралізації	СЕС, ВЕС, біоенергетика, локальні мікрогриди, енергетичні кластери, гібридні системи	Формування географічно диверсифікованої, автономної та адаптивної енергосистеми, здатної зберігати функціональність у випадку руйнування централізованих елементів; забезпечення локального балансування та зниження залежності від магістральних мереж, підвищення стійкості до воєнних та гібридних загроз.	Створення стійких локальних енергетичних контурів; зниження масштабу наслідків атак; зменшення втрат у мережах; підвищення автономності критичної інфраструктури та громад; прискорення відновлення після криз.
2. Цифрові технології управління енергосистемою (smart grid, AI, big data)	Інтелектуальні мережі, сенсори, цифрові двійники, алгоритми прогнозування	Цифровізація процесів генерації, передачі та споживання енергії; підвищення точності прогнозування, оптимізації розподілу ресурсів; формування кіберфізичних моделей енергосистеми для моніторингу аномалій та кризового моделювання.	Зростання операційної ефективності; зниження аварійності; скорочення ремонтних і експлуатаційних витрат; підвищення швидкості реагування на відхилення; зміцнення прогнозованості та стійкості енергосистеми.
3. Інноваційні системи кіберзахисту та кіберфізичної безпеки	Кіберстійкі системи, шифрування даних, захищені SCADA-системи, автономні контури локальної ізоляції	Запобігання несанкціонованому доступу, захист критичних об'єктів від кібернетичних атак, збереження цілісності та конфіденційності даних; забезпечення функціонування енергосистеми в режимі «втручання» через автоматичну локалізацію пошкоджених сегментів.	Зменшення вразливості до гібридних атак; мінімізація ризику системних відмов; підвищення стабільності об'єктів критичної інфраструктури; забезпечення безперервності енергопостачання навіть у разі умисних атак.
4. Системи накопичення енергії нового покоління (battery storage, H ₂ -storage)	Літій-іонні, натрій-іонні, твердотільні накопичувачі, водневі системи	Забезпечення гнучкості енергосистеми; акумулювання надлишків енергії та її використання у пікові періоди; компенсація нерівномірності ВДЕ; підтримка низьковуглецевої трансформації.	Стабілізація роботи енергосистеми; зменшення потреби в резервній тепловій генерації; підвищення надійності енергопостачання; збільшення інтеграції ВДЕ; зниження аварійних відключень.

Продовження таблиці К.1

1	2	3	4
5. Інструменти циркулярної енергетики та екологічної інноваційності	Переробка відходів ВДЕ, design for recycling, ESG-стандарти	Інтеграція принципів повного життєвого циклу в енергетику; зменшення екологічного навантаження; забезпечення ресурсної стійкості та відповідності міжнародним екологічним нормам.	Зниження обсягів небезпечних відходів; формування ринку вторинних ресурсів; зменшення викидів; підвищення екологічної відповідальності сектору; сприяння кліматичній нейтральності.
6. Інституційні інновації та регуляторні інструменти сталого управління	Гнучкі регуляторні рамки, EPR, ДПП, енергетичні хаби	Створення нормативних умов для впровадження інновацій; залучення інвестицій; формування узгодженої політики; модернізація управління відповідно до європейських стандартів.	Формування передбачуваного інвестиційного середовища; зміцнення нормативної стабільності; прискорення модернізації інфраструктури; поглиблення інтеграції України в європейський енергетичний простір.
7. Воднева енергетика та Power-to-X технології	Виробництво зеленого водню, Power-to-Gas, Power-to-Heat, водневі кластери	Забезпечення декарбонізації важких секторів; формування довгострокової енергетичної автономності; створення нових ланцюгів доданої вартості; диверсифікація джерел енергії.	Декарбонізація промисловості; розвиток водневої інфраструктури; зменшення імпортової залежності; формування високотехнологічних ринків; можливість експорту зеленого водню.
8. Моделі громадської енергетики (community energy)	Енергетичні кооперативи, муніципальні мікрогриди, P2P-обмін енергією	Залучення громад до створення локальних енергетичних систем; підвищення стійкості територій; розвиток локального управління; зменшення навантаження на загальнонаціональну мережу.	Підвищення енергетичної автономності громад; соціальна мобілізація; зниження витрат; зміцнення локальної стійкості; зниження вразливості територій до криз.
9. Інструменти стратегічного прогнозування та стійкісного моделювання	Сценарний аналіз, stress-testing, системи раннього попередження	Оцінювання ризиків, моделювання поведінки енергосистеми у кризових сценаріях; визначення вразливостей; підтримка прийняття рішень у режимі невизначеності.	Підвищення системної стійкості; завчасне виявлення загроз; запобігання масштабним відмовам; формування адаптивних рішень; зміцнення керованості енергосистеми.

*систематизовано автором.

Таблиця К.2

Інструменти впровадження smart microgrids у міській енергетичній системі*

Група інструментів	Науково обґрунтований зміст інструмента	Ключові переваги застосування	Основні недоліки та обмеження
1	2	3	4
1. Розподілені енергетичні ресурси (DER)	Локалізовані джерела генерації (фотоелектричні панелі, вітрові турбіни, когенераційні установки, біоенергетичні комплекси), інтегровані у децентралізовані контури для зменшення залежності від централізованої генерації та підвищення енергетичної автономності	- зниження навантаження на магістральні мережі; - підвищення частки використання відновлюваної енергетики; - скорочення втрат при передачі; - гнучке нарощування потужностей у відповідь на зростання попиту.	- висока волатильність виробітку (сонце, вітер); - нерівномірний просторовий потенціал ВДЕ; - потреба у потужностях резервування; - високі початкові інвестиції.
2. Енергетичні системи управління (EMS)	Комплексні цифрові системи, що здійснюють моніторинг, прогнозування та оптимізацію потоків енергії з використанням алгоритмів ШІ, IoT та big data; формують ядро керованості microgrid. EMS забезпечує перехід від реактивних до проактивних моделей управління за рахунок інтеграції алгоритмів штучного інтелекту та аналітики великих даних.	- підвищення точності балансування; - забезпечення автономності (islanding); - зниження експлуатаційних витрат за рахунок предиктивної аналітики; - підтримка високої якості та безперервності постачання.	- високі вимоги до цифрової інфраструктури; - ризики кібератак; - залежність від якості даних; - складність інтеграції в старі мережі.
3. Гібридні системи накопичення енергії (HESS)	Поеднання різних типів накопичувачів (літій-іонних, твердотільних, натрій-іонних, суперконденсаторів, водневих систем) для забезпечення стабільності та мінімізації наслідків інтермітентності ВДЕ	- стабілізація роботи microgrid; - забезпечення пікового балансування; - зменшення вимог до резервної генерації; - оптимізація використання ВДЕ та згладжування нерівномірності графіків.	- обмежений цикл життя акумуляторів; - висока капіталомісткість; - складний технічний супровід, екологічні виклики складності утилізації батарей; - необхідність інтелектуальних систем управління зарядом/розрядом.
4. Peer-to-Peer енергетичні платформи (P2P)	Цифрові платформи, що забезпечують горизонтальний енергетичний обмін між домогосподарствами та підприємствами на основі блокчейн- або DLT-технологій	- децентралізація ринку енергії; - підвищення економічної мотивації для прос'юмерів; - зниження навантаження на центральну мережу; - підвищення прозорості та трасованості операцій.	- неврегульованість нормативної бази для таких моделей в Україні та більшості країн ускладнює їх впровадження; - складність забезпечення захисту транзакцій; - високі вимоги до цифрових компетентностей учасників; - неоднозначність тарифної політики.
5. Перефрійні обчислення та децентралізовані системи управління	Технології, що переносять оброблення даних і прийняття рішень на локальний рівень енергетичної мережі / перефрійні обчислення (сенсори, контролери, IoT-пристрої), забезпечуючи оперативність і автономність	- мінімізація затримок; - зменшення ризиків централізованих кібератак; - здатність до роботи за умов часткової втрати зв'язку; - оперативне реагування на локальні аварії.	- висока вартість оновлення інфраструктури; - складність синхронізації локальних рішень; - вразливість локальних вузлів до кібератак; - потреба у сертифікованих стандартах сумісності.

Продовження таблиці К.2

1	2	3	4
6. Сенсорні мережі та системи моніторингу	Інтеграція IoT- та AI-підтримуваних сенсорів для вимірювання напруги, температури, навантаження, вібрацій, погодних умов і характеристик обладнання в режимі реального часу	- можливість реалізації предиктивного обслуговування; - зниження аварійності; - оптимізація завантаження обладнання; - підвищення точності прогнозування.	- потреба у високошвидкісних каналах зв'язку; - високе навантаження на дата-платформи; - ризики витоку інформації; - залежність від коректності роботи сенсорів.
7. Інституційно-регуляторні інструменти	Без відповідної законодавчої бази інноваційні технології залишаються делараціями намірів, невикористаних можливостей. Регуляторні та інституційні інструменти (моделі державно-приватного партнерства, стандарти кібербезпеки, стимули для розвитку ВДЕ, механізми feed-in tariff, net billing, net metering і net billing формують нормативне поле для впровадження smart microgrid	- створення сприятливого інвестиційного середовища; - прискорення модернізації інфраструктури; - гармонізація з європейськими вимогами (EU Green Deal); - захист споживачів у децентралізованих ринках.	- тривалі процедури перегляду законодавства; - політична нестабільність; - можливі конфлікти між виробниками, мережевими операторами та споживачами; - обмеженість бюджетних стимулів.
8. Модульні архітектури та інфраструктурні рішення	Побудова енергетичних мікромереж за принципами масштабованості, ізоляції модулів, гнучкого перепрофілювання та інтегрованості з міською інфраструктурою. Інфраструктурні рішення та модульні архітектури microgrid створюють основу масштабованості й адаптивності системи, дозволяючи їх розвивати поступово, без надмірних реконструкцій (що може стати оптимальною стратегією трансформації енергетики, зважаючи на потребу відновлення енергоінфраструктури)	- підвищення стійкості до відмов; - можливість поступового збільшення потужностей; - адаптивність у процесі повоєнного відновлення; - зниження витрат на масштабні реконструкції.	- висока початкова вартість; - обмеженість застосування у районах зі старою інфраструктурою; - потреба у стандартизації технічних рішень.
9. Фінансово-економічні інструменти	Застосування зелених облігацій, енергетичних кооперативів, інвестиційних фондів, програм міжнародних донорів, механізмів ESG-фінансування, стимулювання розвитку стартапів у сфері енергетики	- диверсифікація джерел фінансування; - зменшення фінансового навантаження на місцеві бюджети; - підвищення економічної життєздатності проєктів; - залучення приватного капіталу.	- високі ризики інвестицій у інноваційні технології; - залежність від макроекономічної стабільності; - низька платоспроможність частини населення; - неоднозначність прогнозування окупності.

*запропоновано автором.

Таблиця К.3

Основні індикатори стійкості smart microgrid у міській енергетичній системі*

Група індикаторів	Зміст індикатора	Що вимірює / характеристика стійкості	Аналітична значущість для Smart Microgrid
1	2	3	4
1. Енергетичні індикатори			
Коефіцієнт енергетичної автономності	Частка локально згенерованої енергії, забезпеченої DER у загальному балансі енергопостачання smart microgrid	Ступінь незалежності від централізованих мереж	Високі значення свідчать про підвищену стійкість до аварій, атак та перебоїв у центральній мережі.
Показник здатності до ізолюваного режиму	Спроможність smart microgrid функціонувати автономно у випадку втрати зв'язку з основною мережею	Рівень системної резильєнтності	Критичний для забезпечення роботи лікарень, центрів реагування та стратегічних об'єктів під час криз.
Коефіцієнт інтеграції ВДЕ	Частка енергії з ВДЕ у структурі генерації	Екологічна стійкість та рівень декарбонізації	Визначає здатність системи відповідати кліматичним цілям та EU Green Deal.
Ефективність балансування навантаження	Відхилення між прогнозованим та фактичним навантаженням, ефективність згладжування піків	Гнучкість і стабільність smart microgrid	Ключовий індикатор для роботи EMS та AI-моделей прогнозування.
Показник енергетичних втрат	Частка втраченої енергії під час передачі всередині smart microgrid	Технічна ефективність мережі.	Низькі втрати свідчать про високу ефективність локальних енергетичних контурів.
2. Технічні індикатори			
Коефіцієнт доступності системи	Частка часу, протягом якого мікрогрид забезпечує безперебійне енергопостачання	Надійність роботи мережі	Один із базових індикаторів стійкості у кризових режимах.
Показник часу відновлення	Тривалість відновлення після аварій, атак або природних катастроф.	Адаптивність та швидкість реакції.	Чим швидше відновлення, тим вища міська резильєнтність.
Ефективність акумуляції енергії	Частка використаної накопиченої енергії та ефективність циклів заряд-розряд	Стабільність енергопостачання при інтермітентності ВДЕ	Ключовий у містах із високою сонячною або вітровою активністю.
Індекс технічної деградації обладнання	Ступінь зносу DER, накопичувачів та мережевої інфраструктури	Тривалість життєвого циклу системи	Дозволяє EMS здійснювати предиктивне обслуговування.
3. Індикатори кіберстійкості			
Індекс кіберзахищеності. Час реагування на кіберінцидент	Рівень здатності microgrid протистояти кібератакам та забезпечувати цілісність даних	Захищеність цифрової інфраструктури	Особливо важливо для України в умовах гібридної війни.
	Швидкість виявлення та нейтралізації кіберзагрози	Реактивна та проактивна безпека	Визначає стійкість EMS та edge computing-систем.

Продовження таблиці К.3

4. Економічні індикатори			
Рівень економічної ефективності	Порівняння витрат на виробництво/зберігання енергії у smart microgrid і традиційній системі	Фінансова життєздатність	Дозволяє оцінити потенціал масштабування smart microgrid у містах.
Період окупності	Час, необхідний для повернення інвестицій, вкладених у smart microgrid	Економічна доцільність інновацій	Важливий для ДПП, муніципальних інвестицій та кооперативних моделей.
Індекс вартості непродуктивних витрат	Фінансові збитки від аварій, простоїв і технічних збоїв	Економічна стійкість	Дає змогу оцінити доцільність впровадження резервних потужностей.
5. Екологічні індикатори			
Індекс декарбонізації	Скорочення викидів CO ₂ внаслідок використання DER та HESS	Екологічна сталість	Відповідає цілям EU Fit for 55 та кліматичній нейтральності.
Індекс використання вторинних ресурсів	Рівень переробки компонентів DER, батарей та електротехнічного обладнання	Стійкість життєвого циклу	Важливо при масштабуванні ВДЕ та second-life batteries.
Показник впливу на міське середовище	Шумове, просторове, візуальне та теплове навантаження	Комфортність і прийнятність для громад	Визначає соціальну підтримку розвитку smart microgrid.
6. Соціальні та управлінські індикатори			
Індекс залучення громади	Рівень участі домогосподарств і локальних кооперативів у генерації та обміні енергією	Соціальна стійкість	Критично важливо для P2P моделей та муніципальних smart microgrid.
Індекс управлінської зрілості	Ефективність координації між міською владою, операторами мереж та громадою.	Інституційна стійкість.	Визначає здатність міста управляти децентралізованою енергетикою.
Рівень енергетичної бідності	Частка населення, що не може покрити базові енергетичні потреби	Соціальна рівність	Низьке значення – індикатор справедливого та сталого енергопостачання.

*сформовано автором на основі [234; 278].

Додаток Л

**СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА
ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ¹³:
у фахових виданнях України:**

1. Диха В. Організаційно-економічні основи забезпечення енергетичної безпеки України. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences. 2025. № 348(6). С. 66-71. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-348-6-9> ; <https://herald.khmnu.edu.ua/index.php/herald/article/view/2531/2588> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, CrossRef; журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського] (0,8 д.а.).
2. Dykha V. World experience in ensuring energy security. Kyiv Economic Scientific Journal. 2025. № 10. С. 41-50. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-10-6> ; <https://journals.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/272/266> [журнал включено до міжнародних наукометричних баз даних: Index Copernicus та Google Scholar] (1,1 д.а.).
3. Диха М., & Диха В. Тенденційний аналіз макроекономічних показників України та шляхи їх покращення. Київський економічний науковий журнал. 2025. № 11. С. 107-118. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-11-14> ; <https://journals.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/304/297> [журнал включено до міжнародних наукометричних баз даних: Index Copernicus та Google Scholar] (1,23 д.а., особистий внесок автора – здійснено аналіз основних макроекономічних показників: номінального та реального ВВП України, видатків державного бюджету за функціональною класифікацією, обсягів державного боргу та зовнішньоторговельного балансу України; 0,6 д.а.).
4. Диха М., & Диха В. Інструменти хеджування в управлінні ціновими ризиками (на прикладі аграрного і енергетичного ринків України). Економіка України. 2024. № 67(03(748)). С. 19-36. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.03.019> ; <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/economyukr/article/view/2024-03-2/2024-03-02> [журнал включено до наукометричних баз даних: IndexCopernicus, ERIHPLUS, CrossRef; універсальна видавнича платформа журналів Національної академії наук України, журнал підтримує Будапештську ініціативу відкритого доступу (Budapest OpenAccess Initiative) (1,1 д.а., особистий внесок автора –

¹³розширений перелік публікацій за темою дисертації представлено у переліку джерел.

систематизовано характерні ознаки, переваги і недоліки деривативів, обґрунтовано важливість застосування механізму хеджування ризиків учасників енергетичного ринку із застосуванням деривативів; 0,5 д.а.).

5. Диха В., Лук'янова В. Ризики енергоринку: сутність дефініції та характеристики. MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS. 2023. № 1. С. 28-36. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-7-4> ; <https://mdes.khmnu.edu.ua/index.php/mdes/article/view/134/116> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, Crossref, Index Copernicus International; журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського] (1,1 д.а., особистий внесок автора – описано ознаки багатоаспектної категорії «ризик»; дано авторське визначення поняття «ризик енергоринку», систематизовано функції та завдання Міністерства енергетики України та обґрунтовано важливість їх належного виконання; 0,5 д.а.).

6. Диха В.В., Таранюк О.В. Еволюція становлення системи забезпечення економічної безпеки. Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості. 2023. № 2(28). С. 53-62. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2\(28\)-53-62](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2023-2(28)-53-62) ; <https://eung.nung.edu.ua/index.php/ecom/article/view/580/392> [журнал включено до наукометричних баз даних: Google Scholar, SIS (Scientific Indexing Services), CiteFactor (Academic Scientific Journals)] (0,9 д.а., особистий внесок автора – описано еволюцію становлення системи забезпечення економічної безпеки; 0,45 д.а.).

у навчальному посібнику:

7. Диха М.В., Диха В.В. Економіка сталого розвитку: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2024. 408 с. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/17542> [ISSN 978-611-01-3351-7] (25,5 д.а., особистий внесок автора за темою дисертації – обґрунтовано значимість функціонування енергетичної системи, ключові аспекти генерації енергії в розрізі видів, завдання, індикатори, проблеми та передумови досягнення Цілі 7 «Доступна та чиста енергія»; проблеми та передумови досягнення Цілі 12 «Відповідальне споживання та виробництво» в частині проблем переробки у системі забезпечення сталого розвитку, використання циклічних бізнес-моделей, переходу до циркулярної економіки; обґрунтовано проблеми викидів CO₂, що найбільше здійснюється паливно-енергетичним комплексом, важливість переходу до кліматично нейтральної економіки, досягнення Цілі 13

«Пом'якшення наслідків зміни клімату»; 1,5 д.а.).

у виданнях, що входять до наукометричних баз даних

Scopus та Web of Science:

8. Dykha V., Dykha M., Lukianova V., Polozova V., Ivanov M. Energy security management in the context of current challenges and international experience. POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL, 2024, Volume 27, Issue 4. P. 133-154. <https://doi.org/10.33223/epj/190485> ; <https://epj.min-pan.krakow.pl/Energy-security-management-in-the-context-of-current-challenges-and-international,190485,0,2.html> [журнал включено до таких міжнародних наукометричних баз даних та індексаційних сервісів: SCOPUS Database, BazTech (database containing citations from the Polish technical journals), EBSCO, Index Copernicus (database of scientific journals), BazEkon, ICI World of Journals And also available in full and unlimited access at national libraries: Bridge of Knowledge, POLONA, The PAS Journals, Library of Science] (1,5 д.а., особистий внесок автора – на основі аналізу передових світових практик обґрунтовано необхідність розвитку відновлюваної енергетики, модернізації інфраструктури та впровадження інноваційних рішень для підвищення стійкості енергетичної системи країни, зменшення залежності від імпорту енергоресурсів та забезпечення енергетичної безпеки; 0,3 д.а.).

9. Dykha M., Dykha V., Pylypyak O., Poplavska O. Tanasiienko N., & Tanasiienko V. Risk Management Of The Startup Projects, 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023. P. 1-6, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10311582> [проіндексовано у наукометричній базі даних Scopus] (1,0 д.а., особистий внесок автора – охарактеризовано основні етапи управління ризиками, окреслено основні моделі прийняття рішень та описано доцільність побудови дерева рішень як ефективного способу виходу на обґрунтовані та оптимальні результати в управлінні ризиками; 0,25 д.а.).

у зарубіжних виданнях держав, що входять до ОЕСР, ЄС:

10. Dykha V., Dykha M., Liubokhynets L., Tanasiienko N., & Poplavskiy Y. Scientific-methodical approach to assessing threats to Ukraine's energy security using neural networks. International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert". 2025. Vol. 2(1). P. 22-34. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2025-v2-i1-002> ; <https://scientific-journal.expert/archives/2025-v2-i1-002> [журнал включено до наукометричних та індексаційних сервісів: ISSN Portal, National Reference List of contemporary

Bulgarian scientific publications with scientific review, ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources), DOI, Crossref, Index Copernicus International World of Journals, CEEOL (Central and Eastern European Online Library), BASE (Bielefeld Academic Search Engine), EuroPub, Semantic Scholar, BPOS (Bulgarian Portal for Open Science), ABCD Index, Grafiati, OUCI (Open Ukrainian Citation Index), ESJI (Eurasian Scientific Journal Index), DRJI (Directory of Research Journals Indexing), EZB (Electronic Journals Library), German Union Catalogue of Serials (ZDB), OpenAlex, Azian Science Citation Index, Scilit, Research Discovery, IP Indexing, TIB, WorldCat, Google Scholar] (1,4 д.а., особистий внесок автора – ідентифіковано загрози для енергетичної безпеки України в розрізі видів, обґрунтовано науково-методичний підхід до оцінювання рівня загроз енергетичній безпеці на основі ймовірнісних нейронних мереж; 0,35 д.а.).

11. Dykha M., Dykha V. & Zyma V. Conceptual aspects of energy generation market development on the principles of sustainability. *International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert"*. 2024. Vol. 1(2). P. 99-116. <https://doi.org/10.62034/2815-5300/2024-v1-i2-007> ; <https://scientific-journal.expert/archives/2024-v1-i2-007> [журнал включено до наукометричних та індексаційних сервісів: ISSN Portal, National Reference List of contemporary Bulgarian scientific publications with scientific review, ROAD (Directory of Open Access Scholarly Resources), DOI, Crossref, Index Copernicus International World of Journals, CEEOL (Central and Eastern European Online Library), BASE (Bielefeld Academic Search Engine), EuroPub, Semantic Scholar, BPOS (Bulgarian Portal for Open Science), ABCD Index, Grafiati, OUCI (Open Ukrainian Citation Index), ESJI (Eurasian Scientific Journal Index), DRJI (Directory of Research Journals Indexing), EZB (Electronic Journals Library), German Union Catalogue of Serials (ZDB), OpenAlex, Azian Science Citation Index, Scilit, Research Discovery, IP Indexing, TIB, WorldCat, Google Scholar] (1,15 д.а., особистий внесок автора – запропоновано концептуальне бачення розвитку енергетичного ринку на принципах сталості, який має характеризуватися безпечністю, екологічністю, адаптивністю та стабільністю, ефективністю (в т. ч. економічною) та доступністю (в т. ч. соціальною), прозорістю; 0,4 д.а.).

12. Dykha M., Dykha V. Bezpieczeństwo energetyczne Ukrainy pod pryzmatem wojny. *Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu. Poland*. 2023. T. 53 (1). S. 71-84. https://pracenaukowe.wwszip.pl/prace/PN_53.pdf ;

<https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/16518> [ISSN 2450-3878; Т. 53(1): ISBN 978-83-60904-57-2] (0,83 д.а., особистий внесок автора – описано проблеми енергетичного сектора, енергетичної безпеки під призвою війни та напрями розвитку енергетичної сфери; 0,4 д.а.).

публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Диха В.В. Аналіз виробництва електроенергії у системі досягнення цілей сталого розвитку. Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство: тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (27-28 березня 2025 р.). Київ: КУК, КНУКіМ. 2025. Ч. 3. С. 51-53. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18570> (0,16 д.а.).

14. Диха В.В. Інженерний менеджмент у системі забезпечення енергетичної безпеки України. Сталій розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (10 квітня 2025 р.). ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». 2025. С. 83-85. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18567> (0,18 д.а.).

15. Диха В.В. Smart Grid як концепція інноваційного розвитку енергетичної системи. Сталі розумні міста та території: європейський досвід та можливості для України у повоєнний період: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 травня 2025 р.). Луцьк: ЛНТУ, 2025. С. 99-101. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/19287> (0,19 д.а.).

16. Диха В. Обґрунтування важливості декарбонізації у системі цілей сталого розвитку. Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (15-16 лютого 2024 р.). Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна. 2024. С. 37-39. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18568> (0,2 д.а.).

17. Диха В.В. Парадигма розвитку енергетичного ринку на принципах сталості. Стратегії, моделі та технології управління економічними системами: матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. (6 грудня 2024 р.). Хмельницький: ХНУ, 2024, С. 38-43. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18569> (0,23 д.а.).

18. Диха В. Управління ризиками енергоринку. Сталій розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 125-річчю НУБіП України (26 квітня 2023 р.). Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». 2023. С. 115-118. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/18566> (0,21 д.а.).

19. Диха М.В., Диха В.В., Зима В.М. Екологічність як складова сучасної

парадигми розвитку енергетичної системи. Актуальні проблеми управління соціально-економічними системами: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (15 грудня 2023 р.). Луцьк: ЛНТУ. 2023. Частина 1. С. 52-54. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/15268> (0,27 д.а., особистий внесок автора – описано питання утилізації відпрацьованих частин і продуктів СЕС, ВЕС, АЕС; 0,09 д.а.).

20. Диха М.В., Диха В.В. Функціонування енергетичної сфери України в умовах війни. Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті, подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи в умовах воєнного стану: матеріали XXI Міжнар. наук. семінару (4-8 липня 2022 р., м. Київ – оз. Світязь). Київ: НАУ. 2022. С. 18-20. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13186> (0,2 д.а., особистий внесок автора – окреслено проблеми в енергетичній сфері, обумовлені війною, у т. ч. ризики, спричинені захопленням ЗАЕС; 0,1 д.а.).

21. Диха М.В., Диха В.В. Енергетична безпека України у контексті загроз запуску «Північний потік-2». Інструменти регулювання національної економіки та національної безпеки в умовах сучасних глобальних викликів: зб. наук. праць за матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф. (5 листопада 2021 р.). Хмельницький: ХНУ. 2021. С. 60-63. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/10862> (0,2 д.а., особистий внесок автора – досліджено небезпеки запуску «Північний потік-2», напрями спрямування зусиль України для забезпечення енергетичної безпеки; 0,1 д.а.).

22. Диха М.В., Диха В.В. Енергоменеджмент у системі стратегічного управління. Розвиток України та її регіонів: реалії і перспективи: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (20 жовтня 2021 р.). Хмельницький: ХТЕК КНТЕУ, 2021. С. 52-56. <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/11539> (0,25 д.а., особистий внесок автора – досліджено інтерпретацію енергетичного менеджмента науковцями, обґрунтовано важливість підвищення енергоефективності, впровадження сучасних енергоефективних технологій; 0,12 д.а.).

Додаток М

Апробація результатів дисертаційної роботи

№ п/п	Тип конференції	Назва конференції	Місце проведення	Тип участі
1	2	3	4	5
1	Міжнар. наук.-практ. конф.	Сталі розумні міста та території: європейський досвід та можливості для України у повоєнний період	Луцьк: Луцький національний технічний університет (20-21 травня 2025 р.)	Дистанційно
2	X Міжнар. наук.-практ. конф. науковців та здобувачів вищої освіти	Актуальні проблеми управління та адміністрування: теоретичні і практичні аспекти	Кам'янець-Подільський: ЗВО «Подільський державний університет» (15 травня 2025 р.)	Дистанційно
3	X Міжнар. наук.-практ. конф.	Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення	Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» (10 квітня 2025 р.)	Дистанційно
4	VII Міжнар. наук.-практ. конф.	Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство	Київ: Київський університет культури; Київський національний університет культури і мистецтв (27-28 березня 2025 р.)	Дистанційно
5	XI Міжнар. наук.-практ. конф.	Стратегії, моделі та технології управління економічними системами	Хмельницький: Хмельницький національний університет (6 грудня 2024 р.)	Очно
6	IV Міжнар. наук.-практ. екон. форум	Підприємництво та стратегічні напрями розвитку бізнес-процесів в умовах глобальних викликів	Хмельницький: Хмельницький національний університет (5-7 груд. 2024 р.)	Очно
7	VIII Міжнар. наук.-практ. конф., присвячена 65-річчю ВП НУБіП України «БАТІ»	Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення	Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» (10 квітня 2024 р.)	Дистанційно
8	Міжнар. наук.-практ. конф.	Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація	Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (15-16 лютого 2024 р.)	Дистанційно
9	IX Міжнар. наук.-практ. конф.	Актуальні проблеми управління соціально-економічними системам	Луцьк: Луцький національний технічний університет (15 грудня 2023 р.)	Дистанційно

1	2	3	4	5
10	Pedagogika, zarządzanie i inżynieria zarządzania wobec wyzwań współczesności	II Międzynarodowa konferencja naukowa	Wałbrzych: Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości (14 listopada 2023 r.)	Дистанційно
11	Sustainable Development: Modern Theories and Best Practices	International Scientific and Practical Conference	Tallinn: Teadmus OÜ (April 28-29, 2023)	Дистанційно
12	VII Міжнар. наук.-практ. конф.	Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення	Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» (18 жовтня 2023 р.)	Дистанційно
13	VI Міжнар. наук.-практ. конф., присвячена 125-річчю НУБіП України	Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення	Бережани: ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» (26 квітня 2023 р.)	Дистанційно
14	Pedagogika, zarządzanie i inżynieria zarządzania wobec wyzwań współczesności	Międzynarodowa konferencja naukowa	Wałbrzych: Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości (15 listopada 2023 r.)	Дистанційно
15	I Всеукр. наук.-практ конф., присвячена пам'яті проф. Войнаренка М. П.	Фінансово-економічна платформа парадигмальних змін повоєнного розвитку України	Хмельницький: Хмельницький національний університет (27-28 жовтня 2022 р.)	Очно
16	XXI Міжнар. наук. семінар	Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті, подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи в умовах воєнного стану	Київ – оз. Світязь: Національна академія управління (4-8 липня 2022 р.)	Дистанційно
17	VI Міжнар. наук.-практ. конф.	Інструменти регулювання національної економіки та національної безпеки в умовах сучасних глобальних викликів	Хмельницький: Хмельницький національний університет (5 листопада 2021 р.)	Очно
18	VII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф.	Розвиток України та її регіонів: реалії і перспективи	Хмельницький: Хмельницький торгово-економічний коледж КНТЕУ (20 жовтня 2021 р.)	Дистанційно