

УДК 620.9:005.21:338.246.025(477)

DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/2026-19-12>**Кльок Є.О.**аспірант кафедри публічного та проєктного управління,
Луцький національний технічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8164-8523>**Павліха Н.В.**доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри публічного та проєктного управління,
Луцький національний технічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5191-242X>

АДАПТИВНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ

Мета статті – обґрунтувати цифрову екосистему як інформаційно-аналітичну підсистему адаптивного менеджменту низьковуглецевої трансформації енергетики України. Методологія поєднує системний, структурно-функціональний та інституційний підходи, концепції динамічних здатностей і поліцентричного врядування та аналіз стратегічних документів України і ЄС. Управлінський цикл «моніторинг – прогнозування – координація – реалізація – оцінювання» поєднано з п'ятирівневою цифровою архітектурою; розмежовано оперативний, тактичний і стратегічний горизонти адаптації та встановлено відповідність цифрових функцій абсорбційній, адаптивній і трансформаційній спроможності енергосистеми. Результати придатні для регіональних енергетичних планів, проєктів відновлення критичної інфраструктури та інвестиційних рішень у розподілену генерацію, накопичення енергії й цифровізацію мереж.

Ключові слова: адаптивний менеджмент, енергетичний розвиток, низьковуглецева економіка, цифрова екосистема, резильєнтність, енергетична трансформація, відновлювана енергетика, енергетична безпека, декарбонізація.

Klok Yevhenii, Pavlikha Nataliia
Lutsk National Technical University

ADAPTIVE MANAGEMENT OF UKRAINE'S LOW-CARBON ENERGY TRANSFORMATION BASED ON A DIGITAL ECOSYSTEM FOR RESILIENCE

This article examines the theoretical and methodological foundations for analyzing economic processes under conditions of Ukraine's low-carbon energy transformation. The purpose of the article is to substantiate a digital ecosystem as the information-analytical subsystem of adaptive management of Ukraine's low-carbon energy transformation. The methodology combines systems, structural-functional and institutional approaches with the dynamic-capabilities perspective, polycentric governance and the absorptive-adaptive-transformative logic of resilience; it also applies a conceptual synthesis of the scholarly literature and an analysis of current Ukrainian and European strategic and regulatory documents. The scientific contribution lies in functionally linking a management loop – monitoring and diagnosis, forecasting and scenario analysis, coordination and decision, implementation, evaluation and correction – with a five-layer digital architecture, and in distinguishing the operational, tactical and strategic horizons of adaptation, each of which relies on its own set of digital functions. The architecture comprises sensor-monitoring, analytical-forecasting, modelling-and-scenario, local-market and institutional-management layers, complemented by cross-cutting requirements for cybersecurity, interoperability, data quality, decision logging and redundancy. The study maps digital functions to the absorptive, adaptive and transformative capacities of the energy system: situational observability and automation support the ability to absorb shocks; scenario modelling together with storage, demand management and aggregation support reconfiguration; while the institutional-management layer closes the loop by feeding monitoring results back into plans, standards and investment priorities. It is shown that the effectiveness of the loop depends less on the capacity of individual platforms than on the settlement of three data-governance questions – ownership of data, exchange standards and responsibility for data quality – and that regional resilience thresholds should be derived from operator data, scenario modelling and stress tests rather than set normatively. Particular attention is paid to the local-market layer, which converts technical flexibility into economically motivated behaviour of prosumers, aggregators and energy communities. The digital ecosystem is not treated as equivalent to the entire adaptive management system but as its information-analytical subsystem. The results can support regional energy planning, the recovery of critical infrastructure and investment decisions in distributed generation, storage and grid digitalization.

Keywords: adaptive management, energy development, low-carbon economy, digital ecosystem, resilience, energy transformation, renewable energy, energy security, decarbonization.

Постановка проблеми. Повномасштабна збройна агресія російської федерації перетворила надійність і відновлюваність енергетичної системи України на безпосередню умову економічної та суспільної стійкості. Пошкодження генерації, мереж і теплопостачання підвищили ціну централізованих відмов та

посилили потребу в розподіленій генерації, накопиченні енергії, керуванні попитом і цифровій координації. Змінився й характер шоків: замість поодиноких аварій система стикається з повторюваними комбіно-



ваними ударами, після яких ключовими параметрами стають не лише втрачена потужність, а й час відновлення критичних функцій і глибина просідання рівня послуги [9]. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) розглядає ширше використання розподілених енергетичних ресурсів як ключовий напрям посилення безпеки, резильєнтності та гнучкості української електроенергетики [12].

Стратегічний контекст трансформації істотно оновився. Енергетична стратегія України на період до 2050 року схвалена у 2023 р. [2], а у червні 2026 р. оновлено Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року (НПЕК), який охоплює декарбонізацію, енергоефективність, енергетичну безпеку, внутрішній ринок, дослідження та інновації з орієнтиром на кліматичну нейтральність до 2050 р. [3]. Європейська інтеграція передбачає наближення до цілей Європейського зеленого курсу та плану REPowerEU, зокрема до вимог Директиви (ЄС) 2023/2413 (RED III) [11], а Другий національно визначений внесок встановлює ціль скорочення викидів більш ніж на 65 % до 2035 р. порівняно з 1990 р. [1]. Отже, проблема полягає вже не у відсутності стратегічних орієнтирів, а в механізмі їх адаптивної реалізації за умов воєнних шоків, обмежених інвестиційних ресурсів і швидких технологічних змін. Цей розрив є управлінським та інформаційним: рішення ухвалюються за неповних і несумісних даних, а результати заходів не повертаються у наступний цикл планування.

Науково-практичним завданням є визначення місця цифрової екосистеми в ширшій адаптивній системі менеджменту енергетичного розвитку. У статті розмежовано три взаємопов'язані, але не тотожні площини аналізу: резильєнтність енергосистеми як здатність поглинати шоки, відновлювати критичні функції, адаптуватися і трансформуватися; адаптивний менеджмент як сукупність процесів виявлення змін, координації, вибору та коригування рішень; цифрову екосистему як інформаційно-аналітичну підсистему спостереження, прогнозування, моделювання та зворотного зв'язку. Це дає змогу не підмінювати систему менеджменту набором технологій, а визначити цифровізацію як функціональну передумову адаптивних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичним підґрунтям дослідження є кілька взаємодоповнювальних підходів. Р. Мартін і П. Санлі розглядають регіональну економічну резильєнтність через здатність системи чинити опір шоку, відновлюватися, адаптуватися і змінювати траєкторію розвитку, наголошуючи, що резильєнтність є не станом, а процесом [15]. Для енергетичних систем ці виміри посилюються взаємозалежністю фізичної інфраструктури, цифрової підсистеми та інституційного середовища: резильєнтність визначається не лише технічною надійністю, а й часом відновлення, глибиною втрати функції та здатністю до реконфігурації [13]. Теорія динамічних здатностей Д. Тіса пояснює адаптивність через виявлення змін, мобілізацію можливостей і трансформацію ресурсної бази, причому ці здатності мають мікрооснови – рутини, процедури та інформаційні потоки, а не лише задекларовані стратегії [18]. Рамка Е. Остром обґрунтовує поліцентричне врядування, за якого стійкість забезпечується не одним центром, а узгодженістю правил і моніторингу на різних рівнях [16]. Це дає

змогу трактувати адаптивний менеджмент як багаторівневий процес, результативність якого залежить від якості інформаційного забезпечення кожної фази.

Прикладний напрям досліджень акцентує роль цифровізації та децентралізації. МЕА підкреслює значення розподілених ресурсів, координаційних механізмів і регуляторних умов для формування стійкішої електроенергетичної системи України [12]. Цифрові двійники розширюють можливості сценарного моделювання, однак підвищують вимоги до кібербезпеки, якості й сумісності даних [10]. Дослідження Р2Р-торгівлі демонструють її потенціал для активізації просumerів, наголошуючи на залежності результату від ринкового дизайну, мережових обмежень і регуляторного середовища [17]. Порогові ефекти переходу простежуються у дослідженні О. Ляшенко, І. Турського та співавторів: зв'язок між часткою відновлюваної електроенергії та новими типами попиту є нелінійним і змінюється після досягнення граничних значень [14]. Н. Павліха обґрунтовує інституційну гнучкість як умову резильєнтності зеленої економіки [8].

Вітчизняні дослідження формують чотири відносно самостійні лінії. Перша – цифрова трансформація енергетики: О. Кириленко, С. Денисюк та І. Білінов систематизують тенденції цифровізації електроенергетики, наголошуючи на зрощенні інформаційних і фізичних процесів, розвитку інтелектуальних мереж та потребі випереджального нормативного забезпечення Smart Grid [4]. Друга – кількісне оцінювання резильєнтності: С. Саух та А. Борисенко моделюють електроенергетичну систему України за систематичних атак, показуючи, що критичними є не лише обсяги втраченої потужності, а й конфігурація мережі та швидкість відновлення [9]. Третя – інституційно-ринкові механізми децентралізації: В. Комар і Ю. Веремійчук обґрунтовують механізми залучення енергетичних спільнот до децентралізованого електропостачання [5], а А. Марченко і В. Карнаух показують, що установки зберігання енергії підвищують стійкість розподільних мереж не лише як резерв потужності, а й як інструмент керування режимами [6]. Четверта – економічний вимір енергетичної безпеки, складові якої аналізує Є. Міляєва у взаємозв'язку ринків газу та електроенергії [7]. Ці напрацювання розглядають технологічні, ринкові та безпекові аспекти здебільшого окремо, не поєднуючи їх в єдину логіку управлінського циклу.

Попри це, зберігається методологічний розрив між цифровою інфраструктурою енергетики та її управлінським використанням. Недостатньо визначено, які цифрові функції підтримують абсорбційну, адаптивну і трансформаційну спроможність та як організувати інформаційний зворотний зв'язок між національним, регіональним і локальним рівнями. Для України він посилюється необхідністю одночасно відновлювати зруйновану інфраструктуру, інтегруватися до європейського енергетичного простору й уникати надмірно централізованих вразливостей. Саме цифрова інформаційно-аналітична підсистема адаптивного менеджменту є предметом статті.

Формування цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає в розробленні функціональної архітектури цифрової екосистеми, яка забезпечує інформаційно-аналітичний супровід адаптивного менеджменту низьковуглецевої трансформації енер-

гетики України. Для досягнення мети визначено такі завдання: уточнити роль цифрової підсистеми в управлінському циклі та розмежувати оперативний, тактичний і стратегічний горизонти адаптації; сформувати п'ятирівневу архітектуру цифрової екосистеми; встановити відповідність між функціями цієї архітектури та абсорбційною, адаптивною і трансформаційною складовими резильєнтності енергетичної системи; визначити управлінські умови, необхідні для практичного впровадження запропонованої архітектури. Дослідження побудовано на послідовному поєднанні концептуального узагальнення теоретичних підходів до резильєнтності та адаптивного управління, аналізу стратегічних і нормативних орієнтирів розвитку енергетики та систематизації результатів прикладних досліджень цифровізації, децентралізації і безпеки енергетичної системи з подальшим конструюванням архітектури цифрової екосистеми та її співвіднесенням із складовими резильєнтності. Поза межами статті залишаються тригери переходу між режимами управління, матриця адаптивних реакцій на різні типи шоків і модель зрілості цифрового менеджменту енергетичної системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Адаптивний менеджмент енергетичного розвитку пропонуємо визначати як безперервний процес коригування цілей, інструментів і організаційних дій відповідно до зміни ризиків, ресурсних обмежень, технологій та суспільних потреб. Його базовий цикл охоплює п'ять фаз: моніторинг і діагностику стану системи; прогнозування та сценарний аналіз; координацію і вибір рішення; реалізацію через регуляторні, інвестиційні та операційні дії; оцінювання результату, організаційне навчання і коригування наступного циклу. Цифрова екосистема не замінює цей менеджмент, а забезпечує його інформаційно-аналітичну підтримку, скорочуючи час між виявленням зміни, оцінюванням альтернатив і зворотним зв'язком щодо результату. Тривалість цього інтервалу – інформаційна затримка управлінського циклу – є практичним критерієм якості цифрової підсистеми.

У термінах динамічних здатностей [18] перші дві фази формують ідентифікаційно-діагностичну здатність, третя і четверта – здатність мобілізувати можливості та ресурси, а п'ята створює підстави як для оперативної адаптації, так і для глибокої трансформації. Для енергетичного сектору це означає не лише перерозподіл навантаження чи аварійне відновлення, а й перегляд структури генерації, мережевої топології та інвестиційних пріоритетів. Отже, адаптивність не ототожнюється з реактивністю: її ключова ознака – здатність перетворювати інформацію про шок на зміну наступної конфігурації системи.

Практично важливим є розмежування трьох горизонтів адаптації, які спираються на різні цифрові функції. Оперативний горизонт (години – доба) охоплює диспетчерські рішення, обмеження навантаження, введення резервів і мобілізацію локальної гнучкості та критично залежить від телеметрії й короткострокових прогнозів. Тактичний горизонт (тижні – сезон) стосується підготовки до опалювального періоду, планових ремонтів і контракування гнучкості, де визначальними є ймовірнісні прогнози та розрахунки достатності потужності. Стратегічний горизонт (роки) охо-

плює структуру генерації, топологію мереж, ринкові правила й інвестиційні пріоритети та потребує зіставлення довгострокових траєкторій з орієнтирами НПЕК і Другого НВВ [1; 3]. Змішування горизонтів є типовою помилкою: рішення, раціональні в оперативному режимі, здатні блокувати стратегічну трансформацію, а стратегічні рішення без оперативної спостережуваності не мають механізму коригування.

Поліцентричність енергетичного врядування [16] вимагає, щоб цей цикл працював одночасно на національному, регіональному та локальному рівнях. Національний рівень формує правила ринку, стандарти безпеки та кліматичні орієнтири; регіональний координує розміщення розподілених ресурсів, плани відновлення і критичні навантаження, переводячи національні цілі у прив'язані до мережевих обмежень рішення; локальний охоплює операторів, громади, підприємства, проsumerів та агрегаторів. Координація не потребує єдиного централізованого сховища даних – стійкішою є федеративна модель обміну стандартизованими даними з розмежуванням доступу, відповідальності й резервування.

Цифрову екосистему доцільно трактувати як сукупність сумісних цифрових платформ, моделей, реєстрів, телеметричних систем і правил обміну даними, які забезпечують інформаційно-аналітичну підтримку управлінського циклу без критичної залежності від одного технологічного вузла. На відміну від окремої інформаційної системи, учасники екосистеми зберігають організаційну автономію, а взаємодія забезпечується узгодженими стандартами та інтерфейсами. На основі функцій адаптивного менеджменту, рекомендацій щодо децентралізації енергетики України [12], тенденцій цифрової трансформації електроенергетики [4] і підходів до цифрового моделювання [10] пропонується п'ятирівнева архітектура (табл. 1) з наскрізними вимогами кібербезпеки, інтероперабельності, контролю якості даних, журналювання рішень і резервування критичних сервісів.

Архітектура формує замкнений інформаційно-управлінський цикл: телеметрія перетворюється на прогнози, прогнози – на сценарні оцінки, сценарії – на рішення щодо диспетчеризації, інвестицій, регуляторних дій або залучення локальної гнучкості, а результати виконання знову надходять до системи моніторингу. Дієвість циклу визначається не потужністю окремих платформ, а врегулюванням трьох питань управління даними: хто є розпорядником даних кожного рівня, за яким стандартом вони передаються та хто відповідає за їх повноту і якість. Принциповим є розмежування технологічної можливості та інституційного рішення: блокчейн і смарт-контракти є лише одним із засобів реалізації локальних транзакцій [17], а цифровий двійник – модельно-сценарним інструментом, а не самодостатнім центром управління [10].

Зв'язок цифрової екосистеми з резильєнтністю пропонуємо будувати не за принципом «одна технологія – один вид стійкості», а через підтримувані управлінські функції. Абсорбційну спроможність – здатність зберігати критичний рівень енергопостачання під час шоку – підтримують оперативна спостережуваність, автоматика, резервування та швидка мобілізація локальних ресурсів, тобто сенсорно-моніторинговий і аналітично-прогнозний рівні. Адаптивна

Таблиця 1

**Функціональна архітектура цифрової екосистеми
в системі адаптивного менеджменту енергетичного розвитку**

Рівень цифрової екосистеми	Функціональне призначення	Технологічна основа	Ефект для адаптивного менеджменту
Сенсорно-моніторинговий	Телеметрія стану генерації, мереж, накопичувачів і споживання; виявлення відхилень у реальному або наближеному до реального часу	IoT-датчики, smart meters, SCADA/EMS, захищені канали телеметрії	Ситуаційна обізнаність, раннє виявлення пошкоджень і дефіцитів
Аналітично-прогнозний	Прогнозування генерації ВДЕ, попиту, дефіцитів і ризиків; оцінювання невизначеності	Big Data, ML, ймовірнісні прогнози, data fusion	Підтримка балансування та ранжування управлінських альтернатив
Моделюю-сценарний (цифровий двійник)	Стрес-тестування конфігурацій за сценаріїв атак, аварій, пікових навантажень, дефіциту палива та швидкого введення нових потужностей	Цифрові двійники, моделі енергосистем, GIS/BIM, сценарні симулятори	Виявлення вразливостей до реалізації рішення; оцінювання наслідків альтернатив
Локально-ринкової взаємодії	Координація просumerів, накопичувачів, агрегаторів, енергетичних спільнот і локальної гнучкості	Платформи обліку й розрахунків, API, системи керування енергоресурсами; за потреби – DLT/смарт-контракти	Мобілізація розподілених ресурсів і гнучкості без прив'язки до однієї технології транзакцій
Інституційно-управлінський	Підтримка рішень органів влади, операторів і громад; узгодження планів, інвестицій та показників	Дашборди, е-врядування, реєстри, стандартизовані API та протоколи обміну	Закриття управлінського циклу: рішення – виконання – оцінювання – коригування

Джерело: розроблено авторами на основі [4; 5; 10; 12; 13]

спроможність, тобто реконфігурація потоків, ресурсів і правил без втрати ключових функцій, спирається на модельно-сценарний і локально-ринковий рівні: сценарне моделювання, накопичення енергії, керування попитом, агрегацію та розподілену генерацію, причому установки зберігання є водночас резервом потужності й інструментом керування режимами мережі [6]. Трансформаційна спроможність передбачає зміну структури системи після шоку і спирається на інституційно-управлінський рівень, який замикає моніторинг на перегляд планів, стандартів та інвестиційних пріоритетів. Отже, резильєнтність виникає із взаємодії фізичної, цифрової та інституційної підсистем, а не як властивість окремої технології [13].

Дослідження європейського переходу до електрифікації [14] демонструє порогові ефекти у взаємодії ВДЕ та нових типів попиту. Це є аргументом на користь моніторингу критичних порогів, після яких ефекти управлінських рішень змінюються нелінійно. Для регіону такими порогоми можуть бути резерв мережевої пропускної здатності, частка гнучких потужностей, тривалість автономної роботи критичних об'єктів або проникнення цифрового обліку. Модельні оцінки резильєнтності української електроенергетичної системи підтверджують, що поблизу таких порогів її поведінка стає різко нелінійною: невеликі додаткові пошкодження непропорційно збільшують обсяг і тривалість обмежень споживання [9]. Тому порогові значення мають визначатися за даними оператора, сценарним моделюванням і стрес-тестами, а їх перегляд – вбудовувати в регулярний цикл планування.

Окремої уваги потребує локально-ринковий рівень, який переводить технічну гнучкість в економічно мотивовану поведінку учасників. Механізми залучення енергетичних спільнот до децентралізованого електропостачання доцільно розглядати у трьох групах – тех-

нологічні (приєднання, облік, керування ресурсами), ринкові (статус активного споживача, агрегація, доступ до ринків і послуг балансування) та соціально-структурні (форми об'єднання, довіра, розподіл вигод) [5]. Для цифрової екосистеми це означає конкретні вимоги: реєстри учасників та активів, стандартизований обмін даними обліку, прозорі правила розрахунків і регламентовані інтерфейси з оператором системи розподілу. Без них розподілена генерація не перетворюється на керований ресурс регіональної резильєнтності [12].

Практичне впровадження цифрової екосистеми залежить від чотирьох груп управлінських умов. Нормативно-регуляторні охоплюють правила приєднання і доступу до мереж, участі активних споживачів, агрегаторів та енергетичних спільнот. Ресурсно-фінансові стосуються фінансування накопичення, розподіленої генерації, цифровізації й резервування критичної інфраструктури. Інституційно-координаційні передбачають узгодження ролей органів влади, регіонів, громад, операторів систем та учасників ринку. Інформаційно-цифрові включають стандарти даних, правила доступу, кіберзахист і відповідальність за якість інформації. Ці групи є взаємодоповнювальними: цифрова функція, не забезпечена правом на дію та ресурсом, не змінює управлінського результату.

Висновки. У статті цифрову екосистему концептуалізовано як інформаційно-аналітичну підсистему адаптивного менеджменту низьковуглецевої трансформації енергетики України. Наукова новизна полягає у функціональному поєднанні управлінського циклу з цифровою архітектурою, у розмежуванні оперативного, тактичного і стратегічного горизонтів адаптації та у визначенні цифрових функцій, що підтримують абсорбційну, адаптивну і трансформаційну спроможність енергетичної системи. Такий підхід зміщує фокус із цифровізації як набору технологій на цифровізацію

як інфраструктуру спостереження, аналізу, координації та зворотного зв'язку.

Запропоновано п'ятирівневу екосистему: сенсорно-моніторинговий, аналітично-прогнозний, модельно-сценарний, локально-ринковий та інституційно-управлінський рівні з наскрізними вимогами кібербезпеки, інтероперабельності, якості даних, журналювання рішень і резервування. Визначено чотири групи управлінських умов її впровадження – нормативно-регуляторні, ресурсно-фінансові, інституційно-координаційні та інформаційно-цифрові.

Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованої логіки органами влади, регіонами, громадами й операторами систем для визначення вимог до цифрової підтримки енергетичного планування, відновлення, розподіленої генерації та керування гнучкістю. Подальші дослідження мають перейти до ширшої логіки адаптивної системи менеджменту: визначення тригерів переходу між режимами управління, матриці реакцій на різні типи енергетичних шоків, рівнів зрілості менеджменту та перевірки цих положень на регіональних даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Другого національно визначеного внеску України до Паризької угоди про клімат : розпорядження від 29.10.2025 № 1172.
2. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : розпорядження від 21.04.2023 № 373-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhhvalennia-enerhetychnoi-stratehii-ukrainy-na-period-do-2050-roku-373r-210423>
3. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року : розпорядження від 10.06.2026 № 562-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/562-2026-%D1%80>
4. Кириленко О. В., Денисюк С. П., Блінов І. В. Цифрова трансформація енергетики: сучасні тенденції та завдання. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 65. С. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005>
5. Комар В. О., Веремійчук Ю. А. Формування механізмів залучення енергетичних спільнот до децентралізованого електропостачання в Україні. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2026. № 2. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2026.361472>
6. Марченко А., Карнаух В. Підвищення стійкості розподільної мережі шляхом керування реактивною потужністю установок зберігання енергії. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2026. № 2. С. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2026.357495>
7. Міляєва Є. Зміцнення енергетичної безпеки України: аналіз складових. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 80. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-101>
8. Павліха Н. В. Резильентність та адаптивність зеленої економіки України в умовах тривалих трансформацій. У кн.: Пшибельський В. В., Цимбалюк І. О., Павліха Н. В. *Зелена економіка на засадах соціальної відповідальності: інклюзивність, структурна адаптація та резильентність розвитку* : монографія. Луцьк : ФОП Косенко А. О., 2026. С. 252–326.
9. Саух С. Є., Борисенко А. В. Моделювання електроенергетичної системи України та оцінювання її резильентності в умовах систематичних терористичних атак. *Технічна електродинаміка*. 2025. № 2. С. 57–70. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2025.02.057>
10. Cali U., Dimb B. D., Hajjaligol P., Moazami A., Gouriseti S. N. G., Lobaccaro G., Aghaei M. Digital Twins: Shaping the Future of Energy Systems and Smart Cities through Cybersecurity, Efficiency, and Sustainability. *2023 International Conference on Future Energy Solutions (FES)*. Vaasa, Finland, 2023. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/FES57669.2023.10182868>
11. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. 2023. L 2023/2413.
12. International Energy Agency. *Empowering Ukraine Through a Decentralised Electricity System: A roadmap for Ukraine's increased use of distributed energy resources towards 2030*. Paris : IEA, 2024.
13. Jasiūnas J., Lund P. D., Mikkola J. Energy system resilience – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 150. Art. 111476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111476>
14. Liashenko O., Turskyi I., Wolowiec T., Gasior M., Bogacki S., Dluhopolskyi O. The European Two-Speed Transition: Renewable Electricity, Plug-In Hybrids, and the Threshold for Full Electrification. *Energies*. 2026. Vol. 19, Iss. 12. Art. 2757. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19122757>
15. Martin R., Sunley P. On the notion of regional economic resilience: conceptualizing and explaining change. *Journal of Economic Geography*. 2015. Vol. 15, No. 1. P. 1–42.
16. Ostrom E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*. 2009. Vol. 325, No. 5939. P. 419–422.
17. Soto E. A., Bosman L. B., Wollega E., Leon-Salas W. D. Peer-to-peer energy trading: A review of the literature. *Applied Energy*. 2021. Vol. 283. Art. 116268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116268>
18. Teece D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*. 2007. Vol. 28, No. 13. P. 1319–1350.

REFERENCES

1. Kabinet Ministriv Ukrainy (2025) Pro skhhvalennia Druhoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoj uhody pro klimat [On approval of Ukraine's Second Nationally Determined Contribution to the Paris Agreement on Climate]: rozporiadzhennia no. 1172 of October 29, 2025. (in Ukrainian)
2. Kabinet Ministriv Ukrainy (2023) Pro skhhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku [On approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2050]: rozporiadzhennia no. 373-r of April 21, 2023. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhhvalennia-enerhetychnoi-stratehii-ukrainy-na-period-do-2050-roku-373r-210423> (in Ukrainian)

3. Kabinet Ministriv Ukrainy (2026) Pro skhvalennia Natsionalnoho planu z enerhetyky ta klimatu na period do 2030 roku [On approval of the National Energy and Climate Plan until 2030]: rozporiadzhennia no. 562-r of June 10, 2026. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/562-2026-%D1%80> (in Ukrainian)
4. Kyrylenko O. V., Denysiuk S. P., Blinov I. V. (2023) Tsyfrova transformatsiia enerhetyky: suchasni tendentsii ta zavdannia [Digital transformation of the energy sector: current trends and challenges]. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, no. 65, pp. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005> (in Ukrainian)
5. Komar V. O., Veremiichuk Yu. A. (2026) Formuvannia mekhanizmiv zaluchennia enerhetychnykh spilnot do detsentralizovanoho elektropostachannia v Ukraini [Formation of mechanisms for engaging energy communities in decentralized electricity supply in Ukraine]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, no. 2, pp. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2026.361472> (in Ukrainian)
6. Marchenko A., Karnaukh V. (2026) Pidvyshchennia stiikosti rozpodilnoi merezhi shliakhom keruvannia reaktyvnoi potuzhnistiu ustanovok zberihannia enerhii [Enhancing distribution network resilience through reactive power management of energy storage systems]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, no. 2, pp. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2026.357495> (in Ukrainian)
7. Miliiaeva Ye. (2025) Zmitsnennia enerhetychnoi bezpeky Ukrainy: analiz skladovykh [Strengthening the energy security of Ukraine: analysis of components]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 80. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-101> (in Ukrainian)
8. Pavlikha N. V. (2026) Rezyliientnist ta adaptyvnist zelenoi ekonomiky Ukrainy v umovakh tryvalykh transformatsii [Resilience and adaptability of Ukraine's green economy under long-term transformations]. In V. V. Pshybel'skyi, I. O. Tsymbaliuk, N. V. Pavlikha. *Zelena ekonomika na zasadakh sotsialnoi vidpovidalnosti: inkliuzyvnist, strukturna adaptatsiia ta rezyliientnist rozvytku: monohrafiia* [Green economy based on social responsibility: inclusiveness, structural adaptation and resilience of development: monograph]. Luts'k: FOP Kosenko A. O., pp. 252–326. (in Ukrainian)
9. Saukh S. Ye., Borysenko A. V. (2025) Modeliuvannia elektroenerhetychnoi systemy Ukrainy ta otsiniuvannia yii rezyliientnosti v umovakh systematychnykh terorystychnykh atak [Modelling of Ukraine's electric power system and assessment of its resilience under systematic terrorist attacks]. *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 2, pp. 57–70. DOI: <https://doi.org/10.15407/techne2025.02.057> (in Ukrainian)
10. Cali U., Dimd B. D., Hajjaligol P., Moazami A., Gouriseti S. N. G., Lobaccaro G., Aghaei M. (2023) Digital Twins: Shaping the Future of Energy Systems and Smart Cities through Cybersecurity, Efficiency, and Sustainability. *2023 International Conference on Future Energy Solutions (FES)* (Vaasa, Finland), pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/FES57669.2023.10182868>
11. European Parliament, Council of the European Union (2023) Directive (EU) 2023/2413 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*, L 2023/2413.
12. International Energy Agency (2024) *Empowering Ukraine Through a Decentralised Electricity System: A roadmap for Ukraine's increased use of distributed energy resources towards 2030*. Paris: IEA.
13. Jasiūnas J., Lund P. D., Mikkola J. (2021) Energy system resilience – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 150, art. 111476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111476>
14. Liashenko O., Turskyi I., Wolowiec T., Gasior M., Bogacki S., Dluhopolskyi O. (2026) The European Two-Speed Transition: Renewable Electricity, Plug-In Hybrids, and the Threshold for Full Electrification. *Energies*, vol. 19, no. 12, art. 2757. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19122757>
15. Martin R., Sunley P. (2015) On the notion of regional economic resilience: conceptualizing and explaining change. *Journal of Economic Geography*, vol. 15, no. 1, pp. 1–42.
16. Ostrom E. (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, vol. 325, no. 5939, pp. 419–422.
17. Soto E. A., Bosman L. B., Wollega E., Leon-Salas W. D. (2021) Peer-to-peer energy trading: A review of the literature. *Applied Energy*, vol. 283, art. 116268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116268>
18. Teece D. J. (2007) Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, vol. 28, no. 13, pp. 1319–1350.

Дата надходження статті: 10.08.2026

Дата прийняття статті до публікації: 07.09.2026

Дата публікації статті: 02.10.2026