

УДК 620.9:502.131.1:005

<https://doi.org/10.31713/ve420256>

JEL: Q01, Q40, Q48

Грінченко Г. С. [1; ORCID ID: 0000-0002-6498-6142],

к.т.н., доцент

¹Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, м. Харків

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ У СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

У статті розкрито теоретико-методологічні основи управління сталим розвитком енергетичного сектора в умовах глобальних викликів, пов'язаних з декарбонізацією, енергетичною безпекою та цифровою трансформацією. Проаналізовано сучасні моделі та підходи до управління енергетичними системами, зокрема системний, ризик-орієнтований, процесний і життєвий цикл. Досліджено міжнародні практики забезпечення сталості та окреслено рекомендації для вдосконалення управління енергетичним розвитком України. Робота спрямована на формування науково обґрунтованих підходів до підвищення стійкості енергетичних систем у довгостроковій перспективі. Особливу увагу приділено інтеграції економічних, екологічних та соціальних компонентів у систему управлінських рішень в енергетиці. Обґрунтовано доцільність застосування комплексних методологічних інструментів для оцінювання ефективності та адаптивності енергетичних систем в умовах невизначеності. Отримані результати можуть бути використані в практиці стратегічного планування, державного регулювання та розроблення програм сталого розвитку енергетичного сектору.

Ключові слова: управління; сталий розвиток; енергетичні системи; моделі; аналіз міжнародних практик.

Вступ. Сучасна енергетика перебуває у стані масштабної трансформації, що охоплює перехід до низьковуглецевих технологій, децентралізацію генерувальних потужностей, активне впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), цифровізацію операційних процесів та нові моделі інтеграції енергетичних ринків. Ці зміни зумовлені необхідністю одночасного досягнення трьох стратегічних цілей: забезпечення енергетичної безпеки, економічної ефективності та екологічної стійкості – так званої «енергетичної трилеми» [1]. Управління сталим розвитком енергетики вимагає науково обґрунтованих підходів, що враховують комплексність енергетичних систем, їхню інтегрованість у глобальні процеси та високий рівень

невизначеності. Зростання ролі технологічних інновацій – від цифрових двійників до систем прогнозування на основі штучного інтелекту – змінює методи і моделі управління. Водночас зміна клімату, геополітичні загрози та потреба у підвищенні надійності інфраструктури актуалізують необхідність розвитку ризик-орієнтованих підходів.

Попри те, що інтегральні показники енергетичних індексів за 2024 рік, згідно зі звітом The World Energy Council, свідчать про провідні позиції європейських держав в оцінці ефективності реалізації енергетичної політики країнами світу – результати The Energy Trilemma Index, демонструють спектр викликів, з якими вони зіткнулися у відповідь на перший енергетичний шок, зумовлений різким зростанням споживчого попиту після початку вторгнення в Україну [2]. Атаки на газопроводи «Північний потік» та подальше загострення геополітичної напруги виявили критичну вразливість європейського регіону, пов'язану з його глибокою залежністю від російського природного газу. Це призвело до суттєвого перегляду структури енергопостачання та стало каталізатором попитового енергетичного шоку. За винятком Угорщини, яка зберегла співпрацю з РФ, більшість країн ЄС відмовилися від імпорту російського газу. Паралельно інші держави збільшили власний експорт або переорієнтували поставки скрапленого природного газу (СПГ), що частково компенсувало дефіцит і тимчасово зменшило загрозу для енергетичної безпеки. Однак короткострокове вирішення проблеми безпеки в межах енергетичної трилеми спричинило суттєві негативні наслідки: різке зростання вартості енергоресурсів погіршило ситуацію з енергетичною справедливістю, а підвищення використання традиційних видів палива, включно з вугіллям, поставило під загрозу екологічну стійкість.

Метою цього дослідження є узагальнення теоретико-методологічних підходів до управління сталим розвитком енергетичного сектора, аналіз сучасних моделей та визначення рекомендацій щодо підвищення стійкості та ефективності енергетичних систем.

Виклад основного матеріалу. Концепція сталого розвитку сформувалася у другій половині ХХ ст., коли міжнародна спільнота усвідомила виникнення проблем, що набули глобального характеру, а саме обмеженість природних ресурсів, деградація довкілля, стрімке зростання видобутку невідновлюваних ресурсів, динамічне

збільшення чисельності населення та інші фактори глобального масштабу, що ведуть до зростання екологічних ризиків. Першими на ці загрози звернули увагу екологи, наголосивши, що саме антропогенний тиск є ключовою причиною екологічних криз і цей вплив формується насамперед у межах соціальної та економічної діяльності людини. Саме інтеграція екологічних, економічних і соціальних аспектів розвитку стала основою концепції сталого розвитку, яку міжнародна спільнота визнала провідною парадигмою поступу цивілізації у XXI столітті.

Під сталим розвитком розуміють таку модель зростання, яка забезпечує задоволення потреб сучасного суспільства, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Ключове визначення сталого розвитку наведено у доповіді Gro Harlem Brundtland (1987): розвиток, що задовольняє потреби сучасності без загрози можливостей майбутніх поколінь [3]. Для енергетики це означає формування моделей, які забезпечують раціональне використання енергоресурсів, зниження впливу на довкілля, підвищення надійності інфраструктури, доступність енергії для населення та бізнесу. Вважається, що екологічні обмеження у сфері енергозабезпечення в рамках парадигми забезпечення сталого розвитку, помітно впливають на формування стратегій, спрямованих на підтримання належної якості життя нинішніх і прийдешніх поколінь, та можливо досягнути за умов суттєвого скорочення обсягів споживання енергії порівняно з нинішніми тенденціями. При цьому, енергоефективність трактується як зменшення енергоспоживання без погіршення продуктивності обладнання чи виробничих процесів, тобто передбачає раціональне використання енергоресурсів, активне впровадження альтернативних джерел енергії та оптимізацію енергопотреб за окремими напрямками [4; 5].

Високий рівень енергоефективності є показником якісного функціонування економічної системи держави та результативної взаємодії всіх учасників господарської діяльності [6]. Підприємства зацікавлені у зниженні енерговитрат, оскільки це напряму визначає їхню рентабельність і фінансові результати. Держава, зі свого боку, отримує можливість розширювати податкову базу, скорочувати видатки на енергозабезпечення бюджетної сфери, посилювати конкурентоспроможність на світових ринках та зміцнювати енергетичну безпеку. Для домогосподарств підвищення енергоефективності означає зменшення витрат на енергетичні

послуги та зростання доступного доходу, а для суспільства загалом – один із ключових кроків досягнення сталого розвитку [7; 8].

Для оцінювання сталого розвитку в енергетиці в міжнародному контексті використовується сценарний підхід, який дозволяє моделювати можливі траєкторії трансформації енергетичних систем з урахуванням економічних, технологічних, екологічних та політичних чинників. Сценарії дають змогу порівнювати наслідки різних стратегій розвитку, визначати потенційні ризики та можливості, а також оцінювати вплив енергетичної політики на досягнення цілей декарбонізації, енергоефективності та енергетичної безпеки. Завдяки цьому підходу стає можливим формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо довгострокового управління енергетичною сферою та забезпечення її сталості [9; 10].

Огляд сучасних міжнародних тенденцій засвідчує, що підвищення енергоефективності в усіх секторах залишається одним із пріоритетів для економічно розвинених країн. Ці держави напрацювали значний досвід у сфері ефективного управління енергетичними проєктами на локальному, національному та глобальному рівнях. Так, у звіті Energy Efficiency 2020 від International Energy Agency (IEA) разом з OECD наголошується, що «енергоефективність – ключовий компонент для прискорення чистої енергетичної трансформації та досягнення глобальних кліматичних і сталих цілей» [9]. Разом з тим, останній звіт через рік після укладення історичної домовленості щодо подвоєння глобальних темпів підвищення енергоефективності світова спільнота все ще відстає від запланованої траєкторії. На саміті COP28 (Conference of the Parties) наприкінці 2023 року майже 200 держав підтримали ініціативу щодо подвоєння середньорічного приросту енергоефективності до 2030 року, визнавши її ключову роль у глобальному переході до чистої енергії від викопного палива (нафти, газу, вугілля), щоб запобігти найгіршим наслідкам зміни клімату. На саміті також ухвалили рішення про потроєння потужностей ядерної енергії до 2050 року, що стало важливим політичним сигналом для формування більш амбітних національних стратегій та активізації дій у сфері енергетичного переходу. Втім, досягти очікуваного прискорення у 2024 році не вдалося і глобальний прогрес у сфері енергоефективності, вимірюваний зміною первинної енергоємності, прогнозується на рівні близько 1%, що відповідає показнику 2023

року і становить лише половину середнього темпу за 2010–2019 роки, що свідчить про сповільнення загальної динаміки [11].

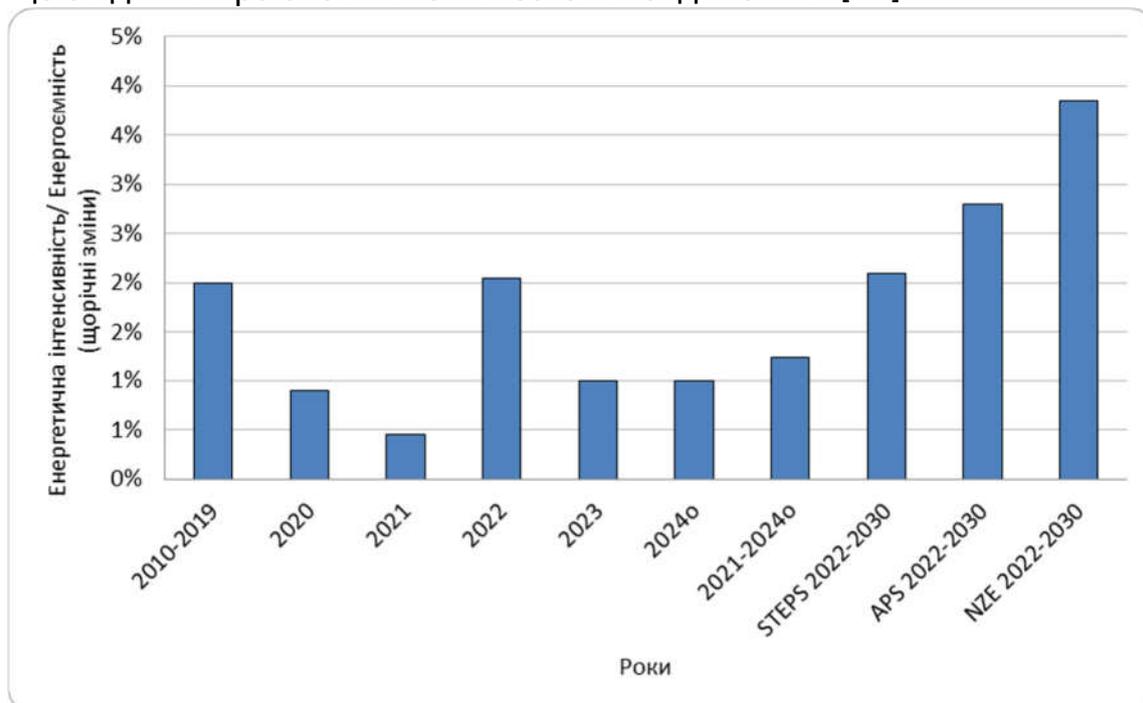


Рис. 1. Щорічні глобальні покращення первинної енергоефективності за 2010–2024 рр. (включно 2024o – розрахунковий/оціночний рік) та за сценаріями міжнародного енергетичного агентства (МЕА) на 2022–3030 рр. [11]

Сценарій оголошених зобов'язань (APS), ілюструє, якою мірою оголошені амбіції та цілі можуть забезпечити скорочення викидів, необхідні для досягнення нульових викидів до 2050 року.

Сценарій нульових викидів до 2050 року (сценарій NZE), являє собою глобальний шлях до мети обмеження глобального потепління до 1,5° C, але не єдино можливий. МЕА завжди чітко заявляло, що існують різні шляхи досягнення цієї мети, і що кожна країна матиме свій власний маршрут.

Сценарій заявленої політики (STEPS) враховує конкретні енергетичні, кліматичні та пов'язані з ними промислові політики, які були прийняті або запропоновані, а також політичні наміри, які ще не кодифіковані в законодавстві, але підтримуються ринковими, інфраструктурними та фінансовими умовами.

Як видно з рисунку, що останні роки також характеризувалися суттєвими регіональними диспропорціями: у 2024 році темпи покращення енергоємності в розвинених економіках помітно

знизилися, тоді як у країнах із перехідною економікою та у державах, що розвиваються, вони залишилися стабільними або навіть дещо зросли [12]. Це свідчить про необхідність значного посилення політичних заходів і швидшої реалізації взятих міжнародних зобов'язань.

Енергоємність характеризує обсяг первинної енергії, необхідний для виробництва певного обсягу економічної продукції, і виступає ключовим глобальним індикатором оцінювання енергоефективності. Незважаючи на відносно помірне зростання світового ВВП на рівні 3%, у 2024 році спостерігається підвищення попиту на енергію приблизно на 2% – показник, близький до рівня 2023 року та вищий за середньорічний темп у 1,4% протягом попереднього десятиліття. Поєднання високої динаміки енергоспоживання та слабого економічного зростання зумовлює те, що покращення енергоємності у 2024 році, залишається на рівні попереднього року й становить близько 1%.

Хоча енергетична криза сприяла певному посиленню уваги до питань енергоефективності в окремих країнах, загальний глобальний прогрес у зниженні енергоємності у 2023–2024 роках залишається обмеженим. Це частково пов'язано з істотним зростанням енергоспоживання у державах з ринковою економікою та країнах, що розвиваються, яке переважило скорочення попиту на енергію в розвинених економіках. Зазначена динаміка розгорнулася після енергетичної кризи, спричиненої повномасштабним вторгненням Російської Федерації в Україну, внаслідок чого у 2022 році глобальні темпи підвищення енергоефективності тимчасово зросли до середнього рівня у 2%.

Разом з тим, у 2024–2025 роках сталість розвитку енергетики опинилась під значною загрозою, що викликано новими викликами, які ведуть до довгострокових ризиків та виводять енергетичну сферу на рівень одного з ключових чинників економічної та національної безпеки. Енергетика опинилась у центрі сучасних геополітичних протистоянь: до традиційних ризиків у сфері постачання палива додалися нові – пов'язані з доступом до критично важливих мінералів. Водночас електроенергетичний сектор, що є фундаментом функціонування сучасних економік, демонструє дедалі вищу вразливість до кіберзагроз, операційних збоїв і погодних екстремумів [13].

Забезпечення енергетичної безпеки та доступності є пріоритетом більшості країн, однак інструменти їх досягнення суттєво різняться. Частина держав, зокрема країни-імпортери палива, переорієнтовується на відновлювані джерела енергії та підвищення енергоефективності, тоді як інші роблять ставку на гарантовані обсяги постачання традиційних енергоносіїв [14; 15].

На глобальному рівні зберігається невизначеність щодо майбутніх тенденцій міжнародної торгівлі, однак торгівля енергоресурсами стає ще вагомішою. Тому управління енергетичним сектором при прийнятті рішень в умовах значної складності потребує комплексного підходу з урахуванням стратегічних та тактичних кроків до мінімізації цих викликів.

У звіті «Світовий енергетичний прогноз до 2025 року» (WEO-2025) [16] аналізуються три ключові сценарії розвитку глобального енергетичного сектору. Два з них описують вихідні умови та демонструють можливі траєкторії їхнього розвитку: сценарій поточної політики (CPS), який фіксує стан уже чинних політик та регуляторних рішень і формує консервативне бачення темпів упровадження новітніх енергетичних технологій та їх інтеграції в енергосистему та сценарій заявленої політики (STEPS), який враховує ширший спектр політичних ініціатив, у тому числі офіційно запропоновані, але ще не затверджені заходи, а також стратегічні документи, що визначають бажаний напрям розвитку. У сценарії STEPS бар'єри для впровадження інновацій нижчі, ніж у CPS, однак він усе ще не приводить до виконання найамбітніших кліматичних завдань. Третій - сценарій «Нульові викиди до 2050 року» (NZE) – визначає конкретний шлях досягнення кліматичних і енергетичних цілей та застосовує інший аналітичний підхід: він моделює послідовність дій, необхідних для скорочення глобальних енергетичних викидів CO₂ до нульового рівня до 2050 року, визнаючи, що конкретні траєкторії окремих країн можуть відрізнятись.

Сценарій заявленої політики (STEPS) та сценарій поточної політики (CPS) представляють два альтернативні підходи до прогнозування розвитку енергетичної системи, які базуються на різних передумовах щодо чинних політик та технологічного прогресу. Попри відмінності у вихідних припущеннях, обидва сценарії демонструють подібні тенденції, зокрема зростання глобального попиту на енергію, зумовлене збільшенням чисельності населення та його добробуту.

У межах STEPS загальний світовий попит на енергію до 2035 року підвищується приблизно на 55 EJ, що відповідає зростанню на 8% від поточного рівня. Натомість у CPS приріст є суттєвішим – близько 90 EJ, або 14%, у той самий період.

Хоча потреба в енергетичних послугах у двох сценаріях залишається майже однаковою, темпи збільшення попиту на енергію різняться через неоднакову ефективність технологій і паливних ресурсів. Близько 60% цієї різниці зумовлені більш активним використанням викопного палива для електрогенерації та транспорту у CPS, що спричиняє більші втрати енергії у вигляді тепла. Натомість у STEPS завдяки посиленню заходів енергоефективності зростання попиту стримується значно ефективніше, ніж у CPS.

Досліджуючи роль політичних та структурних змін на енергоефективність виявлено, що в країнах OECD за останні роки спостерігається зростання частки енергоефективних заходів, тоді як загальне споживання невідновлювальних енергоносіїв зменшується [17; 18]. Підвищення енергоефективності в економіках країн OECD досягається завдяки поєднанню цілеспрямованої політики, що включає розширену відповідальність виробників (EPR) схеми для управління продуктами, термін експлуатації яких закінчився, які частіше охоплюють ширший спектр товарів, таких як текстиль та електроніка та значних структурних змін та структурних змін, включаючи перехід від видів діяльності з високим рівнем викидів до секторів з меншою енергоємністю, процес, який стимулюється загальноекономічною політикою, такою як ціноутворення на вуглець та інвестиції в екологічні заходи. Економічно розвинені країни (IEA / OECD) вже десятиліттями включають енергоефективність як ключову ціль у своїх енергетичних політиках – не лише на рівні будівель, але й промисловості, транспорту, побуту, що відповідає глобальним кліматичним зобов'язанням і задачам сталого розвитку [19; 20].

Проаналізувавши сучасні підходи і політики, щодо оцінювання, спрямування та прогнозування сталості функціонування енергетичного сектору можна представити загальну концептуальну модель забезпечення сталого розвитку енергетичного сектору, яка охоплює три ключові напрями – енергетичну безпеку, енергоефективність та екологічну стійкість (рис. 2). Модель передбачає врахування впливу зовнішнього середовища та глобальних викликів і загроз, що враховується у сценарному підході до оцінки сталості та ґрунтується на ризик-орієнтованого аналізі.

Сценарний підхід є основою для формування енергетичної політики/стратегії як на рівні підприємства, наприклад на основі стандарту ISO 50001, так і на національному рівні, розробляючи політичні програми розвитку енергетичного сектору з урахуванням стійкості та сталості, що дає можливість розробити план імплементації та заходи реалізації з урахуванням глобальних принципів та прагнень сталого розвитку, враховуючи власний потенціал.

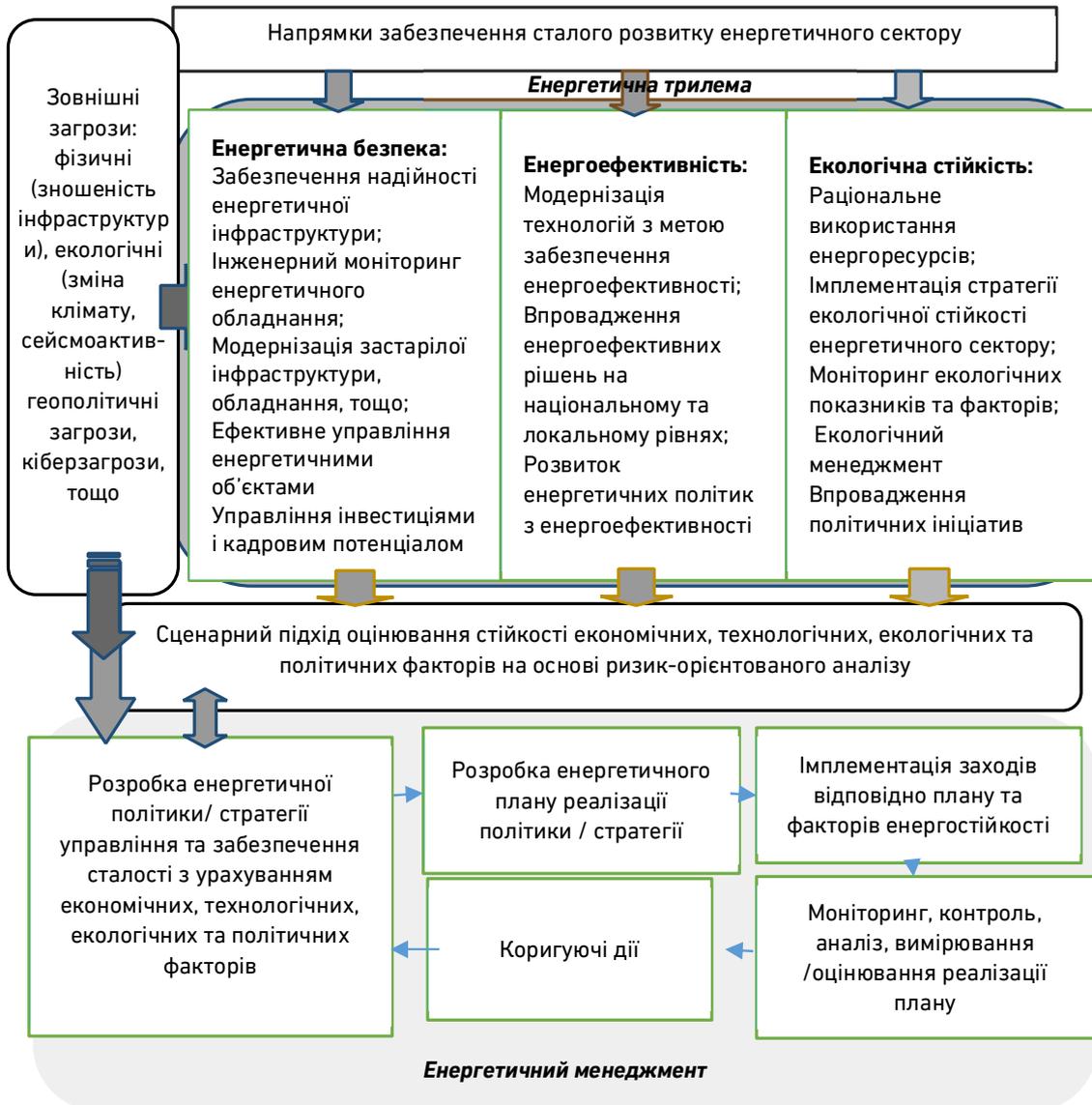


Рис. 2. Концепція оцінювання і управління сталим розвитком енергетичного сектору

Аналіз потенціалу країн показує, що навіть якщо країни не докладуть максимум зусиль, є значний резерв енергозбереження (через модернізацію, утеплення, оновлення технологій). При «високий

політичній амбіції» – економія кінцевого енергоспоживання може сягати десятків відсотків до 2030 року. Успішне управління енергетичними проєктами означає не тільки технічні заходи, а й комплексну політику: нормативи, стимулювання, фінансування, моніторинг, програмну підтримку, системи енергоменеджменту – як це реалізовано в країнах ЄС чи OECD.

Висновки

У статті систематизовано ключові теоретико-методологічні підходи до управління сталим розвитком енергетичного сектора. Показано, що сучасні енергетичні системи потребують інтеграції системного, процесного, ризик-орієнтованого та цифрового підходів. Ефективне управління сталим розвитком можливе лише за умови використання інноваційних технологій, міжнародних стандартів і комплексних моделей прогнозування та оцінювання ризиків.

Узагальнено, що стійкий розвиток енергетики передбачає синергію екологічних, економічних та технологічних рішень, а також формування гнучких стратегій реагування на глобальні виклики. Подальші дослідження варто спрямувати на розроблення інтегрованих моделей управління енергетичними системами та оцінювання їхньої ефективності у контексті енергетичного переходу.

1. Vlado V., Borja D., Krame G. AI's energy paradox: Governing the trilemma of security, justice, and sustainability. *The Extractive Industries and Society*. 2026. Vol. 25. Art. 101773. DOI: 10.1016/j.exis.2025.101773. 2. World Energy Council. World Energy Trilemma Report 2024: Evolving with Resilience and Justice. London, 2024. URL: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_2024_Full_Report.pdf (дата звернення: 05.11.2025). 3. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oslo : United Nations, 1987. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (дата звернення: 05.11.2025). 4. Chatzinikolaou D., Vlados C., Kokkinaki A. The ecosystems perspective in energy research: A new field is born? *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 249–266. DOI: 10.32479/ijeep.16030. 5. Singh M., Jiao J., Klobasa M., Frietsch R. Making energy-transition headway: A data-driven assessment of German energy startups. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. Vol. 47. Art. 101322. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101322. 6. Adu-Kankam K. O., Camarinha-Matos L. M. Emerging community energy ecosystems: Analysis of organizational and governance structures of selected representative cases. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2019. Vol. 553. Pp. 24–40. DOI: 10.1007/978-3-030-17771-3_3. 7. Sedita S. R. Responsible innovation for addressing grand societal challenges: The role of social innovation, exaptation, and retrovation. *European Planning Studies*. 2024. Vol. 32, no. 9. P. 1885–1907. 8. Ahokangas P., Boter H., Iivari M. Ecosystems perspective on

entrepreneurship. *The Palgrave Handbook of Multidisciplinary Perspectives on Entrepreneurship* / eds. R. Turcan, N. Fraser. Cham : Palgrave Macmillan, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-91611-8_18. **9.** Kılıç Ş., Krajačić G., Duić N. Integrating solutions for enabling the sustainable development of energy, water and environment systems. *Energy Conversion and Management*. 2026. Vol. 347. Art. 120492. DOI: 10.1016/j.enconman.2025.120492. **10.** Gjorgievski V., Karanfilovska M., Abazi A., Markovska N. The spectrum of implications of decarbonization on sustainable development. *Journal of Sustainable Development Indicators*. 2025. Vol. 1, no. 2. P. 1–16. DOI: 10.13044/j.sdi.d2.0590. **11.** International Energy Agency. *Energy Efficiency 2020*. Paris : OECD Publishing, 2020. DOI: 10.1787/dfd85134-en. **12.** International Energy Agency. *Energy Efficiency 2024*. Paris, 2024. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f304f2ba-e9a2-4e6d-b529-fb67cd13f646/EnergyEfficiency2024.pdf> (дата звернення: 07.11.2025). **13.** International Energy Agency. *Global Energy and Climate Model*. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model> (дата звернення: 07.11.2025). **14.** International Energy Agency. *World Energy Outlook 2025*. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> (дата звернення: 07.11.2025). **15.** International Energy Agency. *Global Energy Review 2025*. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025> (дата звернення: 07.11.2025). **16.** Chan Y., Kantamaneni R. Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry and on Possible Policy Mechanisms. Contract No. ENER/C3/2012-439/S12.666002. Brussels, 2015. URL: https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2016/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-final%20report_clean_stc.pdf (дата звернення: 08.11.2025). **17.** Apostolou D. A literature review on energy management systems and their application on harbour activities. *Energies*. 2025. Vol. 18. Art. 4887. DOI: 10.3390/en18184887. **18.** Mišić M., Oravcová V., Vicenová R. Energy efficiency of buildings in Central and Eastern Europe: Room for improvement. *Energy Efficiency*. 2024. Vol. 17. Art. 32. DOI: 10.1007/s12053-024-10215-y. **19.** Ahmad M., Uddin I. Enhancing energy efficiency in OECD economies: The role of eco-friendly technology, financial development, and clean energy investment. *Sustainable Futures*. 2025. Vol. 10. Art. 101258. DOI: 10.1016/j.sftr.2025.101258. **20.** Fatima N., Xuhua H., Alnafisah H. et al. Enhancing climate action in OECD countries: The role of environmental policy stringency for energy transitioning to a sustainable environment. *Environmental Sciences Europe*. 2024. Vol. 36. Art. 157. DOI: 10.1186/s12302-024-00978-7.

REFERENCES:

1. Vlado V., Borja D., Krame G. AI's energy paradox: Governing the trilemma of security, justice, and sustainability. *The Extractive Industries and Society*. 2026. Vol. 25. Art. 101773. DOI: 10.1016/j.exis.2025.101773. **2.** World Energy Council. *World Energy Trilemma Report 2024: Evolving with Resilience and Justice*. London, 2024. URL: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_2024_Full_Report.pdf (data zvernennia: 05.11.2025). **3.** World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oslo : United Nations, 1987. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (data zvernennia: 05.11.2025). **4.** Chatzinikolaou D., Vlados C., Kokkinaki A.

The ecosystems perspective in energy research: A new field is born? *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 249–266. DOI: 10.32479/ijeep.16030. **5.** Singh M., Jiao J., Klobasa M., Frietsch R. Making energy-transition headway: A data-driven assessment of German energy startups. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. Vol. 47. Art. 101322. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101322. **6.** Adu-Kankam K. O., Camarinha-Matos L. M. Emerging community energy ecosystems: Analysis of organizational and governance structures of selected representative cases. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2019. Vol. 553. Pp. 24–40. DOI: 10.1007/978-3-030-17771-3_3. **7.** Sedita S. R. Responsible innovation for addressing grand societal challenges: The role of social innovation, exaptation, and retrovation. *European Planning Studies*. 2024. Vol. 32, no. 9. P. 1885–1907. **8.** Ahokangas P., Boter H., Iivari M. Ecosystems perspective on entrepreneurship. *The Palgrave Handbook of Multidisciplinary Perspectives on Entrepreneurship* / eds. R. Turcan, N. Fraser. Cham : Palgrave Macmillan, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-91611-8_18. **9.** Kılış Ş., Krajačić G., Duić N. Integrating solutions for enabling the sustainable development of energy, water and environment systems. *Energy Conversion and Management*. 2026. Vol. 347. Art. 120492. DOI: 10.1016/j.enconman.2025.120492. **10.** Gjorgievski V., Karanfilovska M., Abazi A., Markovska N. The spectrum of implications of decarbonization on sustainable development. *Journal of Sustainable Development Indicators*. 2025. Vol. 1, no. 2. P. 1–16. DOI: 10.13044/j.sdi.d2.0590. **11.** International Energy Agency. Energy Efficiency 2020. Paris : OECD Publishing, 2020. DOI: 10.1787/dfd85134-en. **12.** International Energy Agency. Energy Efficiency 2024. Paris, 2024. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f304f2ba-e9a2-4e6d-b529-fb67cd13f646/EnergyEfficiency2024.pdf> (data zvernennia: 07.11.2025). **13.** International Energy Agency. Global Energy and Climate Model. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model> (data zvernennia: 07.11.2025). **14.** International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> (data zvernennia: 07.11.2025). **15.** International Energy Agency. Global Energy Review 2025. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025> (data zvernennia: 07.11.2025). **16.** Chan Y., Kantamaneni R. Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry and on Possible Policy Mechanisms. Contract No. ENER/C3/2012-439/S12.666002. Brussels, 2015. URL: https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2016/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-final%20report_clean_stc.pdf (data zvernennia: 08.11.2025). **17.** Apostolou D. A literature review on energy management systems and their application on harbour activities. *Energies*. 2025. Vol. 18. Art. 4887. DOI: 10.3390/en18184887. **18.** Mišík M., Oravcová V., Vicenová R. Energy efficiency of buildings in Central and Eastern Europe: Room for improvement. *Energy Efficiency*. 2024. Vol. 17. Art. 32. DOI: 10.1007/s12053-024-10215-y. **19.** Ahmad M., Uddin I. Enhancing energy efficiency in OECD economies: The role of eco-friendly technology, financial development, and clean energy investment. *Sustainable Futures*. 2025. Vol. 10. Art. 101258. DOI: 10.1016/j.sftr.2025.101258. **20.** Fatima N., Xuhua H., Alnafisah H. et al. Enhancing climate action in OECD countries: The role of environmental policy stringency for energy transitioning to a sustainable environment. *Environmental Sciences Europe*. 2024. Vol. 36. Art. 157. DOI: 10.1186/s12302-024-00978-7.

Hrinchenko H. S. [1; ORCID ID: 0000-0002-6498-6142],
Candidate of Engineering (PhD), Associate Professor

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv

METHODOLOGICAL APPROACHES TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT MANAGEMENT IN MODERN ENERGY SYSTEMS

The article reveals the theoretical and methodological foundations of sustainable development management in the energy sector amid global challenges related to decarbonisation, energy security, and digital transformation. It analyses contemporary models and approaches to energy systems management, including systemic, risk-oriented, process-oriented and life cycle management. International practices for ensuring sustainability are examined and recommendations are outlined for improving the management of Ukraine's energy development based on existing models for forecasting sustainable development in EU countries and at the international level, including: the announced commitments scenario (APS), the net-zero emissions by 2050 scenario (NZE scenario), and the stated policy scenario (STEPS). The work aims to develop scientifically sound approaches to improving the long-term sustainability of energy systems by improving the concept of energy management and identifying the potential for sustainable development of Ukraine's national economy in the energy sector. Particular attention is paid to the integration of economic, environmental and social components into the system of management decisions in the energy sector, and an improved energy management model is proposed, which includes elements of standardised risk-oriented approach methodologies. The general conceptual model for ensuring sustainable development of the energy sector covers three key areas: energy security, energy efficiency and environmental sustainability. The feasibility of using comprehensive methodological tools to assess the efficiency and adaptability of energy systems in conditions of uncertainty is justified. The results obtained can be used in strategic planning, state regulation and the development of sustainable development programmes for the energy sector.

Keywords: management; sustainable development; energy systems; models; analysis of international practices.

Отримано: 06 грудня 2025 року
Прорецензовано: 11 грудня 2025 року
Прийнято до друку: 18 грудня 2025 року